

LABORATÓRIO DE RADIOISÓTOPOS

RELATÓRIO FINAL SOBRE VIABILIDADE DE NOVAS ÁREAS  
DE DRAGAGEM NA REGIÃO DE SANTOS

VOLUME I

COMPANHIA BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NUCLEAR

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

C.P. 1941 - Belo Horizonte - MG

AGOSTO DE 1974

LABORATÓRIO DE RADIOISÓTOPOS  
INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS  
EQUIPE

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

Pedro Edmundo Aun            e  
Jefferson Vianna Bandeira

PARTICIPANTES

José Olympio N. Monteiro de Castro  
Miguel Ricardo Aun  
Angelo Alberto Maestrini  
Hugo Túlio Rodrigues  
Matheus Eustáquio da Silveira  
Ricardo da Silva Gomes  
José Carlos Marques  
Fábio Antonio da Silva  
Antonio Fioravante Neto  
Geraldo Godinho  
José Joaquim Lima de Campos  
Vera Lúcia Mendes  
Duarte Augusto Costa

CONSULTOR

Victor Freire Motta  
(INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS)

RELATÓRIO FINAL SOBRE VIABILIDADE DE NOVAS  
ÁREAS DE DRAGAGEM NA REGIÃO DE SANTOS.

VOLUME I

Agosto/74

## APRESENTAÇÃO

A Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear, através do Instituto de Pesquisas Radioativas, celebrou em 06/07/73 um Termo de Convênio, com o Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis, cuja ratificação foi firmada em 05/09/73.

Foram designados órgãos executantes do Convênio, o Instituto de Pesquisas Radioativas, por parte da CBTN, e o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, por parte do DNPVN.

O Convênio visou a execução de estudos de transporte de sedimentos de fundo e em suspensão na Baía de Santos utilizando-se traçadores radioativos e medidas hidráulicas convencionais, ficando o IPR, com o encargo dos trabalhos com radioisótopos e o INPH, responsável pelas medidas das correntes oceânicas, direções, frequência e amplitude de ondas na Baía.

O presente relatório engloba os quatro anteriores, já entregues parceladamente ao INPH, à medida da conclusão dos serviços. É apresentado em dois volumes. Na sua parte final, acrescentam-se as conclusões sobre os possíveis locais de despejo e comentam-se os resultados das análises dos dados hidráulicos disponíveis.

A parte relativa à medida dos coeficientes de difusão, não foi objeto do Termo de Convênio, assim como três campanhas adicionais de injeção na Ponta de Itaipú. Esses serviços foram julgados necessários pois, forneceram maior consistência ao trabalho e importantes subsídios às conclusões obtidas.

LABORATÓRIO DE RADIOISÓTOPOS  
INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

PRIMEIRA PARTE

MEDIDA DO MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO  
AO LARGO DA PONTA DA MUNDUBA.

Março 1974.

## R E S U M O

Este relatório apresenta os resultados de uma injeção de vasa marcada com um traçador radioativo (Ir-192), na região ao largo da Ponta da Munduba, em Santos. O trabalho teve por finalidade medir o transporte sólido de fundo na região.

A injeção foi realizada no dia 15 de novembro de 1973, com uma atividade útil de 775 mCi. As detecções consistiram em acompanhar o movimento do material por meio de detectores de cintilação SRAT, arrastados por um barco e acoplados a um conjunto de um contador de impulsos, registrador e impressora. A posição do barco foi acompanhada por meio de teodolitos, em bases situadas na Ponta da Munduba e na ilha da Moela.

As detecções foram realizadas nos dias 16 e 17 de novembro, 22 e 23 de novembro, 14 de dezembro e 25 e 26 de janeiro. Os resultados experimentais foram analisados pelo método do balanço de traçadores e demonstraram que o material de fundo apresentou pequena movimentação na direção leste. A vazão sólida de fundo foi estimada em 0,2 toneladas por metro linear por dia. Concluiu-se que, se os 70 dias de detecção são representativos do comportamento hidraulico da região em períodos mais longos, a região ao largo da Ponta da Munduba apresenta pequena movimentação de material de fundo. Ela pode ser, portanto, considerada como utilizável para o despejo de material dragado, desde que este não entre em suspensão.

## Í N D I C E

### TÍTULO.

|    |                                  |                                 |         |
|----|----------------------------------|---------------------------------|---------|
| 1. | INTRODUÇÃO.                      |                                 |         |
|    | 1.1.                             | Antecedentes.                   | pag. 1  |
|    | 1.2.                             | Informações Gerais.             | pag. 2  |
| 2. | O TRABALHO DE CAMPO.             |                                 |         |
|    | 2.1.                             | A Injeção de Traçador.          | pag. 3  |
|    | 2.2.                             | As Detecções.                   | pag. 6  |
| 3. | ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS. |                                 |         |
|    | 3.1.                             | Correções Preliminares.         | pag. 9  |
|    | 3.2.                             | As Curvas de Iso-contagem.      | pag. 9  |
|    | 3.3.                             | O Diagrama de Transporte.       | pag. 10 |
|    | 3.4.                             | Cálculo da Vazão Sólida.        | pag. 11 |
| 4. | RESULTADOS EXPERIMENTAIS.        |                                 |         |
|    | 4.1.                             | A Campanha de Dezembro de 1973. | pag. 12 |
|    | 4.2.                             | A Campanha de Janeiro de 1974.  | pag. 19 |
| 5. | CONCLUSÕES PRELIMINARES.         |                                 | pag. 23 |

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - Equipamento de injeção.
- FIGURA 2 - Curvas de isodose, dia 13/12/73.
- FIGURA 3 - Curvas de isodose, dia 15/12/73.
- FIGURA 4 - Curvas de isodose, dias 18 e 19/12/73
- FIGURA 5 - Evolução da nuvem radioativa, dia 13/12/73.
- FIGURA 6 - Evolução da nuvem radioativa, dia 15/12/73.
- FIGURA 7 - Evolução da nuvem radioativa, dias 18 e 19/12.
- FIGURA 8 - Diagrama de transporte, dia 13/12/73.
- FIGURA 9 - Diagrama de transporte, dia 15/12/73.
- FIGURA 10 - Diagrama de transporte, dias 18 e 19/12/73.
- FIGURA 11 - Melhores retas perpendiculares à direção na vegação e centros de gravidade.
- FIGURA 12 - Diagramas de transporte integrados, dezembro de 1973.
- FIGURA 13 - Curvas de isodose, dia 18/01/74.

- FIGURA 14 - Curvas de isodose, dia 19/01/74.
- FIGURA 15 - Curvas de isodose, dia 21/01/74.
- FIGURA 16 - Curvas de isodose, dia 22/01/74.
- FIGURA 17 - Evolução da nuvem radioativa, dia 18/01/74.
- FIGURA 18 - Evolução da nuvem radioativa, dia 19/01/74.
- FIGURA 19 - Evolução da nuvem radioativa, dia 21/01/74.
- FIGURA 20 - Evolução da nuvem radioativa, dia 22/01/74.
- FIGURA 21 - Diagrama de transporte, dia 18/01/74.
- FIGURA 22 - Diagrama de transporte, dia 19/01/74.
- FIGURA 23 - Diagrama de transporte, dia 21/01/74.
- FIGURA 24 - Diagrama de transporte, dia 22/01/74.
- FIGURA 25 - Movimentação dos centros de gravidade entre 18 e 22 de janeiro.
- FIGURA 26 - Diagramas de transporte integrados, janeiro de 1974.

DETERMINAÇÃO DA VIABILIDADE DE NOVAS ÁREAS DE REJEITO  
DE DRAGAGEM, NA REGIÃO DE SANTOS, COM A UTILIZAÇÃO  
DE TRAÇADORES RADIOATIVOS.

1. INTRODUÇÃO.

1.1. ANTECEDENTES.

Os trabalhos realizados pelo Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas (CBTN) fazem parte de uma série de estudos, realizados em colaboração com o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) do Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis, em vários portos brasileiros. Além disso, participa desta série de trabalhos, fornecendo consultoria sobre problemas que relacionam simultaneamente a hidráulica marítima e o uso de traçadores radioativos, um especialista do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

Finalmente colaboraram neste trabalho, a Companhia Docas de Santos, que, além de apoio técnico, facilitou a utilização do seu equipamento de dragagem e a Inspeção Fiscal do Porto de Santos, através de apoio administrativo.

Os traçadores radioativos foram empregados, nesta série de estudos, com várias técnicas diferentes, que tiveram por objetivos:

- a) a medida da vazão s $\tilde{o}$ lida de fundo.
- b) o conhecimento do comportamento do material dragado, ap $\tilde{o}$ s sua descarga no local de rejeito.
- c) a medida de coeficientes de difus $\tilde{a}$ o na  $\tilde{a}$ rea.

O acordo estabelecido entre o Laborat $\tilde{o}$ rio de Radiois $\tilde{o}$ topos e o INPH previa duas inje $\tilde{c}$ o $\tilde{e}$ s de fundo e duas inje $\tilde{c}$ o $\tilde{e}$ s em suspens $\tilde{a}$ o, ambas realizadas com ouro radioativo. Entretanto, o trabalho realizado ultrapassou sens $\tilde{i}$ velmente esta previs $\tilde{a}$ o, realizando-se tr $\tilde{e}$ s inje $\tilde{c}$ o $\tilde{e}$ s de fundo - uma delas utilizando ir $\tilde{i}$ dio, cujo per $\tilde{i}$ odo de acompanhamento  $\tilde{e}$  muito superior ao do ouro - quatro inje $\tilde{c}$ o $\tilde{e}$ s em suspens $\tilde{a}$ o e duas inje $\tilde{c}$ o $\tilde{e}$ s de bromo radioativo, para a medida de coeficientes de difus $\tilde{a}$ o. O per $\tilde{i}$ odo de trabalho de campo tamb $\tilde{e}$ m foi sens $\tilde{i}$ velmente prolongado, realizando-se quatro campanhas de medidas, com a dura $\tilde{c}$ ao m $\tilde{e}$ dia de 20 dias. Estas campanhas envolviam, geralmente, a utiliza $\tilde{c}$ ao de 12 especialistas no campo, entre engenheiros e t $\tilde{e}$ cnicos de n $\tilde{i}$ vel m $\tilde{e}$ dio.

Este relat $\tilde{o}$ rio apresenta os resultados obtidos, a partir da an $\tilde{a}$ lise de uma parte da consider $\tilde{a}$ vel massa de dados obtida, e se refere ao estudo do movimento do material de fundo na regi $\tilde{a}$ o ao largo da Ilha da Moela e da Ponta da Munduba. (24 $^{\circ}$  05' S e 46 $^{\circ}$  17' W)

## 1.2. OBJETIVOS GERAIS DOS TRABALHOS.

Como parte do Programa Nacional de Corredores de Exportação, está em andamento um estudo geral do estuário de Santos, realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias do Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis. Durante este estudo, tem sido coletado um grande número de dados sobre o estuário, incluindo-se neles medidas de altura, período e direção de ondas, medidas de correntes em vários pontos, medidas de direção e intensidade de ventos, medas de alturas de maré, etc.

O estudo realizado pelo Laboratório de Radioisótopos do IPR faz parte deste quadro geral, referindo-se especificamente à seleção de novos locais para despejo do material dragado no canal de acesso e na bacia do porto. O problema adquire importância, em vista da dragagem intensiva que ora se processa em Santos, para o aprofundamento do canal e do porto. Os objetivos deste trabalho eram a análise de dois novos locais de despejo, tanto em relação ao material que se move em suspensão, como em relação ao movimento de fundo.

### 1.3. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A MEDIDA DE MOVIMENTO DE FUNDO, NA ÁREA DA PONTA DA MUNDUBA.

O material dragado na região portuária de Santos é atualmente despejado nas proximidades da Ponta de Itaipu, que é utilizada, para este fim, há muitos anos. O Programa de Corredores de Exportação intensificou grandemente o esforço de dragagem, que é atualmente executado por quase uma dezena de dragas, de tipos e capacidades diferentes. O D.N.P.V.N., pretendendo estabelecer novas regiões de despejo, propôs para estudo duas áreas, situadas em frente às Pontas do Munduba e Itaipu, a cerca de 3 km ao largo e a profundidades, respectivamente, de 23m e de 17m. (Fig. 1)

Neste trabalho, descreve-se o estudo realizado na área da Ponta da Munduba, relativo à movimentação de material de fundo. Em etapas posteriores, serão examinados os estudos de movimentação do material em suspensão, na mesma área.

Estava prevista a injeção de um radioisótopo de meia-vida curta (Au-198) para a medida da movimentação de sedimento de fundo, na área da Ponta da Munduba. Entretanto, resolveu-se estudar o problema de modo mais completo, nesta região, utilizando-se um traçador de meia-vida mais longa, o Ir-192, com  $T_{1/2} = 74,4$  dias.

O trabalho, realizado com a mesma metodologia já empregada em outros portos brasileiros, iniciou-se pela injeção de material de fundo da região a estudar, marcado com um traçador radioativo. Em seguida, o seu movimento foi acompanhado, por meio de detectores de radiação, arrastados sobre o fundo por um barco.

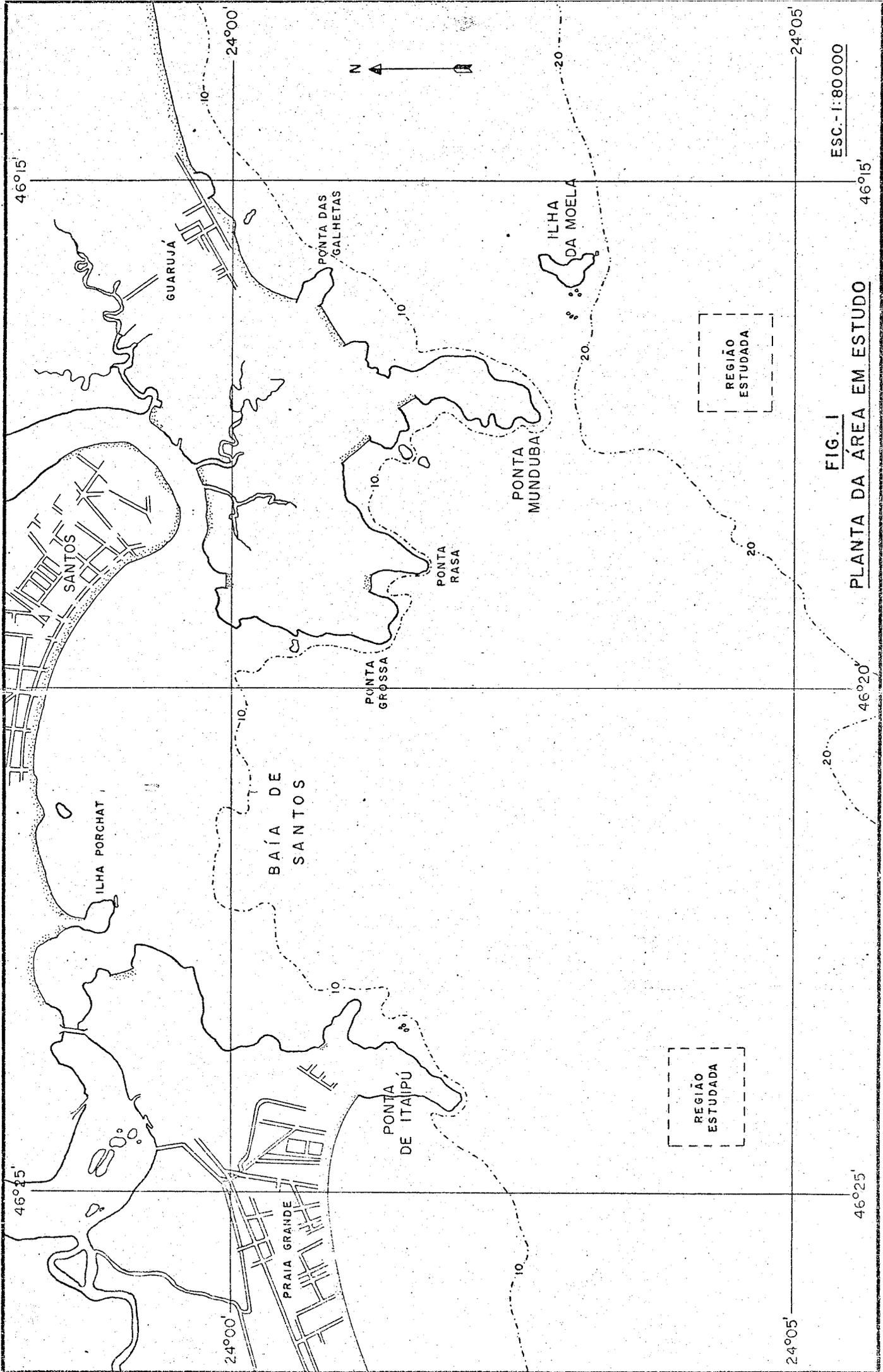


FIG. I

PLANTA DA ÁREA EM ESTUDO

ESC. - 1:80 000

46°15'

46°20'

46°25'

24°05'

24°05'

Os dados de detecção foram analisados pelo "método do balanço de traçadores", desenvolvido por Courtois e Sauzay, do Comissariado de Energia Atômica francês. Este método permite a obtenção de estimativas sobre a vazão sólida de fundo. Durante a análise, foram também verificadas a velocidade, a direção e o sentido de movimentação do material de fundo.

## 2. O TRABALHO DE CAMPO.

### 2.1. A INJEÇÃO DE TRAÇADOR.

Análises granulométricas da região mostraram que o material de fundo contém uma fração importante de material fino (Fig. 2). Como foi definida a utilização de irídio como traçador, o material a ser injetado constituiu-se de 500g de vidro finamente moído, contendo 0,14% de irídio e preparado especialmente para irradiação em reatores nucleares. Para que este material fosse representativo do material de fundo, a injeção foi feita após prévio misturamento do traçador ao sedimento natural. Para a execução deste misturamento foi desenvolvido um novo equipamento de injeção, que permitiu todo o manuseio do material sob a proteção de blindagens de chumbo.

O método utilizado consiste nas seguintes etapas:

- a) abertura da blindagem em que o radioisótopo foi transportado desde o reator.
- b) abertura do frasco que contém o radioisótopo, serrando-se a sua tampa.
- c) transporte do radioisótopo para o frasco de injeção.
- d) homogeneização do radioisótopo (ar comprimido) e coleta de alíquota, para medida da atividade injetada.
- e) adição de material de fundo ao frasco de injeção, seguida de homogeneização por ar comprimido.

Esta operação é realizada no barco que vai ser usado para a injeção, porém em região de águas calmas e protegidas do vento. No local da injeção retira-se, com pinças especiais, o frasco de injeção da blindagem, colocando-o no suporte de injeção, que é descido até o fundo.

A injeção propriamente dita é realizada pela explosão de uma capsula de fulminato de mercúrio, próxima ao frasco de injeção, mantido pelo suporte a uma altura entre 5 e 10 centímetros do fundo.

Antes de sua realização, foi feito um levantamento do ruído de fundo (background) na região, isto é, foi determinada a radioatividade natural do fundo a ser estudado. As posições do barco, durante este levantamento, foram determinadas por triangulação a vante, por meio de dois teodolitos. Uma das bases ficou localizada na Ponta da Munduba, em área pertencente ao Forte dos Andradas, sendo seu acesso feito por terra. A segunda base estava na Ilha da Moela. Em ambas, o acesso é difícil.

A injeção foi realizada no dia 15 de Novembro de 1973, às 13 horas e 15 minutos. Soprava um vento leste moderado, com ondas de SE, de altura de aproximadamente 1,5m. A operação foi realizada sem problemas.

Após a injeção, foi realizada a detecção de localização, verificando-se, então, que o material injetado havia se espalhado por uma região de cerca de 100m de largura por 300m de comprimento.

## 2.2. AS DETECÇÕES.

### 2.2.1. INFORMAÇÕES GERAIS.

Uma detecção consiste em cobrir toda a nuvem radioativa por meio de trajetórias paralelas, que são mais próximas entre si (20 a 50 m) nas regiões de concentração de atividade. O material radioativo foi detectado por meio de uma sonda (detector de cintilação) presa a um trenô metálico (Fig. 3) que é rebocado, pelo barco, sobre o fundo. Devido às profundidades encontradas serem relativamente grandes - entre 20 e 25 metros - o trenô foi preso a um cabo de aço de 5/8", que ajudava a mante-lo no fundo, além de lastrado com pesos de chumbo. Ele era lançado e recolhido pelo guincho motorizado do próprio barco, normalmente utilizado para recolher redes de pesca. Dois barcos foram usados durante o trabalho, ambos pesqueiros, alugados pelo Laboratório de Radioisótopos. Tanto o "Gaúcho I" como o "Gaúcho V" tinham 14 m de comprimento na linha d'água e cerca de 3 m de boca, com boas cabines para o abrigo dos aparelhos e para a realização do posicionamento do barco.

O equipamento utilizado foi o seguinte:

- Detectores de cintilação SRAT, tipo SPP3, com cristal de NaI(Tl), 1" x 1 1/4", contido em uma dupla proteção (metal e poliestireno)
- Contadores de impulsos Hewlett Packard, 5201 L
- Registradores gráficos Moseley, bi-canal, 7100 BM
- Impressora mecânica Hewlett Packard, 562 A

O conjunto de aparelhos era alimentado por um gerador Honda de 1500 W, a gasolina, ligado a um quadro de controle, contendo voltímetro, amperímetro e frequencímetro.

A eco-sonda utilizada era da marca Furuno, pertencente ao barco.

A comunicação barco-teodolitos foi assegurada por radio-transmissores portáteis, Evadin ou Tokai, 5 W de saída operando na faixa de 27 Mc. A posição do barco era determinada a intervalos de 30 segundos e lançada, na cabine do barco, em cartas da região. Desvios de rota podiam, deste modo, ser corrigidos rapidamente.

## 2.2.2. AS CAMPANHAS DE DETECÇÃO.

Devido à grande quantidade de serviços a executar, trabalhou-se, de um modo geral, simultaneamente nas duas áreas de estudo, utilizando-se dois barcos. Normalmente, várias medidas eram realizadas durante uma campanha de detecção, cobrindo movimento de fundo e movimento em suspensão nas Pontas do Itaipu e Munduba. Especificamente, no caso do movimento de fundo na área da Ponta da Munduba, coberto por esse relatório, foram realizadas as seguintes detecções:

- a) Detecção de localização, em 15/11/1973
- b) 1ª detecção, em 16 e 17/11/1973
- c) 2ª detecção, em 21 e 22/11/1973
- d) 3ª detecção, em 14/12/1973
- e) 4ª detecção, em 25 e 26/01/1974

Foi ainda realizada uma detecção em 22/01/1974, cujos resultados somente foram analisados na região de maior atividade. As medidas cobriram, portanto, 72 dias, o que é suficiente para caracterizar-se o comportamento do material de fundo nesta época do ano.

De um modo geral, as detecções decorreram sem maiores problemas, conseguindo-se linhas de detecção quase paralelas, com pequenos desvios de rota. O fundo, que é limpo, não causou problemas ao arraste do trenó.

As condições de mar e de visibilidade foram, em geral, razoáveis: em quatro campanhas de detecção, a equipe deixou de trabalhar apenas uma dezena de dias, devido a condições meteorológicas adversas - em geral, má visibilidade.

O equipamento eletrônico, já testado em campanhas anteriores, também não apresentou problemas sérios.

### 3. ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS.

#### 3.1. CORREÇÕES PRELIMINARES.

Os dados brutos de medida sofreram as seguintes correções:

- a) Correção de ruído de fundo, subtraindo-se, de cada contagem, o ruído de fundo da região em estudo.
- b) Correção de decaimento: A meia-vida (tempo para que a atividade se reduza à metade do seu valor inicial) do Ir-192 é 74,4 dias. A correção de decaimento é feita por:

$$A = A_0 e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{T_{1/2}}}$$

onde:

A é a atividade no tempo t

A<sub>0</sub> é a atividade no dia da injeção

T<sub>1/2</sub> é a meia-vida

- c) Correção das variações de velocidade do barco.

Todos os dados de contagem são reduzidos para uma velocidade do barco de 1 m/s, multiplicando-se cada contagem, obtida em determinado percurso, pela velocidade do barco naquele percurso. Obtem-se, assim, um valor para cada linha, dado em contagens vezes metros.

d) Correção da inclinação das linhas de detecção.

Define-se direção de transporte como a reta perpendicular ao maior número de trajetórias percorridas pelo barco. Os desvios de trajetória são corrigidos multiplicando-se a contagem em cada trecho pelo coseno do ângulo entre o trecho e a perpendicular à direção de transporte.

Após estas correções, todas as contagens de uma determinada linha de detecção são somadas e o valor obtido é utilizado na construção do diagrama de transporte, que será definido a seguir.

Todas as correções acima descritas são realizadas com o auxílio de uma calculadora programável Hewlett Packard, acoplada a uma leitora de fita perfurada e a uma impressora. Os programas de cálculo foram desenvolvidos pelo Laboratório de Radioisótopos.

### 3.2. O DIAGRAMA DE TRANSPORTE.

O diagrama de transporte é obtido fazendo-se corresponder a contagem total corrigida de cada linha (em c/s x m) à posição dada pela intersecção da linha com a direção de transporte. A área total deste diagrama (em c/s x m<sup>2</sup>) fornece o valor N da contagem total detectada. Este valor é utilizado, da maneira explicada no Anexo I, para calcular o valor E da espessura de transporte.

Determina-se também o centro de gravidade do diagrama de transporte, cuja projeção sobre o eixo das distancias fornece a projeção do centro de gravidade da nuvem radioativa sobre a direção de transporte.

As posições sucessivas do centro de gravidade da nuvem permitem determinar a velocidade média  $V_m$  de movimentação do traçador entre duas detecções.

A vazão sólida do fundo é calculada por:

$$Q = \rho L V_m E$$

onde  $V_m$  e  $E$  já foram definidos,  $\rho$  é a densidade aparente do material de fundo e  $L$  é a largura da região coberta pelo transporte.

Resumindo:

- i. A área do diagrama de transporte fornece o valor de N (c/s x m<sup>2</sup>).
- ii. Deste valor, deduz-se a espessura de transporte, E.
- iii. As posições sucessivas do centro de gravidade da nuvem fornecem a velocidade média de transporte,  $V_m$ .
- iv. Calcula-se a vazão sólida pela expressão:

$$Q = \rho V_m L E, \text{ tomando-se, em geral, } L = 1m.$$

### 3.3. AS CURVAS DE ISO-CONTAGEM.

Os resultados experimentais podem também ser apresentados sob a forma de curvas de iso-contagem, que permitem uma visualização mais fácil do movimento do material.

Elas são obtidas localizando-se cada ponto de contagem no mapa da área em estudo e fazendo-se corresponder a cada ponto a taxa de contagem nele obtida. A taxa de contagem, neste caso, apenas é corrigida do ruído de fundo e do decaimento radioativo. Em seguida, une-se por uma linha contínua todos os pontos de mesma taxa de contagem.

As curvas assim obtidas dão uma excelente visualização do espalhamento do traçador, apesar de fornecerem poucas informações quantitativas.

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS.

A análise dos dados obtidos nas 4 medições efetuadas é apresentada a seguir.

Nas figuras 4, 5, 6, 7 e 8, aparecem as curvas de iso-contagem, nas quais estão representados os resultados de contagem obtidos em 6 segundos - intervalo de tempo entre duas integrações do contador de pulsos. A evolução do material de fundo no decorrer do tempo pode ser avaliada pela superposição destes diagramas. Verifica-se imediatamente a pequena movimentação do material, pois as regiões de alta taxa de contagem, nas quais está concentrada a maior parte da radioatividade, são coincidentes.

A figura 4 representa a detecção de mise-en-place, realizada imediatamente após a injeção, no dia 15 de novembro. Pode ser nela visto, de modo claro, que, apesar da maior parte do traçador ter se mantido bem próxima ao ponto de injeção, houve o espalhamento de uma fração ponderável do radioisótopo. O fato mais importante em relação a esta fração que se espalhou foi o seu desaparecimento das detecções posteriores. A área na qual esta fração do material se espalhou após a injeção foi cuidadosamente coberta na detecção dos dias 16 e 17 de novembro, não mais se encontrando atividade na região.

O material injetado era constituído de 0,5 kg de vidro moído, misturado a cerca de 5 kg de vasa. Antes do misturamento, foram coletadas alíquotas do radioisótopo. Estas foram levadas a um equipamento de medida, no qual se determinou que a atividade injetada era de 940 mCi. Como foi dito, parte dela desapareceu no dia seguinte à injeção, provavelmente uma fração fina do material, arrastado em suspensão.

Para determinar a atividade remanescente, foi feito o balanço da região correspondente ao material que desaparecera, verificando-se que ela correspondia a 165 mCi. No cálculo deste balanço, foi admitida a hipótese de que todo o material estava distribuído superficialmente, o que é válido já que a detecção de mise-en-place foi realizada uma ou duas horas após a injeção. Portanto, o material radioativo restante e que foi objeto de todas as detecções posteriores corresponde a 775 mCi, ou seja, oitenta por cento da carga original. Um exame da curva granulométrica mostra que 20% do material corresponde à fração mais fina presente, com diâmetro inferior a 0,001 mm.

Portanto, os dados obtidos neste trabalho referem-se provavelmente ao material dragado com diâmetro superior a 0,001 mm. A fração mais fina possivelmente pode entrar em suspensão e ser arrastada rapidamente.

Na detecção de 16 e 17 de novembro (figura 5), o material apresentava um pequeno movimento na direção SE, havendo, entretanto, forte concentração de atividade nas proximidades do ponto de injeção.

Nas detecções posteriores, este ramo praticamente não mais se deslocou.

Nos dias 22 e 23 de novembro (figura 6), houve uma repartição da atividade em dois ramos, aparecendo uma componente de movimento na direção E. A concentração de material na área da injeção permanecia grande. Deste modo, ficou evidente que a movimentação não era intensa; em vista disso, a detecção seguinte foi realizada em 14 de dezembro (figura 7). Os dois ramos continuam presentes, tendo o ramo SE se mantido estável e o ramo leste sofrido ainda um maior espalhamento. Entretanto, a parte mais importante da atividade, cerca de 60%, continua próxima ao ponto de injeção.

A última detecção foi realizada em 25 e 26 de janeiro de 1974. O ramo SE desapareceu, permanecendo o ramo E, da curva; ainda nesta detecção, uma fração importante da atividade permanecia nas proximidades do ponto de injeção.

A análise destas curvas mostra, portanto, que a movimentação do material é pequena e, além disso, que o movimento principal se faz na direção E.

Para melhor visualizar estas observações, a figura 9 apresenta uma carta da região estudada, na qual aparecem as bases dos teodolitos, os eixos de coordenadas utilizados, o ponto de injeção e a posição da nuvem radioativa em 21 e 22 de novembro.

As curvas de iso-concentração são traçadas do seguinte modo:

- a) As trajetórias percorridas pelo barco durante a detecção são desenhadas em uma carta da região.
- b) As contagens obtidas em cada ponto destas trajetórias, em intervalos de 6 segundos, são lançadas sobre estas linhas.
- c) Une-se, por uma linha contínua, os pontos que apresentam a mesma taxa de contagem.

Trata-se, portanto, de um processo de interpolação visual. Para a análise quantitativa, utiliza-se os diagramas de transporte, já descritos anteriormente. Eles são apresentados nas figuras 10, 11, 12 e 13. O seu exame mostra claramente a concentração de atividade nas regiões próximas ao ponto de injeção. A altura do pico principal diminui do início para o fim das detecções, devido ao maior espalhamento do material.

Na figura 14, está apresentado o diagrama de transporte integrado. Sendo  $x$  o eixo das distancias e  $f(x)$  a expressão matemática da curva que representa o diagrama de transporte, cada ponto do diagrama de transporte integrado é dado por:

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx$$

A função  $F(x)$  é normalizada, de modo que o eixo vertical mostre porcentagens de material. O diagrama integrado mostra, por exemplo, que o afastamento máximo do material do ponto de injeção foi de 700 m. Entretanto, apenas 10% do material chegou a 300 m do ponto de injeção, enquanto que 20% dele atingiu 150 m de afastamento. Portanto o espalhamento é bastante pequeno, o que é comprovado pelo trecho quase vertical mostrado pelos gráficos na região de injeção.

Os dados quantitativos para a análise da movimentação são obtidos do diagrama de transporte. A sua área, calculada pela fórmula de Simpson e por planimetria direta, fornece o valor de  $N$ , que representa o balanço do material detectado.

Os valores de  $N$  (tabela 1) mostram que não houve perdas de material posteriores às havidas na injeção. Como é mostrado no Anexo 1, o valor de  $N$  é utilizado para calcular a espessura média de transporte  $E$ , utilizando-se a expressão

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

| Dia      | $N$<br>(cps.m <sup>2</sup> )x10 <sup>7</sup> | $E_i$ (cm) | $\frac{E_1 + E_i}{2}$ (m) | x (m) | $Q_1$ (ton) | Nº de dias | Q (ton/dia) |
|----------|--|------------|---------------------------|-------|-------------|------------|-------------|
| 16e17/11 | 2.534  | 6.61       | 0.058                     | 3.0   | 0.29        | 5.5        | 0.05        |
| 22/11    | 2.732  | 5.05       | 0.043                     | 19.5  | 1.38        | 27.5       | 0.05        |
| 14/12    | 3.188  | 2.01       | 0.063                     | 79.0  | 8.21        | 70.0       | 0.12        |
| 25e26/01 | 2.263  | 6.13       |                           |       |             |            |             |

TABELA 1

| Dia      | $N$<br>(cps.m <sup>2</sup> )x10 <sup>7</sup> | $E_i$ (cm) | $\frac{E_i + E_{i+1}}{2}$ (m) | x (m) | $Q_1$ (ton) | Nº de dias | Q (ton/dia) |
|----------|--|------------|-------------------------------|-------|-------------|------------|-------------|
| 16e17/11 | 2.534  | 6.61       | 0.058                         | 3.0   | 0.29        | 5.5        | 0.05        |
| 22/11    | 2.732  | 5.05       | 0.035                         | 16.5  | 0.95        | 22.0       | 0.04        |
| 14/12    | 3.188  | 2.01       | 0.041                         | 98.5  | 6.66        | 42.5       | 0.16        |
| 25e26/01 | 2.263  | 6.13       |                               |       |             |            |             |

TABELA 2

$\alpha$  e  $f_0$  são coeficientes, determinados em Laboratório, que são relacionados à resposta da sonda de detecção a uma atividade uniformemente distribuída. Em nosso caso, as quatro primeiras detecções utilizaram a sonda nº 10, para a qual  $f_0 = 47 \text{ c/s}/\mu\text{Ci}/\text{m}^2$  e  $\alpha = 0,135 \text{ cm}^{-1}$ . A última detecção foi executada com a sonda nº 4, para a qual  $f_0 = 41 \text{ c/s}/\mu\text{Ci}/\text{m}^2$  e  $\alpha = 0,135 \text{ cm}^{-1}$ .  $N$  é o valor obtido pela integração do diagrama de transporte e é dado em  $\text{c/s} \cdot \text{m}^2$ .  $A$  é a atividade injetada, no caso  $7,75 \times 10^5 \mu\text{Ci}$ .

Finalmente,  $\beta$  é uma função da distribuição do material que se movimenta em profundidade; no nosso caso, é da ordem de 1,05.

A solução da equação acima é obtida pelo método de Newton - Raphson, por iterações sucessivas. Os valores de  $E$  são também apresentados na tabela 1.

A figura 15 apresenta as posições sucessivas das posições do centro de gravidade da nuvem radioativa sobre as direções de transporte, já definidas anteriormente. Para a medida da movimentação do centro de gravidade, fixou-se uma direção de transporte média, sobre a qual foram projetados todos os centros de gravidade anteriormente obtidos. A distância  $X$  entre as suas posições sucessivas é medida diretamente sobre a direção média; estas distâncias permitem calcular a velocidade média  $V_m$  de movimentação dos centros de gravidade.

O cálculo da vazão sólida de fundo é feito pela expressão:

$$Q = \rho V_m L E$$

ou, alternativamente, por:

$$Q = \rho X \frac{E_1 + E_2}{2} L ,$$

onde:  $\rho$  é a densidade aparente do material de fundo,  
 $X$  é a distancia entre posições sucessivas do centro de gravidade,  
 $E_1$  e  $E_2$  são duas espessuras médias, correspondentes aos dias entre os quais se quer calcular a vazão,  
 $L$  é a distancia sobre o fundo, através da qual se processa a movimentação do material; no caso, foi tomada como  $L = 1$  m.

Os resultados da vazão sólida de fundo aparecem nas tabelas 1 e 2, na unidade de tonelada/metro.

Na tabela 1, são apresentados os resultados das vazões obtidas com relação à primeira detecção, ou seja, as vazões desde o instante inicial até o dia considerado.

Na tabela 2, aparecem os resultados correspondentes a duas detecções consecutivas. A coluna  $Q_1$  representa a vazão total e a coluna  $Q$  a vazão por dia.

Observa-se que o valor máximo encontrado, entre a 3<sup>a</sup> e a 4<sup>a</sup> detecções é da ordem de 0,16 t/m por dia, ou seja, cerca de 60 litros de material por metro linear por dia. É evidente que este valor é uma ordem de grandeza, já que os erros experimentais envolvidos são relativamente grandes, apesar do trabalho ter sido executado com a melhor técnica. Várias aproximações são feitas, sendo a mais importante delas a que se refere à distribuição do traçador em profundidade, que é extremamente difícil de ser obtida experimentalmente. Entretanto, o conjunto de dados obtidos, incluindo as curvas de iso-contagem e os diagramas de transporte, mostra claramente que o transporte sólido de fundo, na região estudada, é muito pequeno.

## 5. CONCLUSÕES PRELIMINARES.

O Laboratório de Radioisótopos recebeu, há poucos dias, os dados sobre medições de ondas e correntes no estuário de Santos, além de informações sobre ventos e marés. A correlação destes dados com os resultados dos trabalhos com traçadores radioativos está em execução; ela será apresentada junto com o relatório final, que englobará dados de fundo e de suspensão, além de medidas de coeficientes de difusão turbulenta.

Entretanto, conclusões sobre a movimentação do material de fundo na região da Moela e Munduba podem ser expressas, em função dos resultados do trabalho com traçadores. A movimentação de material de fundo é pequena nesta região, tendo sido calculada uma vazão sólida da ordem de 200 kg de material por metro linear por dia. A direção principal de movimento é leste, não havendo componentes de movimento em direção ao estuário ou em direção à praia de Guarujá.

Medidas de correntes realizadas na região mostraram que as velocidades encontradas são pequenas, o que está de acordo com as conclusões anteriores.

O período de medida foi de 70 dias, relativamente longo para um trabalho com traçadores. Se o período estudado é representativo das condições médias reinantes na área, o que poderá ser verificado a partir de dados hidraulicos, pode-se concluir que a região estudada poderá ser utilizada, com segurança, para o rejeito de material dragado.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - Planta da área em estudo.
- FIGURA 2 - Curva granulométrica do material de fundo e do material injetado.
- FIGURA 3 - Conjunto trenô-sonda
- FIGURA 4 - Curva de iso-dose.
- FIGURA 5 - Curva de iso-dose.
- FIGURA 6 - Curva de iso-dose.
- FIGURA 7 - Curva de iso-dose.
- FIGURA 8 - Curva de iso-dose.
- FIGURA 9 - Carta da área da ilha da Moela.
- FIGURA 10 - Diagrama de transporte.
- FIGURA 11 - Diagrama de transporte.
- FIGURA 12 - Diagrama de transporte.
- FIGURA 13 - Diagrama de transporte.
- FIGURA 14 - Diagramas de transportes integrados.
- FIGURA 15 - Direções de transporte, com os centros de gravidade.

## Í N D I C E

### TÍTULO.

#### 1. INTRODUÇÃO.

|      |  |      |   |
|------|--|------|---|
| 1.1. | Antecedentes.  | pag. | 1 |
| 1.2. | Objetivos Gerais dos Trabalhos.  | pag. | 3 |
| 1.3. | Considerações Gerais Sobre a Medida<br>de Movimento de Fundo na Área da<br>Ponta da Munduba. | pag. | 4 |

#### 2. O TRABALHO DE CAMPO.

|        |                           |      |    |
|--------|---------------------------|------|----|
| 2.1.   | A Injeção de Traçador.    | pag. | 6  |
| 2.2.   | As Detecções.             | pag. | 8  |
| 2.2.1. | Informações Gerais.       | pag. | 8  |
| 2.2.2. | As Campanhas de Detecção. | pag. | 10 |

#### 3. ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS.

|      |                            |      |    |
|------|----------------------------|------|----|
| 3.1. | Correções Preliminares.    | pag. | 12 |
| 3.2. | O Diagrama de Transporte.  | pag. | 14 |
| 3.3. | As Curvas de Iso-contagem. | pag. | 15 |

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS.

pag. 16

#### 5. CONCLUSÕES PRELIMINARES.

pag. 22

## ANEXO 1

### 1. O MÉTODO DO BALANÇO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS.

#### 1.1. INTRODUÇÃO.

A determinação da vazão mássica de material em movimento no fundo de um rio ou do mar é um problema complexo. A utilização de traçadores radioativos, em sua solução, tem apresentado resultado bastante satisfatório, sendo empregada cada vez mais frequentemente em diversos países.

Um trabalho com traçadores consiste essencialmente em marcar, com um traçador radioativo, uma amostra representativa do material em movimento no fundo, e acompanhar a sua evolução, por meio de um detetor de radiação arrastado por um barco. Outra alternativa é simular o material de fundo por meio de vidro moído, na granulometria necessária, ao qual é adicionado um material ativável (iúridio, ouro, tantaló, etc).

A posição do barco que transporta o detetor é obtida, em intervalos de tempo pre-determinados, por meio de uma rede de teodolitos, por sextantes ou por equipamento de rádio-localização.

Apesar dessa aparente simplicidade, cada trabalho deve ser cuidadosamente estudado e planejado, devido às diferenças que apresentam entre si e que introduzem al

terações profundas no método de abordagem.

O método acima descrito é um exemplo típico de um método de integração no espaço, pois se procura, em cada detecção, determinar a distribuição completa do material radioativo no fundo. Uma série de detecções, separadas por intervalos que vão de dias a meses, representa um trabalho completo.

A determinação dos centros de gravidade das sucessivas detecções permite que se determine a velocidade média  $V_m$  do transporte sólido, num intervalo de tempo determinado. A vazão mássica é então calculada pela expressão,

$$Q = \rho \ell V_m E \quad (1)$$

onde

$Q$  = vazão mássica em toneladas/dia

$\rho$  = massa específica do sedimento, em toneladas/m<sup>3</sup>

$\ell$  = largura de transporte, em metros

$V_m$  = velocidade média, em m/dia

$E$  = espessura da camada em movimento, em m.

Este método necessita, portanto, do conhecimento da espessura  $E$  da camada em movimento. Esta espessura pode ser determinada por

- amostragens efetuadas no interior da nuvem radioativa
- considerações sobre o modo de transporte (rugas, dunas), obtidos por sondagem ultra-sônica.
- utilização do método do balanço de traçadores.

Cada um dos métodos apresenta vantagens e problemas e são, de um modo geral, complementares. O método do balanço pode ser utilizado diretamente sobre os dados obtidos durante as detecções do material radioativo, a partir de hipóteses-baseadas em resultados experimentais-sobre a distribuição provável do traçador em profundidade.

Antes de abordar o método do balanço, é necessãrio ressaltar a importância dos dados hidráulicos para a análise e a interpretação dos resultados. Os trabalhos com traçadores, apesar de poderem durar meses, fornecem informações limitadas no tempo. A extrapolação das informações obtidas para períodos mais longos e a interpretação global dos resultados de cada trabalho exigem o conhecimento de dados hidrológicos completos da região em estudo.

A existência desses dados condiciona a validade dos resultados obtidos a partir dos traçadores radioativos.

## 1.2. O MÉTODO DO BALANÇO DE TAXAS DE CONTAGEM.

### 1.2.1. PRINCÍPIO.

O método do balanço de taxas de contagem baseia-

se em uma ideia simples. Suponhamos que esteja sendo efetuada a detecção de duas nuvens radioativas, cada uma transportando a mesma atividade  $A$ , sendo uma pouco e a outra mais fortemente enterradas. Quanto mais profunda estiver uma camada de traçador, menos contagens ela fornece a uma sonda que passe sobre ela, em consequência da maior absorção sofrida pela radiação e de uma geometria de detecção menos favorável. Segue-se daí que uma dada curva de iso-atividade (por exemplo, 500 c/s) cobrirá uma superfície maior no caso da camada menos profunda (figura 1). Deve, portanto, existir uma relação entre a espessura da camada em movimento  $E$  e o número total de contagens que podem ser detectadas  $N$  nds. Chamamos balanço das taxas de contagem ao cálculo do valor  $N$  desta integral, a partir das curvas de iso-contagem (ou iso-atividade).

$$N = \iint \text{nds}$$

Suponhamos que o detector esteja calibrado, isto é, que se conheça sua resposta  $f$  para uma atividade unitária, enterrada à profundidade  $z$

$$f = f(z)$$

Em um local determinado da nuvem radioativa a taxa de contagem  $n$  será

$$n = \int_0^e f(z) C(z) dz, \quad (2)$$

onde  $C(z)$  é a atividade por unidade de volume, no ponto considerado, à profundidade  $z$ . A expressão (2) dá a relação existente entre a espessura da nuvem radioativa no ponto e a taxa de contagem medida.

Pode-se calcular  $N$  por

$$N = \iiint_s nds = \iiint_v f(z) C(x, y, z) dx dy dz \quad (3)$$

Chamemos  $\Gamma(z)$  a atividade presente, em toda a nuvem, na camada à profundidade  $z$

$$N = \int_0^E f(z) dz \iint C(x, y) dx dy \quad \text{ou}$$

$$N = \int_0^E f(z) \Gamma(z) dz, \quad (4)$$

onde  $E$  é a espessura da camada em movimento.

Consideremos agora a forma que pode assumir a resposta da sonda a uma atividade unitária,  $f(z)$ .

Em geral,  $f(z)$  apresenta uma forma exponencial

$$f = f_0 e^{-\alpha z} \quad (5)$$

Esta expressão é determinada por calibração, em laboratório, colocando-se fontes de atividade unitária enterradas a diferentes profundidades  $z$  e determinando-se a resposta da sonda para cada uma destas configurações.

Levando a expressão (5) na expressão (4), obtém-se

$$N = \iiint \text{nds} = \int_0^E \Gamma(z) f_0 e^{-\alpha z} dz$$

o que pode ser escrito

$$N = \Gamma_M \int_0^E f_0 e^{-\alpha z} dz = \Gamma_M \frac{f_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha E}) \quad (6)$$

$\Gamma_M$ , que é uma função de  $\Gamma(z)$  e de  $f(z)$ , é a concentração uniforme equivalente que, repartida na mesma espessura  $E$ , daria a mesma taxa de contagem que a repartição real  $\Gamma(z)$ .

$$\Gamma_M = \frac{\int_0^E \Gamma(z) f(z) dz}{\int_0^E f(z) dz} \quad (7)$$

Este valor de  $\Gamma_M$   $\bar{e}$ , em geral, diferente da concentração  $\bar{m\bar{e}}$  dia  $\Gamma_m$

$$\Gamma_m = \frac{\int_0^E \Gamma(z) dz}{\int_0^E dz} = \frac{A}{E} \quad (8)$$

Façamos

$$\beta = \frac{\Gamma_M}{\Gamma_m} \quad (9)$$

O valor de  $\beta$  pode ser calculado, desde que se façam hipóteses sobre a lei  $\Gamma(z)$ , pois a resposta da sonda  $f(z)$  já foi determinada experimentalmente. Em geral testam-se várias alternativas supondo-se que o traçador se distribui, em profundidade,

- i. de forma linear
- ii. segundo uma lei parabólica, com o máximo na superfície.

iii. segundo uma lei parabólica, com um máximo a um terço da profundidade total.

Introduzindo o valor de  $\beta$  na expressão (6), obtem-se

$$\frac{1}{B} \frac{\alpha}{\delta_0} \frac{N}{A} = \frac{1 - e^{-E}}{E} \quad (10)$$

onde

- $\alpha$  e  $\delta_0$  são coeficientes de calibração, determinados em laboratório.
- A a atividade injetada, é conhecida
- N é calculado a partir dos dados obtidos no trabalho de campo.
- $\beta$  é uma função de E, conhecida a partir das hipóteses feitas sobre a distribuição do traçador em profundidade.

Pode-se, portanto, calcular o valor de E, por métodos gráficos ou matemáticos.

A fórmula (1), que dá a vazão mássica, tem então determinados os seus termos

$$Q = \rho l V_m E$$

$l$  é determinado medindo-se a largura do leito na qual existe movimento; em geral, o cálculo é feito para  $l = 1\text{m}$ .

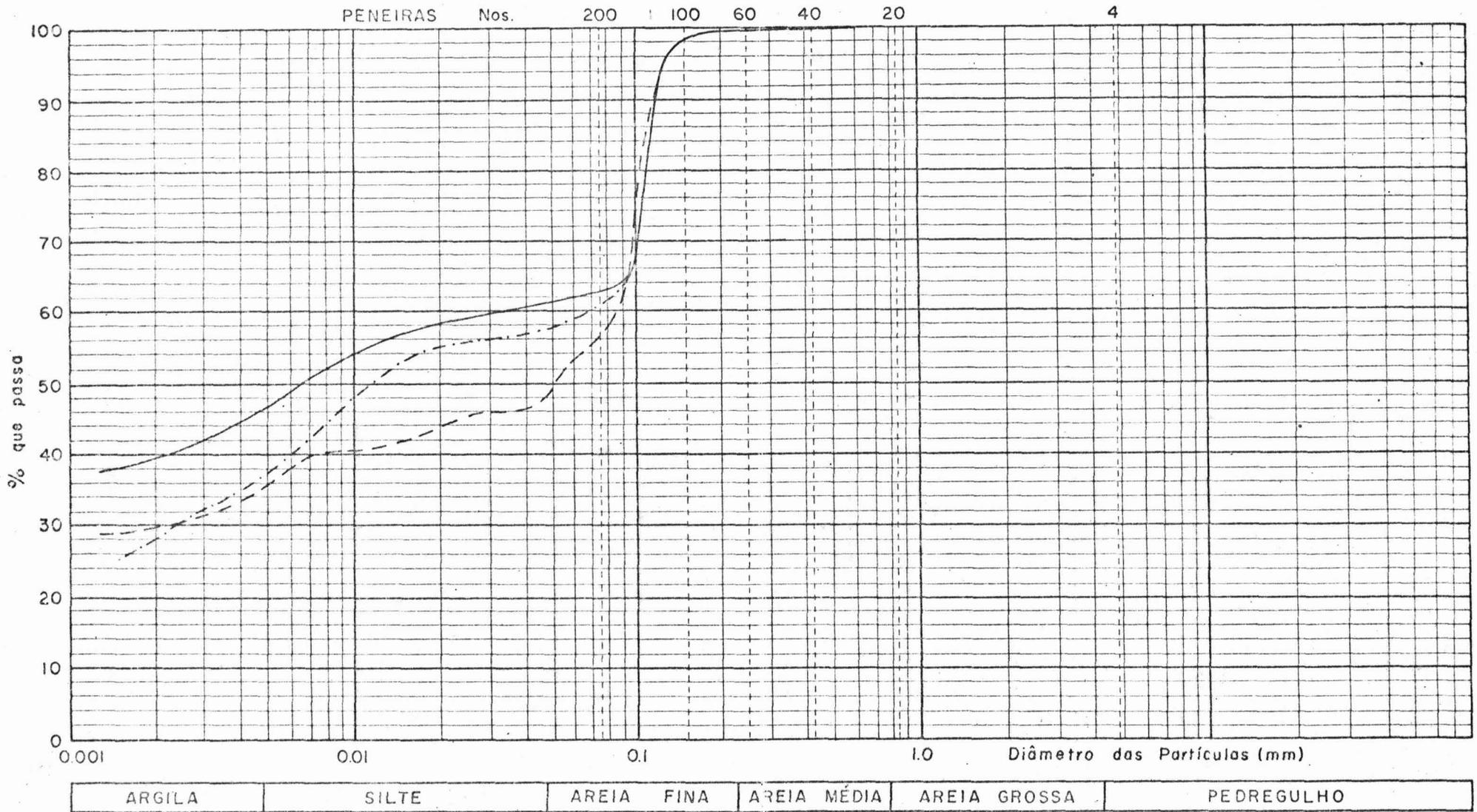
$V_m$  é calculado a partir dos centros de gravidade das nuvens. Pode-se, portanto, determinar a vazão mássica de material arrastado pelo fundo.

. / mgs.

FIG. 2

CURVA GRANULOMÉTRICA DO MATERIAL DE FUNDO E DO MATERIAL INJETADO

- AMOSTRA COLETADA 1
- - - AMOSTRA COLETADA 2
- · - · - AMOSTRA INJETADA



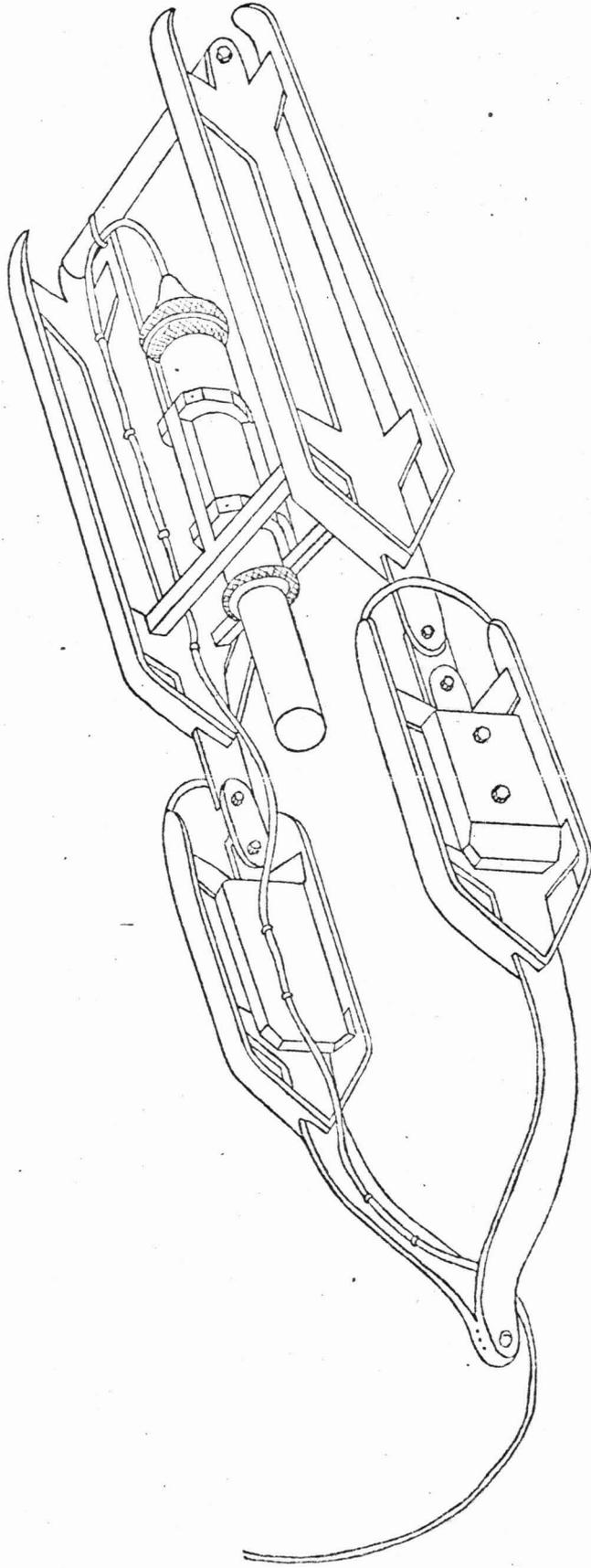
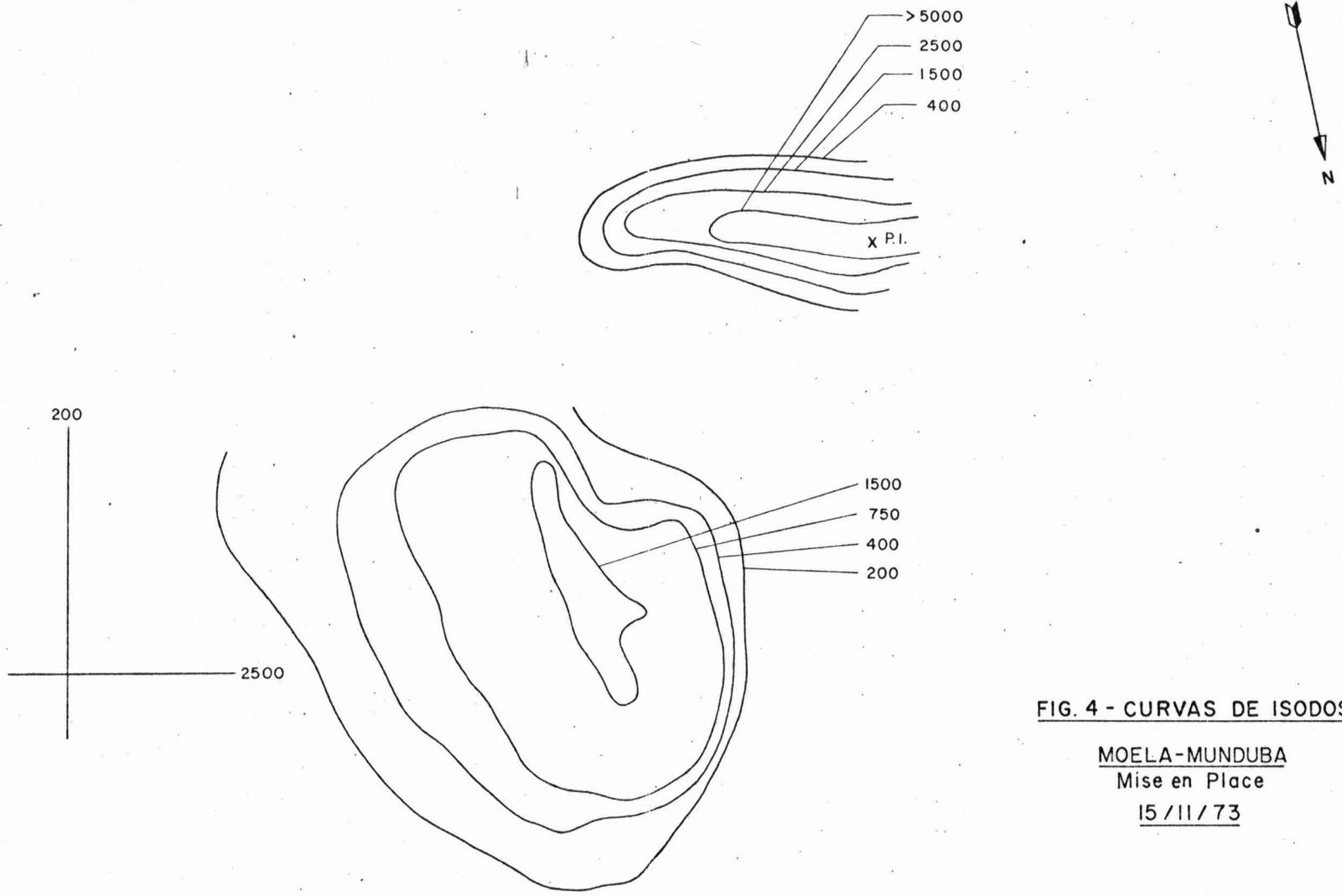
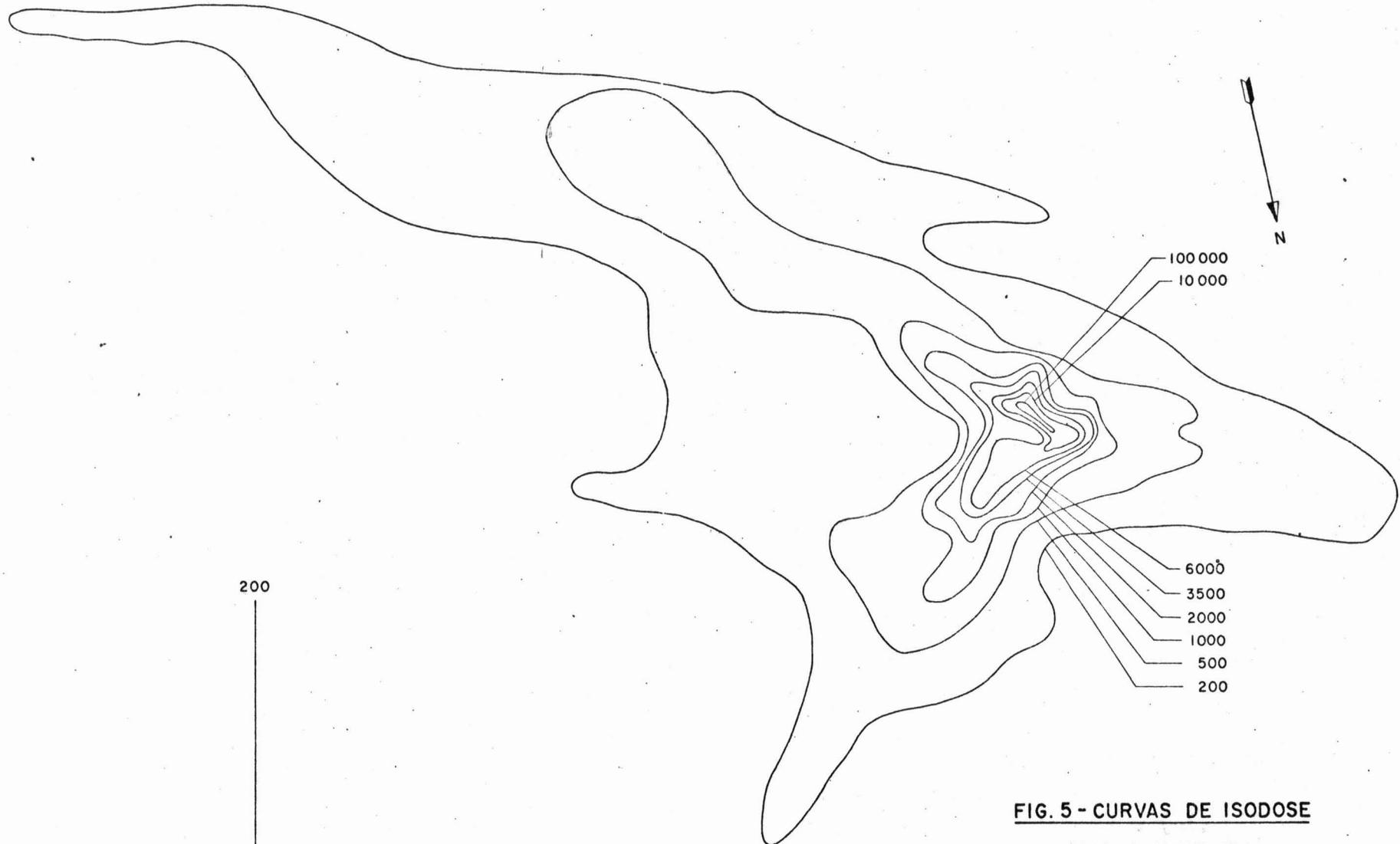


FIG. 3  
TRENÓ DE RASTREAMENTO



**FIG. 4 - CURVAS DE ISODOSE**

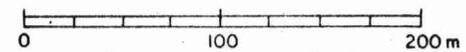
**MOELA-MUNDUBA**  
**Mise en Place**  
**15 / 11 / 73**

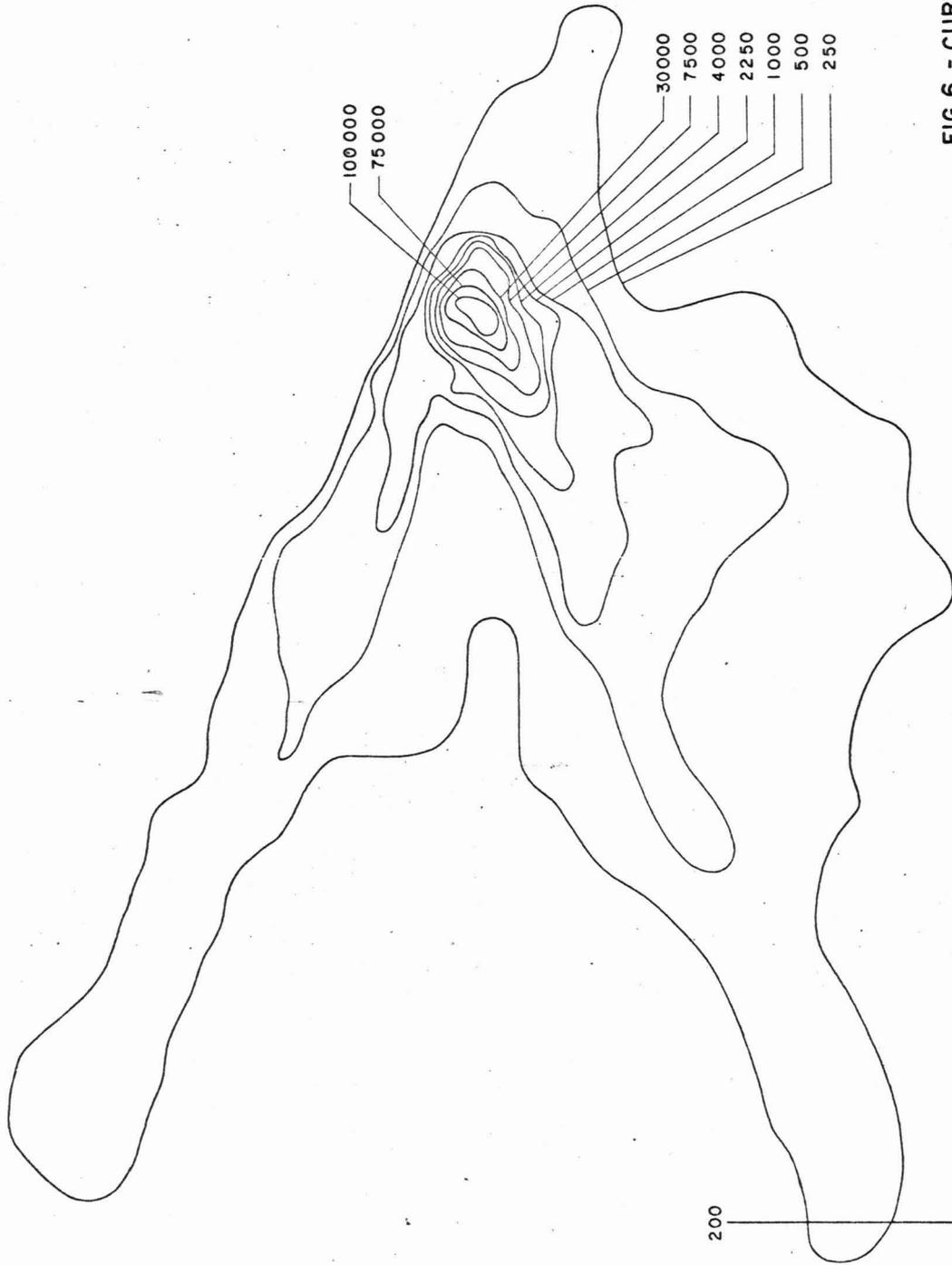


**FIG. 5 - CURVAS DE ISODOSE**

**MOELA-MUNDUBA**

**16-17/11/73**

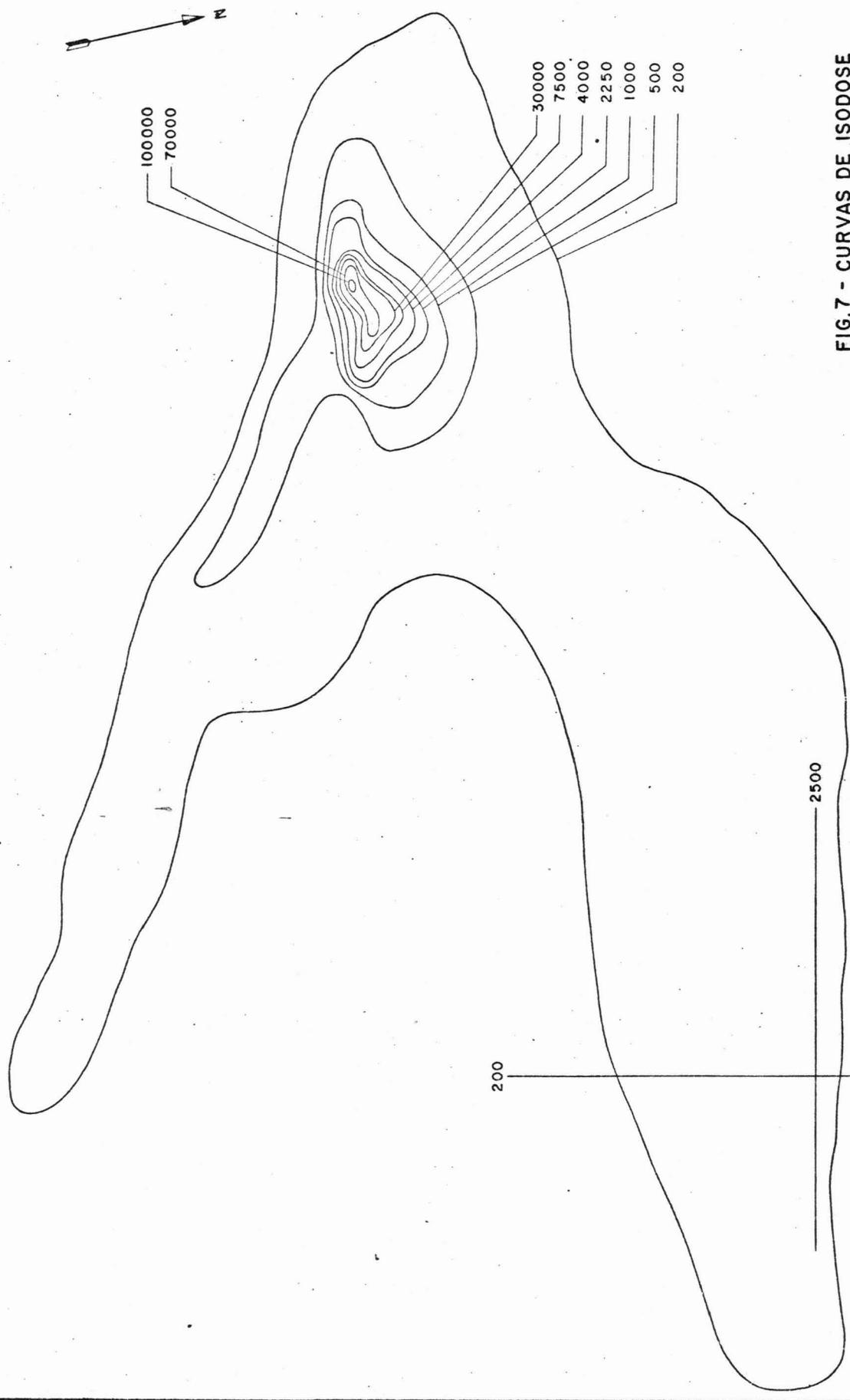




**FIG. 6 - CURVAS DE ISODOSE**

**MOELA - MUNDUBA**

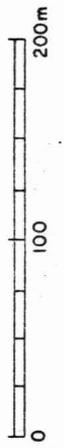
**21-22/11/73**

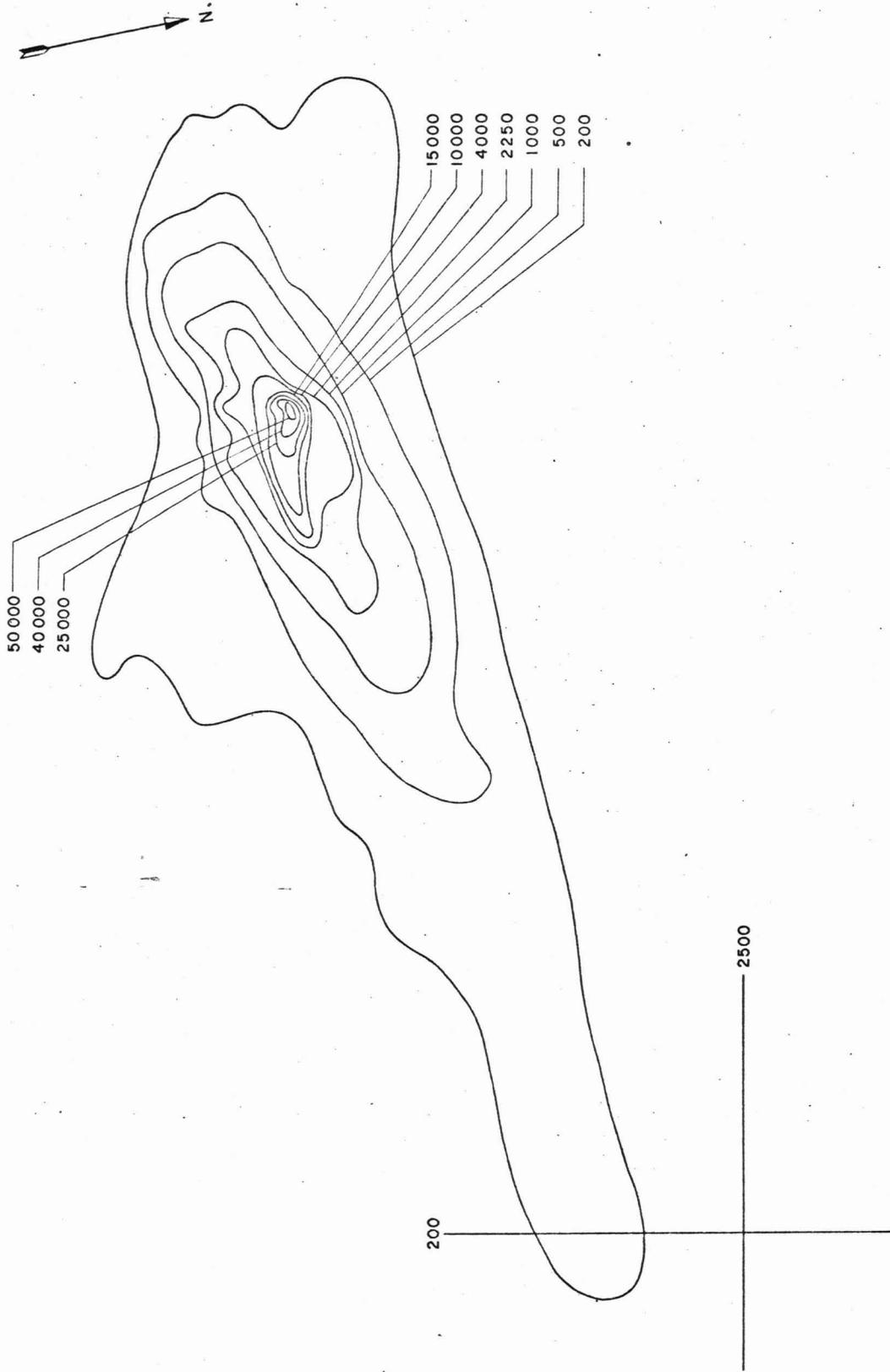


**FIG.7 - CURVAS DE ISODOSE**

**MOELA - MUNDUBA**

**14/12/73**

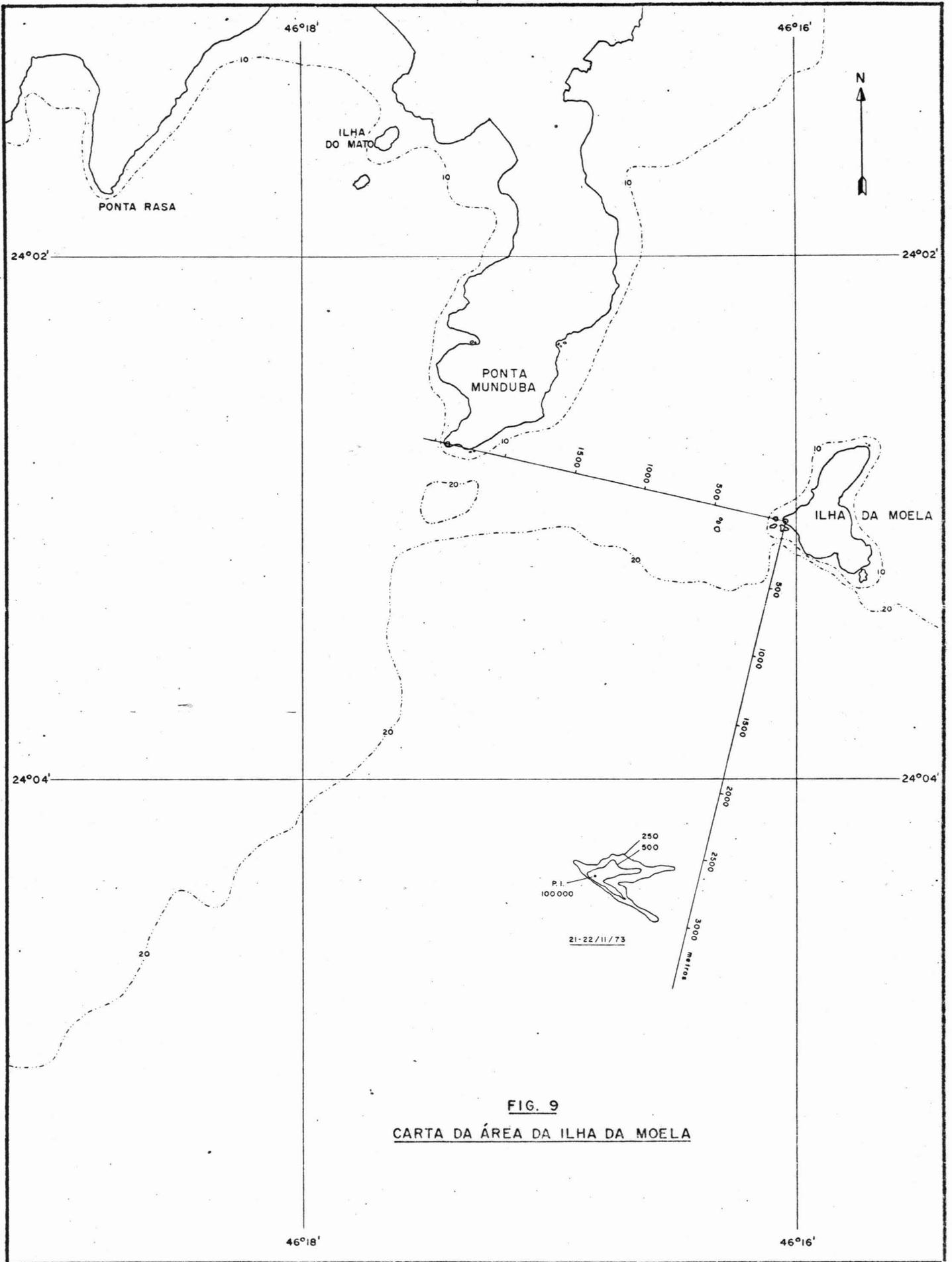




**FIG. 8 - CURVAS DE ISODOSE**

**MOELA - MUNDUBA**

**25-26/01/74**



**FIG. 9**  
**CARTA DA ÁREA DA ILHA DA MOELA**

FIG. 10

DIAGRAMA DE TRANSPORTE

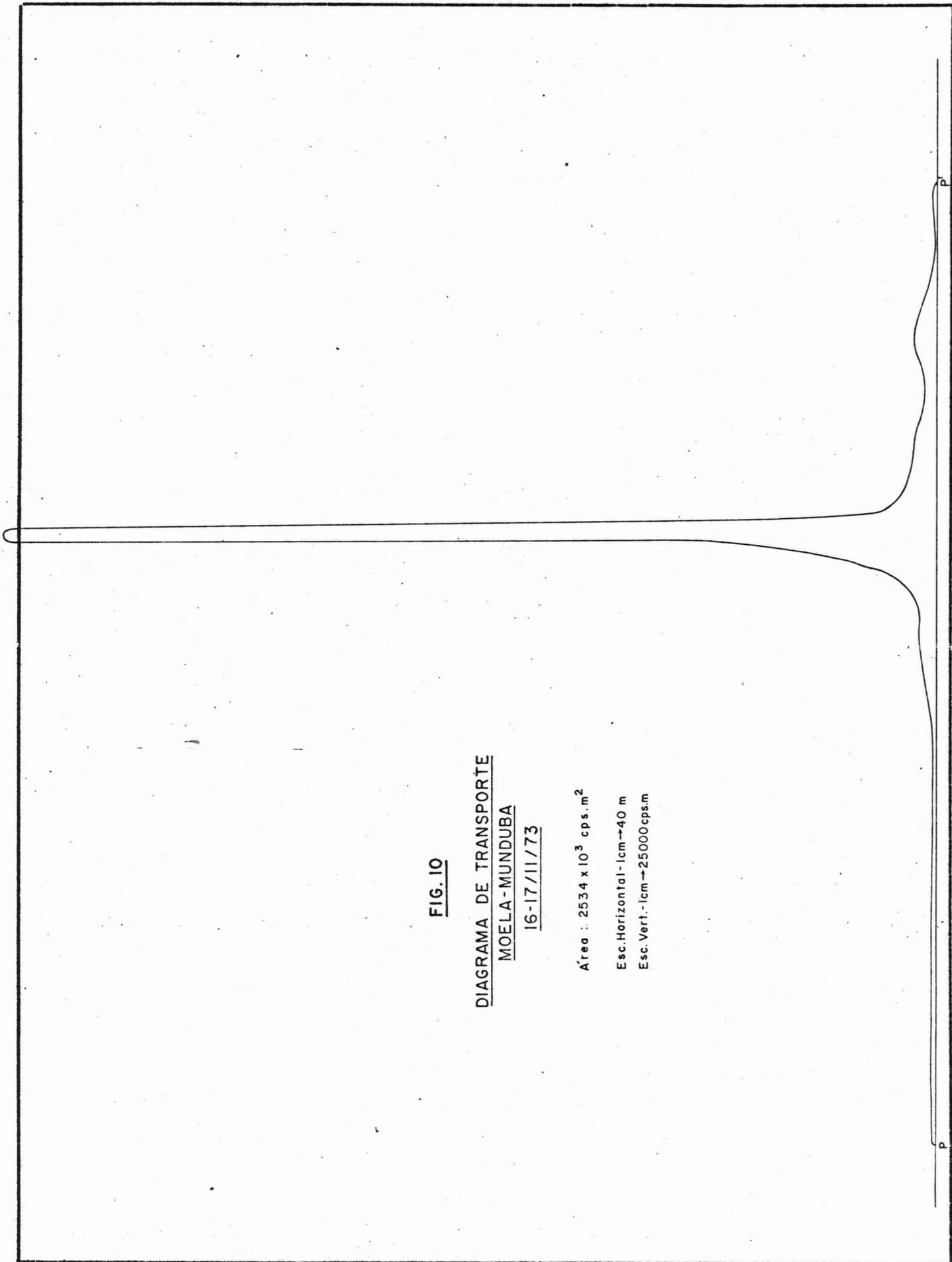
MOELA - MUNDUBA

16-17/11/73

Área :  $2534 \times 10^3$  cps.m<sup>2</sup>

Esc. Horizontal - 1cm → 40 m

Esc. Vert. - 1cm → 25000 cps.m



**FIG. II**  
**DIAGRAMA DE TRANSPORTE**  
**MOELA-MUNDUBA**  
**20-22/11/73**

Área :  $2732 \times 10^3$  cps.m<sup>2</sup>

Esc.Horizontal-1cm→40 m

Esc.Vert.-1cm→25000cps.m

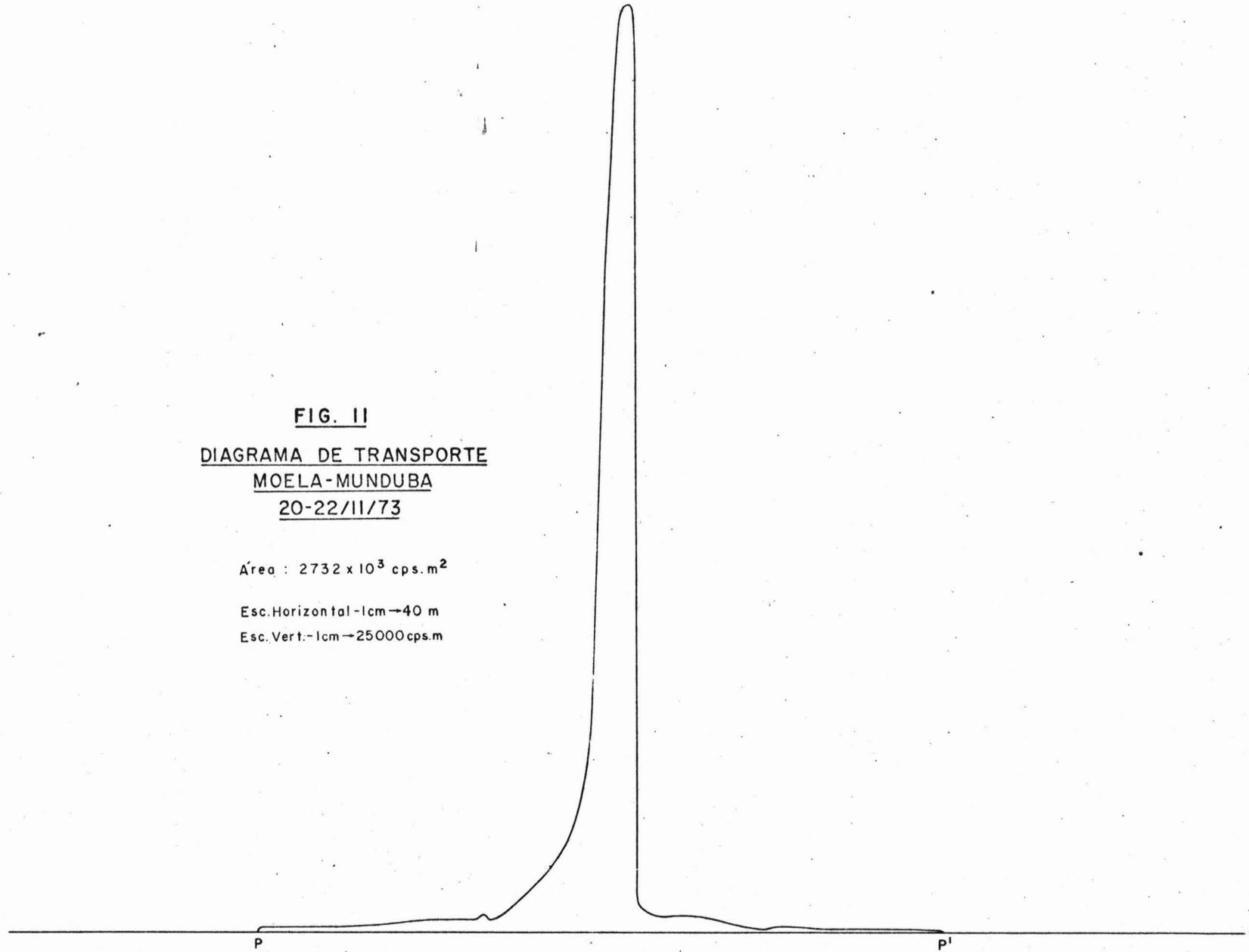


FIG. 12

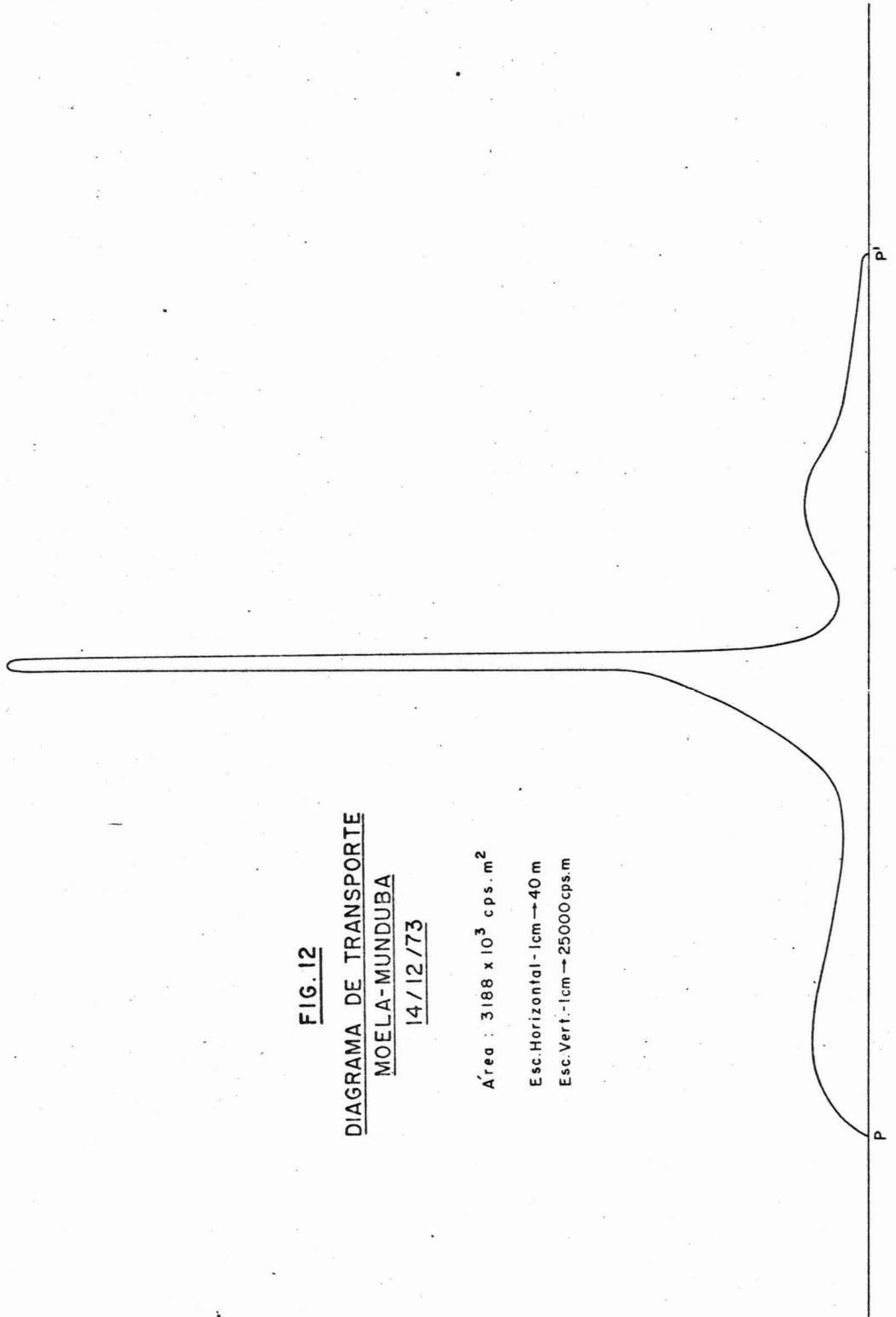
DIAGRAMA DE TRANSPORTE  
MOELA-MUNDUBA

14/12/73

Área :  $3188 \times 10^3 \text{ cps} \cdot \text{m}^2$

Esc. Horizontal -  $1\text{cm} \rightarrow 40 \text{ m}$

Esc. Vert. -  $1\text{cm} \rightarrow 25000 \text{ cps} \cdot \text{m}$

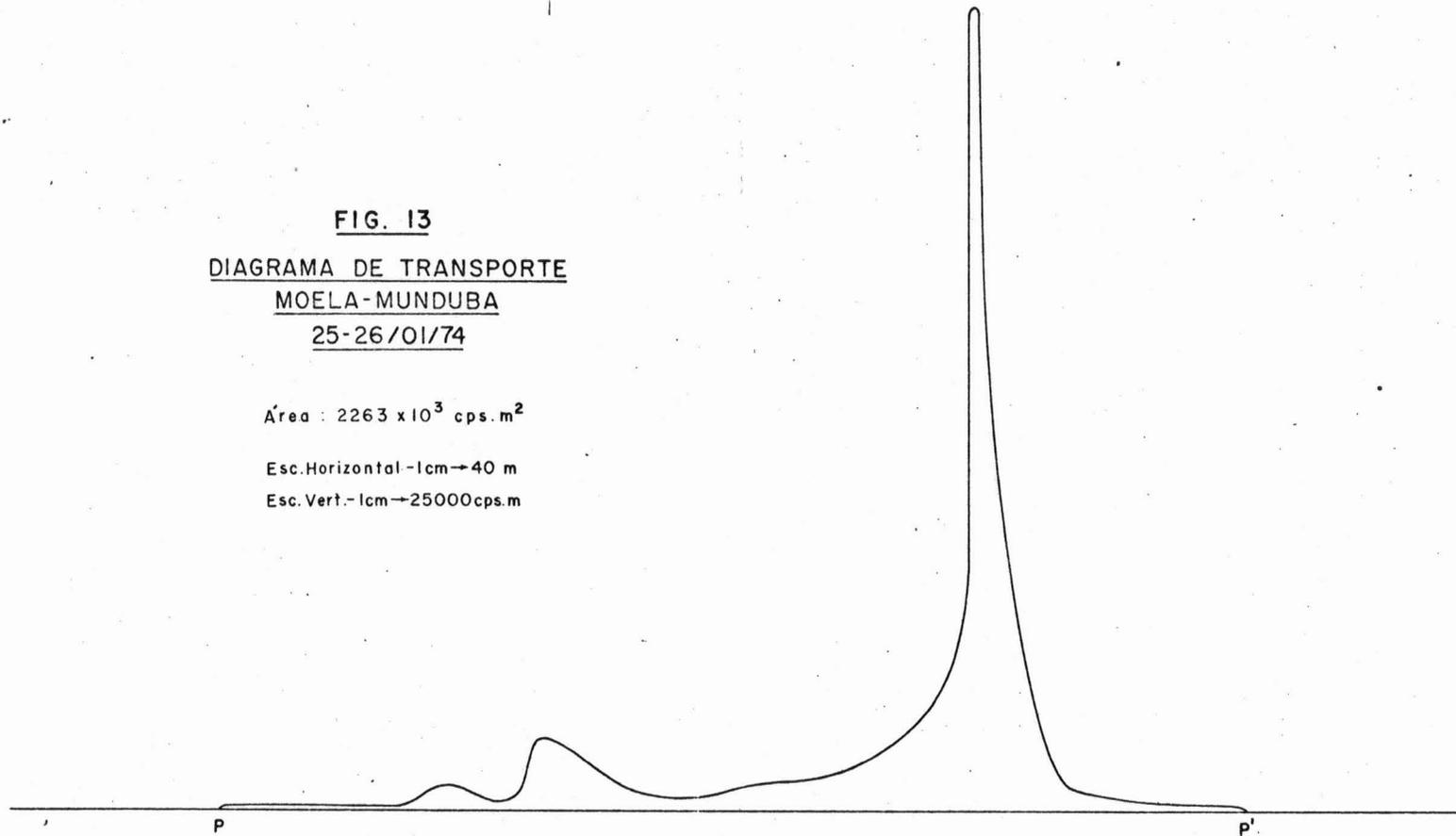


**FIG. 13**  
DIAGRAMA DE TRANSPORTE  
MOELA-MUNDUBA  
25-26/01/74

Área :  $2263 \times 10^3$  cps.m<sup>2</sup>

Esc.Horizontal - 1cm → 40 m

Esc.Vert. - 1cm → 25000cps.m



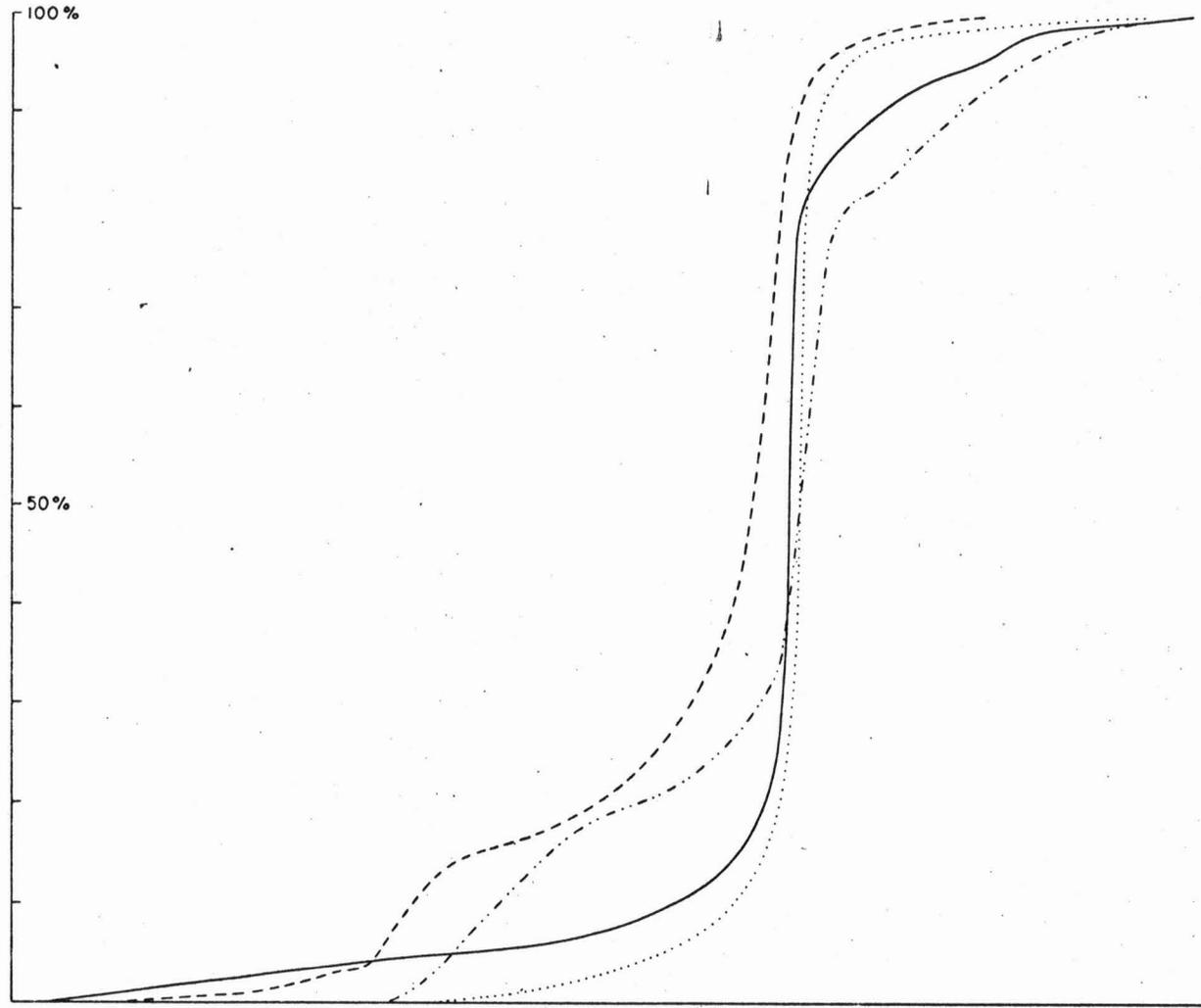
100%

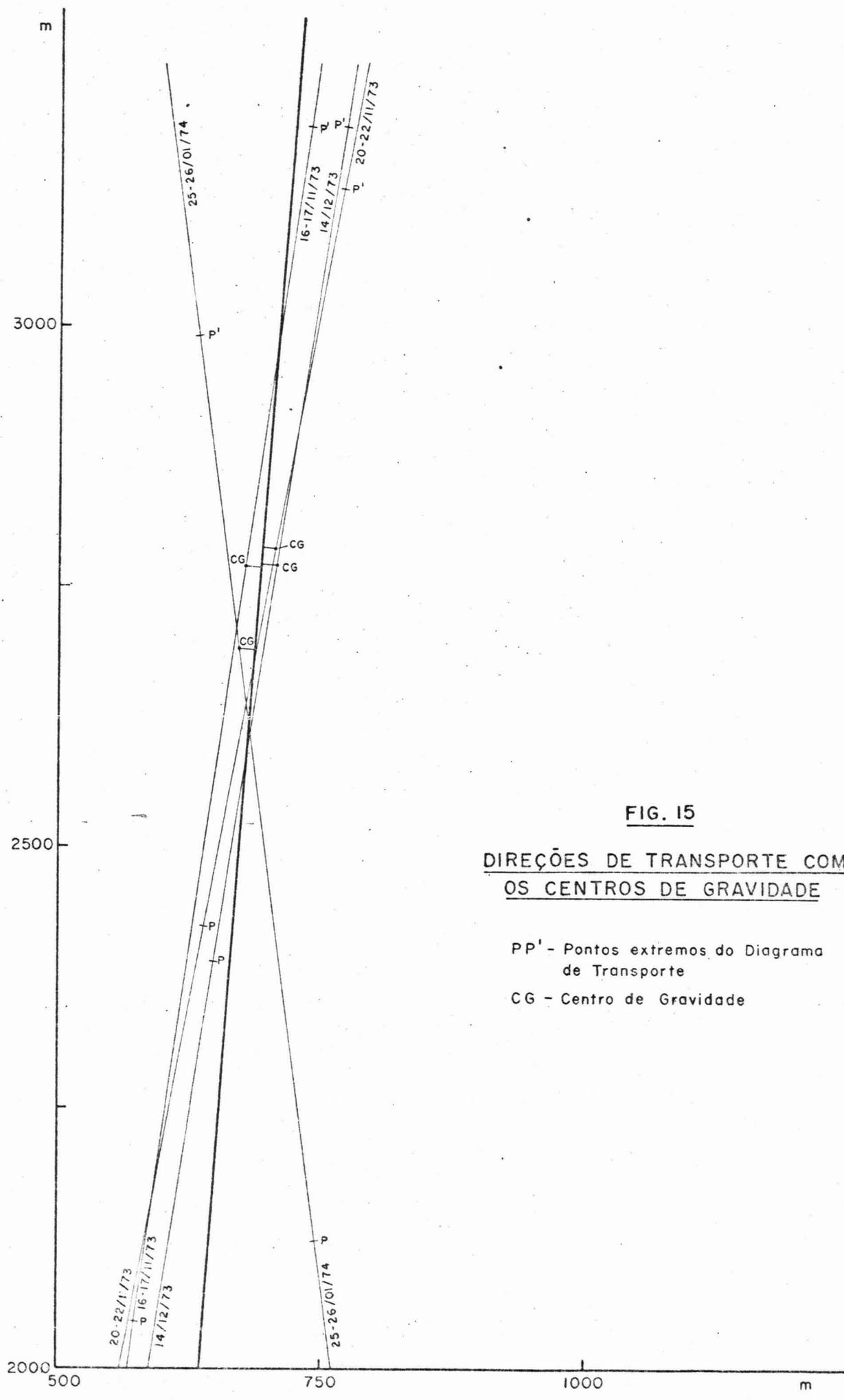
50%

**FIG. 14**  
DIAGRAMAS DE TRANSPORTE  
INTEGRADOS

- 16-17/11/73
- ..... 20-22/11/73
- - - 14/12/73
- - - 25-26/01/74

ESCALA HORIZONTAL - 1:5000





**FIG. 15**

DIREÇÕES DE TRANSPORTE COM OS CENTROS DE GRAVIDADE

PP' - Pontos extremos do Diagrama de Transporte

CG - Centro de Gravidade

LABORATÓRIO DE RADIOISÓTOPOS  
INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

SEGUNDA PARTE

MEDIDA DO MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO AO LARGO  
DA PONTA DE ITAIPÚ (INJEÇÕES DE DEZEMBRO  
DE 1973 E JANEIRO DE 1974).

Mai 1974.

## RESUMO

A segunda parte do relatório sobre o trabalho realizado pelo LRI na região de Santos apresenta os resultados da medida da movimentação de material de fundo em uma área com cerca de 10 km<sup>2</sup>, centrada no ponto de coordenadas 24°4'S e 46°24'W, em frente à Ponta de Itaipú.

Foram realizadas duas injeções de material radioativo (Au-198), nos dias 12 de dezembro/73 e 18 de janeiro/74. O material utilizado na injeção foi a própria vasa dragada da região do Porto, marcada com um traçador.

Descreve-se, sumariamente, o método de injeção adotado e o equipamento utilizado nas detecções.

A primeira campanha de detecções foi realizada nos dias 13, 15 e 18/19 de dezembro e a segunda em 18, 19, 21 e 22 de janeiro, transcorrendo normalmente. A análise dos dados experimentais foi executada pela aplicação do método do balanço de traçadores, descrito na primeira parte deste relatório.

Os resultados são apresentados sob a forma de diagramas de transporte e curvas de isodose.

Em ambas as campanhas de medida, determinou-se que o material injetado move-se para o norte, sendo o transporte por arraste estimado entre 10 e 30 toneladas por metro linear e por dia. Deste modo, a área se compara desfavoravelmente com a área situada em frente à Ponta da Munduba, na qual a movimentação de fundo foi muito pequena.

Este relatório faz parte do trabalho realizado, em colaboração com o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias do DNPVN, pelo Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas, na região de Snatos , S.P.

DETERMINAÇÃO DA VIABILIDADE DE NOVAS ÁREAS DE REJEITO  
DA DRAGAGEM, NA REGIÃO DE SANTOS, COM A UTILIZAÇÃO  
DE TRAÇADORES RADIOATIVOS.

1. INTRODUÇÃO.

1.1. ANTECEDENTES.

O Laboratório de Radioisótopos (LRI) do Instituto de Pesquisas Radioativas vem realizando uma série de estudos em portos brasileiros, em colaboração com o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) do Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis (DNPVN). Além desses órgãos, o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tem fornecido assessoria ao Laboratório de Radioisótopos. Participaram também do presente trabalho, a Companhia Docas de Santos e a Inspeção Fiscal do Porto de Santos, fornecendo equipamento e apoio.

Este relatório estuda o movimento de material de fundo em região ao largo da Ponta de Itaipú, no estuário de Santos. Uma área de cerca de 10 km<sup>2</sup>, centrada no ponto de coordenadas 24° 4' S e 46° 24' W foi proposta como alternativa para o despejo do material dragado da bacia do Porto. Estuda-se a sua segurança, em relação ao retorno de material à região dragada, por meio de traçadores radioativos depositados no fundo.

O método geral utilizado no trabalho, bem como os seus fundamentos teóricos, foram expostos detalhadamente na primeira parte deste relatório; são por isso, omitidos aqui.

## 1.2. INFORMAÇÕES GERAIS.

O Programa de Corredores de Exportação intensificou os trabalhos de ampliação do Porto de Santos, o que correspondeu a uma ampliação imediata dos esforços de dragagem na região. O material dragado na bacia do Porto e no canal de acesso é atualmente despejado nas proximidades da Ponta de Itaipú, entre o Morro do Itaipú e um ponto situado a cerca de 1 km ao largo da Ponta. O DNPVN, pretendendo estabelecer novas regiões de despejo, definiu duas novas áreas para despejo situadas em frente às Pontas da Munduba e do Itaipú, a cerca de 3 km ao largo.

O presente relatório descreve o estudo da movimentação de sedimento de fundo, na área do Itaipú. O esquema de trabalho adotado foi:

- i. Injeção de material de fundo, marcado com um traçador radioativo, em um ponto da área em estudo.
- ii. Acompanhamento da evolução do material marcado, por meio de detectores de radiação, arrastados por um barco. Cada cobertura completa da nuvem radioativa define uma detecção.
- iii. Análise das detecções pela aplicação do método do balanço de traçador.
- iv. Apresentação dos resultados, sob a forma de curvas de isocontagem e de diagramas de transporte.
- v. Cálculo da vazão sólida de fundo e definição da velocidade, direção e sentido de movimentação do material.

## 2. O TRABALHO DE CAMPO.

### 2.1. A INJEÇÃO DE TRAÇADOR.

Foram realizadas duas injeções de material radioativo na área de Itaipu, nos dias 12/12/73 e 18/01/74.

Foi utilizado como traçador, em ambos os casos, o ouro-198, emissor gama (411 keV) e meia-vida de 2,7 dias. A sua preparação foi realizada no Instituto de Pesquisas Radioativas, obtendo-se, em final de irradiação, cerca de 6 Ci por injeção.

O material marcado foi a própria vasa dragada, de modo que a representatividade da amostra fosse inteiramente assegurada. A injeção é realizada em várias etapas:

- i. Dissolução do radioisótopo
  - a. abertura da blindagem e do frasco de irradiação (tubo de polietileno soldado contendo pequenas lamínas de ouro metálico).
  - b. transporte do radioisótopo para o recipiente de dissolução (fig. 1); blindagem com chumbo.
  - c. adição de água-régia, para dissolução do ouro. O recipiente de injeção inclui uma resistência interna, para acelerar a dissolução.
  - d. neutralização da solução de ouro, com uma solução de hidróxido de sódio. O pH é ajustado para sete.

ii. Preparação da vasa

A amostra de vasa (cerca de dois quilos) é peneirada e introduzida em um frasco de vidro de boca larga, com cerca de sete litros de capacidade. Em geral, ela é misturada com cerca de 1 litro de água do mar, para facilitar o seu misturamento com o traçador. O frasco de vidro é colocado em uma blindagem de chumbo, na qual será executada a marcação. A tampa do frasco tem orifícios para a entrada de uma tubulação para CO<sub>2</sub> e para a introdução de um coletor de amostras e de um funil.

iii. Marcação

- a. O recipiente de dissolução é inclinado e o radioisótopo cai, através do funil, sobre a vasa.
- b. O recipiente de CO<sub>2</sub> é aberto; seu escoamento aciona um misturador giratório que, junto com o gás, homogeneiza a mistura.
- c. É coletada uma amostra da mistura, para calibração de atividade.

iv. Injeção

- a. O frasco de vidro é transportado para o injetor.
- b. Por meio de pinças especiais, o injetor é suspenso para fora da borda do barco e descido até o fundo.

- c. Ap<sup>o</sup>s esperar-se algum tempo para permitir a decanta<sup>o</sup>o do material, ẽ feita a explos<sup>o</sup>o de uma capsula de fulminato de merc<sup>u</sup>rio.
- d. Recolhe-se a tampa do frasco partido e o injetor.
- e. O barco, que se encontrava ancorado, levanta ferro e se move, ã deriva, para longe do ponto de inje<sup>o</sup>o.

Antes da inje<sup>o</sup>o, foi realizado um levantamento do ruído de fundo da regi<sup>o</sup>o, ou seja, foi levantada a radioatividade natural do fundo.

A inje<sup>o</sup>o de Dezembro foi realizada no dia 12, ãs 15 horas. O mar estava agitado, com ondas entre 1,5 m e 2 m, com a dire<sup>o</sup>o sul. O vento tinha a mesma dire<sup>o</sup>o. Apesar das condi<sup>o</sup>es pouco favor<sup>ã</sup>veis, a opera<sup>o</sup>o decorreu sem problemas.

A inje<sup>o</sup>o de Janeiro foi executada no dia 18, ãs onze horas e vinte minutos, com mar calmo. A onda era sudeste, com um per<sup>í</sup>odo de 5 a 6 segundos. O vento era sudoeste. Tamb<sup>ẽ</sup>m neste caso, a opera<sup>o</sup>o decorreu sem problemas. Imediatamente ap<sup>o</sup>s a inje<sup>o</sup>o, foi realizada uma detec<sup>o</sup>o, verificando-se que o material j<sup>ã</sup> sofrera um espalhamento apreci<sup>ã</sup>vel, o que ẽ caracter<sup>í</sup>stico da inje<sup>o</sup>o de material muito fino, facilmente arrastado em suspens<sup>o</sup>o.

Uma tentativa de inje<sup>o</sup>o, realizada na v<sup>ẽ</sup>spera, foi suspensa por falta de visibilidade, impedindo que os teodolitos da rede de triangula<sup>o</sup>o pudessem localizar o barco.

## 2.2. AS DETECÇÕES.

Uma detecção consiste em cobrir toda a nuvem radioativa, por meio de trajetórias paralelas, mais próximas entre si nas regiões de atividade concentrada. O material radioativo foi detectado por meio de um detector de cintilação preso a um trenô, rebocado sobre o fundo pelo barco. O trenô foi preso ao guincho do barco por um cabo de aço de 5/8", utilizado no arraste de redes de pesca. Os barcos utilizados, com 14m de comprimento e cerca de 3m de boca, foram o "Gaucha I" e o "Gaucha V", projetados para a pesca de camarão.

O equipamento utilizado foi o habitual:

- Detectores de cintilação SRAT, tipo SPP3
- Contadores de impulsos Hewlett Packard 5201 L
- Registradores gráficos Moseley, 2 canais, 7100 BM
- Impressora em fita de papel Hewlett Packard, 562 A

O conjunto era alimentado por geradores a gasolina Honda, 1500W, acoplados a um quadro de controle.

A comunicação entre o barco e a rede de triangulação era feita por transmissores portáteis Tokay ou Evadin. A posição do barco era determinada em intervalos de 30 segundos, sendo lançada em uma carta da região, na cabine do barco. Deste modo, a orientação ao piloto sobre desvios de rota era executada rapidamente.

Foram realizadas as seguintes detecções:

a. Dezembro de 1973.

- i. Dia 13
- ii. Dia 15
- iii. Dias 18 e 19

b. Janeiro de 1974.

- i. Dia 18
- ii. Dia 19
- iii. Dia 21
- iv. Dia 22

As detecções decorreram, de um modo geral, sem problemas, obtendo-se linhas de detecção relativamente paralelas. Dependendo da direção de navegação, entretanto, havia uma região na qual era praticamente impossível realizar trajetórias retilíneas, mesmo corrigindo-se constantemente a rota do barco. Este fato causou alguns problemas na análise. As detecções foram longas, devido ao espalhamento do material por uma região extensa. Outro problema foi a localização das bases de teodolito. Uma delas, situada na 2<sup>a</sup> Bateria de Canhões do Forte de Itaipú, era bem localizada, dando bons ângulos de visada. A outra, localizada na 1<sup>a</sup> Bateria, via a região de trabalho

sob um ângulo muito pequeno, o que ocasionou imprecisões na navegação. Não foi possível obter-se uma solução melhor para o problema, devido às características da região.

As condições de mar e de visibilidade foram boas e o equipamento eletrônico funcionou eficientemente.

### 3. ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS.

#### 3.1. CORREÇÕES PRELIMINARES.

Os dados brutos de medida sofreram as seguintes correções:

- i. Correção de ruído de fundo.
- ii. Correção de decaimento, para a meia-vida de 2,7 dias.
- iii. Correção das variações de velocidade do barco.
- iv. Correção das diferenças de inclinação das linhas de detecção.

Estas correções são descritas, em detalhe, na primeira parte deste relatório. Elas foram realizadas em uma calculadora programável Hewlett Packard 9100B. Durante este trabalho, foram desenvolvidos pelo Laboratório de Radionuclídeos novos programas de cálculo, para uso em uma calculadora Hewlett Packard 9820A.

#### 3.2. AS CURVAS DE ISO-CONTAGEM.

Os resultados experimentais podem ser apresentados sob a forma de curvas de iso-contagem, que são obtidas:

- i. Localizando-se cada ponto de contagem na área em estudo;
- ii. Atribuindo-se a ele a taxa de contagem ne le medida;
- iii. Unindo-se todos os pontos de mesma conta gem por uma linha contínua.

Estas curvas permitem a visualização do espalha mento do material na área de detecção.

### 3.3. DIAGRAMA DE TRANSPORTE.

Escolhe-se inicialmente uma direção que seja per pendicular ao maior número possível de linhas de detecção.

O diagrama de transporte é obtido fazendo-se cor responder a contagem total corrigida de cada linha à po sição dada pela intersecção da linha com a direção defini da inicialmente.

A área deste diagrama (em  $c/s \times m^2$ ) fornece o va lor N da contagem total detectada, que é utilizado para estimar a espessura de transporte E. O método utilizado é explicado em detalhe no Anexo 1 da primeira parte deste relatório.

## 3.4. CÁLCULO DA VAZÃO SÓLIDA.

As posições sucessivas da projeção do centro de gravidade do diagrama de transporte sobre a direção definida no parágrafo anterior são utilizadas para o cálculo da velocidade média de movimentação da nuvem radioativa.

O cálculo da vazão sólida de fundo é feito por:

$$Q = \rho \times \frac{E_1 + E_2}{2} L ,$$

onde

$\rho$  é a densidade aparente do material do fundo.

$X$  é a distancia entre as posições do centro de gravidade nos dias entre os quais se está calculando a vazão.

$E_1$  e  $E_2$  são as espessuras médias de transporte correspondentes aos dias entre os quais se quer calcular a vazão.

$L$  é a distancia sobre o fundo através da qual se processa a movimentação do material; foi tomada como  $L = 1m$ .

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS.

As duas campanhas de medidas serão analisadas separadamente.

##### 4.1. A CAMPANHA DE DEZEMBRO DE 1973.

A injeção de traçador foi realizada, sob condições de mar agitado, às 15 horas do dia 12 de dezembro. Neste momento, estava-se em meia maré enchente, com uma amplitude de 0,5m, num caso de maré com desigualdade diurna. A profundidade de injeção foi cerca de 17 metros. A onda era S, com amplitude entre 1,5m e 2m e o vento tinha a mesma direção.

As condições reinantes no instante da injeção são particularmente importantes em trabalhos com vasa, devido à facilidade com que a fração fina do material é arastada em suspensão.

As figuras 2, 3 e 4 apresentam as curvas de isodose correspondentes, respectivamente, às detecções de 13, 15 e 18/19 de dezembro; nelas aparecem as contagens em cada ponto, integradas durante 6 segundos, que é o intervalo de tempo utilizado entre duas contagens do contador de impulsos.

Para melhor visualizar a evolução do material radioativo, as curvas de isodose são rerepresentadas nas figuras 5, 6 e 7, nas quais aparecem as bases de teodolito e a Ponta de Itaipú.

O conjunto destas seis figuras permite identificar claramente as direções preferencias de movimento do material marcado, bem como a área total de espalhamento. Entre a injeção e o dia 13 de dezembro, o material movimentou-se na direção E, espalhando-se por uma faixa estreita e comprida (cerca de 2500m). A parte mais ativa da nuvem cobria cerca de 900m. O material distribuiu-se mais ou menos homogeneamente em relação ao ponto de injeção (44% a oeste e 56% a leste). Cerca de 60% da atividade estava num raio de 150m do ponto de injeção.

Para a determinação destes valores, é útil a observação das áreas presentes nos diagramas de transporte, que são apresentados nas figuras 8, 9 e 10. É importante observar que os diagramas de transporte distorcem a verdadeira grandeza da nuvem radioativa, já que não foram construídos segundo a direção real de movimento. A direção utilizada para sua construção é a da perpendicular ao maior número possível de linhas de navegação. Ela é, portanto, determinada principalmente pela direção das ondas reinantes no dia da detecção.

Entre os dias 13 e 15 de dezembro, houve uma redistribuição do material radioativo, que se apresentava concentrado em duas regiões, os picos no diagrama do dia 13. O material próximo ao ponto de injeção diminuiu de 60% para 40%. À direção inicial do movimento, aparecem superpostas duas novas direções de movimentação: NW e NE. O material afastou-se do ponto de injeção cerca de 1700m na direção NE e 1600m na direção NW. O comprimento da região mais ativa continua da ordem de 900m.

Entre os dias 15 e 19 de dezembro, a componente NW manteve-se estável, crescendo a da direção NE. Cerca de 30% do material permanecia próximo ao ponto de injeção. Cerca de 45% dele movimentara-se para NE e 25% para NW. A parte mais ativa da nuvem tinha cerca de 1500 metros de comprimento. A distancia do ponto de injeção ao extremo da nuvem era de 3000m no sentido NE e de 2500m na direção NW.

O movimento geral, dado pela direção de movimentação dos centros de gravidade das sucessivas distribuições de atividade, faz-se na direção N.

Para a análise quantitativa, são utilizados os diagramas de transporte, cujas áreas representam o balanço do material radioativo detectado. Os valores  $\underline{N}$  destas áreas, dados em c/s x m<sup>2</sup>, permitem o cálculo das espessuras médias de transporte  $\underline{E}$ , através da expressão:

$$\frac{1 - e^{-\alpha E}}{E} = \frac{\alpha N}{\beta f_0 A} \quad (4.1)$$

Nela, já foram definidos os valores de  $\underline{N}$  e  $\underline{E}$ .

$\underline{A}$  é a atividade total injetada;  $\underline{d}$  e  $\underline{f_0}$  são coeficientes, determinados experimentalmente e que definem a resposta da sonda a uma distribuição uniforme de atividade.  $\underline{\beta}$  é função da distribuição em profundidade do material em movimento.

A atividade A foi obtida diretamente dos da dos fornecidos pela Equipe de Reatores do IPR. A irradiação foi executada no dia 11 de dezembro, entre 12 horas e 32 minutos e 15 horas e 47 minutos, a uma potencia de 100 kw, o que corresponde a um fluxo de  $4,4 \times 10^{12}$  nvt. A massa de ouro irradiada (6g) apresentaria no final de irradiação, uma atividade de 7,12 Ci. O material foi enviado a São Paulo por via aérea e transportado até Santos por via terrestre. No dia da primeira detecção, que é tomada como origem do tempo, a atividade deveria ter o valor de 4,25 Ci.

Entretanto, é possível uma perda de material no instante da injeção, devido à grande fração fina presente. Estimando-se esta perda em 25%, como no caso da Ponta da Munduba, chega-se a uma atividade de 3,25 Ci.

Entretanto, durante a injeção, foram coletadas amostras do material injetado, posteriormente calibrada em equipamento especial. A atividade calculada por medida direta foi de 1,25 Ci. O cálculo é apresentado segundo alternativas de 3,25 Ci e 1,25 Ci e discutido posteriormente.

Supõe-se o traçador uniformemente distribuido em profundidade, o que corresponde a um coeficiente  $\beta = 1$ .

Os coeficientes de sonda,  $\alpha$  e  $f_0$  tem os valores:

$$f_0 = 45 \text{ c/s}/\mu\text{Ci}/\text{m}^2$$

$$\alpha = 0,07 \text{ cm}^{-1}$$

A utilização destes valores na expressão (4.1) permite o cálculo, por iterações sucessivas, da es pes sura m é d i a de t r a n s p o r t e E. A figura 11 apresenta as melhores retas perpendiculares à direção de navegação que passam na região mais ativa de cada nuvem. Sobre elas, es t ã o r e p r e s e n t a d a s p o s i ç õ e s u c e s s i v a s d o s c e n t r o s d e g r a v i d a d a n u v e m r a d i o a t i v a, cuja distancia X é medida diretamente.

O cálculo da vazão sólida é feito pela ex pr ess ã o:

$$Q = \rho \cdot X \cdot \frac{E_1 + E_2}{2} L, \text{ onde}$$

- $\rho$  é a densidade aparente do material de fundo;
- $X$  é a distancia entre posições sucessivas dos centros de gravidade;
- $E_1$  e  $E_2$  são as espessuras médias de transporte, corres pond en t e s o s d i a s q u a i s se q u e r e cal cul ar a vaz ã o;
- $L$  é a distancia sobre o fundo através da qual se processa a movimentação do material; no caso, foi tomada como  $L = 1m$ .

O cálculo da vazão aparece nas tabelas 1 e 2, calculadas, respectivamente, para atividades injetadas de 1,25 Ci e 3,2 Ci. A coluna  $Q_1$  apresenta a vazão total, em toneladas por metro, entre os dias considerados e a coluna Q mostra os resultados em toneladas por metro linear por dia.

TABELA 1

A = 1,25 Ci

| Dia      | $N(c/s \times m^2)$ | E(m) | X(m) | $Q_1(t/m)$ | Nº de dias | Q(t/m.dia) |
|----------|---------------------|------|------|------------|------------|------------|
| 13/12    | $3,6 \times 10^7$   | 0,13 |      |            |            |            |
|          |                     |      | 105  | 20,3       | 2          | 10,1       |
| 15/12    | $4,1 \times 10^7$   | 0,10 |      |            |            |            |
|          |                     |      | 320  | 29,1       | 4          | 7,3        |
| 18.19/12 | $5,4 \times 10^7$   | 0,01 |      |            |            |            |

TABELA 2

$$A = 3,25 \text{ Ci}$$

| Dia      | N(c/s x m <sup>2</sup> ) | E(m) | X(m) | Q <sub>1</sub> (t/m) | Nº Dias | Q(t/m.dia) |
|----------|--------------------------|------|------|----------------------|---------|------------|
| 13/12    | 3,6 x 10 <sup>7</sup>    | 0,55 |      |                      |         |            |
|          |                          |      | 105  | 91                   | 2       | 45         |
| 15/12    | 4,1 x 10 <sup>7</sup>    | 0,50 |      |                      |         |            |
|          |                          |      | 320  | 229                  | 4       | 57         |
| 18.19/12 | 5,4 x 10 <sup>7</sup>    | 0,37 |      |                      |         |            |

Finalmente, para completar as informações obtidas, a figura 12 apresenta os diagramas de transporte integrados. Sendo  $x$  o eixo das distancias e  $f(x)$  a expressão matemática da curva que representa o diagrama de transporte, cada ponto da figura 12 é dado por:

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx$$

A função  $F(x)$  é normalizada, de modo que o eixo das ordenadas mostra porcentagens de material. A figura mostra que o material injetado apresenta um movimento não desprezível, como é também aparente nas tabelas 1 e 2.

#### 4.2. A CAMPANHA DE JANEIRO DE 1974.

A injeção de traçador, na campanha de janeiro, foi realizada no dia 18, às onze horas da manhã. Esta va-se praticamente no período de estofa, em maré de quadratura, com amplitude muito pequena. O mar apresentava se calmo, com onda sudeste, de cerca de seis segundos de período. O vento era fraco e do quadrante SW. O equipa mento e o método de injeção foram os mesmos utilizados em dezembro. Entretanto, imediatamente, após a injeção de janeiro, foi realizada uma detecção completa, para avaliar a qualidade da injeção e o espalhamento inicial do materi al.

As figuras 13, 14, 15 e 16 apresentam as curvas de isodose correspondentes, respectivamente, às detecções de 18, 19, 21 e 22 de janeiro. Para melhor visualização do movimento do traçador, estas curvas são reapresentadas nas figuras 17, 18, 19 e 20, nas quais aparecem os eixos de coordenadas utilizados no trabalho e a localização das bases de teodolito na Ponta de Itaipú.

Um exame destas figuras mostra que, logo após a injeção, o material se movimentou na direção W. A nu vem radioativa tinha um comprimento de 1200m e uma largu ra de 100m. Esta detecção apresenta, normalmente, apenas um carater qualitativo, pois a maior parte do traçador a inda está localizada no ponto de injeção, o que impede a sua medida precisa (problemas de saturação do equipamento de contagem).

Na detecção seguinte, em 19 de janeiro, o material moveu-se para o NW. Em 21 de janeiro, uma parte importante da nuvem passou a mover-se para o norte. Neste dia, apenas cerca de 20% do material injetado situava-se num raio de 150m do ponto de injeção. Em 22 de janeiro, o movimento continuava na direção N, tendo o material se espalhado em uma região com 3200m de comprimento e cerca de 2000m de largura. O ponto mais ativo da detecção ainda se encontrava nas proximidades do ponto de injeção.

As curvas de isodose mostram que, após o material mover-se inicialmente para o W, o movimento geral se fez para o norte.

Em relação à análise quantitativa, os diagramas de transporte são apresentados nas figuras 21, 22, 23 e 24. A sua área, em cps x m<sup>2</sup>, fornece o valor  $\underline{N}$  do balanço de traçador, que é utilizado para o cálculo da espessura média de transporte  $\underline{E}$ .

Para o cálculo de  $\underline{E}$ , são utilizados os mesmos valores de  $\beta$ ,  $f_0$  e  $\alpha$  empregados anteriormente

$$\beta = 1$$

$$f_0 = 0,07 \text{ cm}^{-1}$$

$$\alpha = 45 \text{ c/s}/\mu\text{Ci}/\text{m}^2$$

A atividade  $\underline{A}$  foi calculada a partir de amostras coletadas no decorrer da injeção e calibradas posteriormente em laboratório. A atividade injetada foi:

$$\underline{A} = 1,4 \times 10^6 \mu\text{Ci}$$

A utilização destes valores na expressão 4.1. permite o cálculo da espessura média de transporte  $\bar{E}$ .

Os centros de gravidade da nuvem radioativa foram, para esta campanha, calculados pelos novos programas desenvolvidos no Laboratório de Radioisótopos, utilizando uma calculadora Hewlett Packard 9820 A, alimentada por fita perfurada. A distribuição dos centros de gravidade das nuvens radioativas é apresentada na figura 25.

O movimento do centro de gravidade fez-se inicialmente no sentido W, passando a dirigir-se para o norte, entre 19 e 22 de janeiro.

A aplicação da expressão para o cálculo do arraste sólido de fundo:

$$Q = \rho \times \frac{E_1 + E_2}{2} L$$

é apresentada na tabela 3.

TABELA 3

A = 1,40 Ci

| Dia   | N(c/s x m <sup>2</sup> ) | E(m)  | X(m) | Q <sub>1</sub> (t/m) | Nº dias | Q(t/m.dia) |
|-------|--------------------------|-------|------|----------------------|---------|------------|
| 18/01 | 1,9 x 10 <sup>7</sup>    | 0,44  |      |                      |         |            |
|       |                          |       | 466  | 213*                 | 1       | 213*       |
| 19/01 | 4,3 x 10 <sup>7</sup>    | 0,11  |      |                      |         |            |
|       |                          |       | 556  | 66,5                 | 2       | 33         |
| 21/01 | 5,6 x 10 <sup>7</sup>    | 0,03  |      |                      |         |            |
|       |                          |       | 353  | 10,2                 | 1       | 10         |
| 22/01 | 7,0 x 10 <sup>7</sup>    | 0,005 |      |                      |         |            |

A coluna  $Q_1$  apresenta a vazão total entre duas detecções, em toneladas por metro linear e a coluna  $Q$  mostra os resultados em toneladas por metro linear e por dia. O valor marcado, correspondente ao intervalo entre 18 e 19 de janeiro é apresentado para mostrar que a detecção inicial não determinou o balanço total do material injetado, como foi salientado anteriormente. Os valores a considerar são os referentes aos intervalos 19/21 e 21/22 de janeiro.

As informações obtidas são complementadas pela figura 26, que apresenta os diagramas de transporte integrais, de acordo com a definição da página 18.

## 5. CONCLUSÕES PRELIMINARES.

O presente relatório analisa os resultados de duas campanhas de medida, com traçadores radioativos, na Ponta de Itaipú, realizadas em dezembro de 1973 e janeiro de 1974.

Em ambos, o material utilizado no estudo foi a vasa natural da região do porto, obtida por dragagem, isto é, exatamente o material cujo comportamento se deseja, verificar.

Em dezembro, o sentido de movimento mais importante do traçador foi NE, havendo ainda uma componente importante na direção NW. O sentido de movimento geral, dado pela movimentação dos centros de gravidade da nuvem, é N. Os resultados de vazão apresentados na tabela 1 indicam um transporte por arraste da ordem de 10 toneladas por metro linear e por dia. Esses resultados estão baseados na injeção de 1,25 Ci de traçador, obtidos por calibração direta e, portanto, confiáveis. Os dados da tabela 2 são apresentados apenas como ilustração. O material se movimenta praticamente sem enterramento, como indica a coluna de espessura média de transporte.

Em janeiro, o sentido do movimento foi também o norte, tanto o indicado pela distribuição das curvas de isodose, como o dado pela movimentação dos centros de gravidade. O transporte sólido de fundo está entre 10 e 30 toneladas por metro linear e por dia, concordante com os resultados de dezembro.

Deve entretanto, ser afirmado que estes valores são indicativos de ordem de grandeza, já que várias aproximações são feitas durante o trabalho. Não se conhece, por exemplo, a distribuição exata do traçador em profundidade, o que obriga à hipótese de uma distribuição uniforme em profundidade. Além disso, a marcação direta do material dragado com um traçador, se bem que mais representativa do que a simulação com vidro moído, favorece as frações mais finas. O estudo apresenta, portanto, uma contribuição importante das frações mais finas do material de fundo à massa transportada. Apesar destes problemas, ficou claramente demonstrado que o material injetado no fundo, na área de despejo situada em frente à Ponta de Itaipú, move-se para o quadrante N, a uma taxa entre 10 e 30 toneladas por metro e por dia.

Sobre o aspecto de movimentação de material de fundo, a área da Ponta de Itaipú apresenta, portanto, condições desfavoráveis em comparação com a área da Ponta da Munduba, na qual não houve movimento apreciável.

**FIG. 1 - EQUIPAMENTO DE INJEÇÃO**

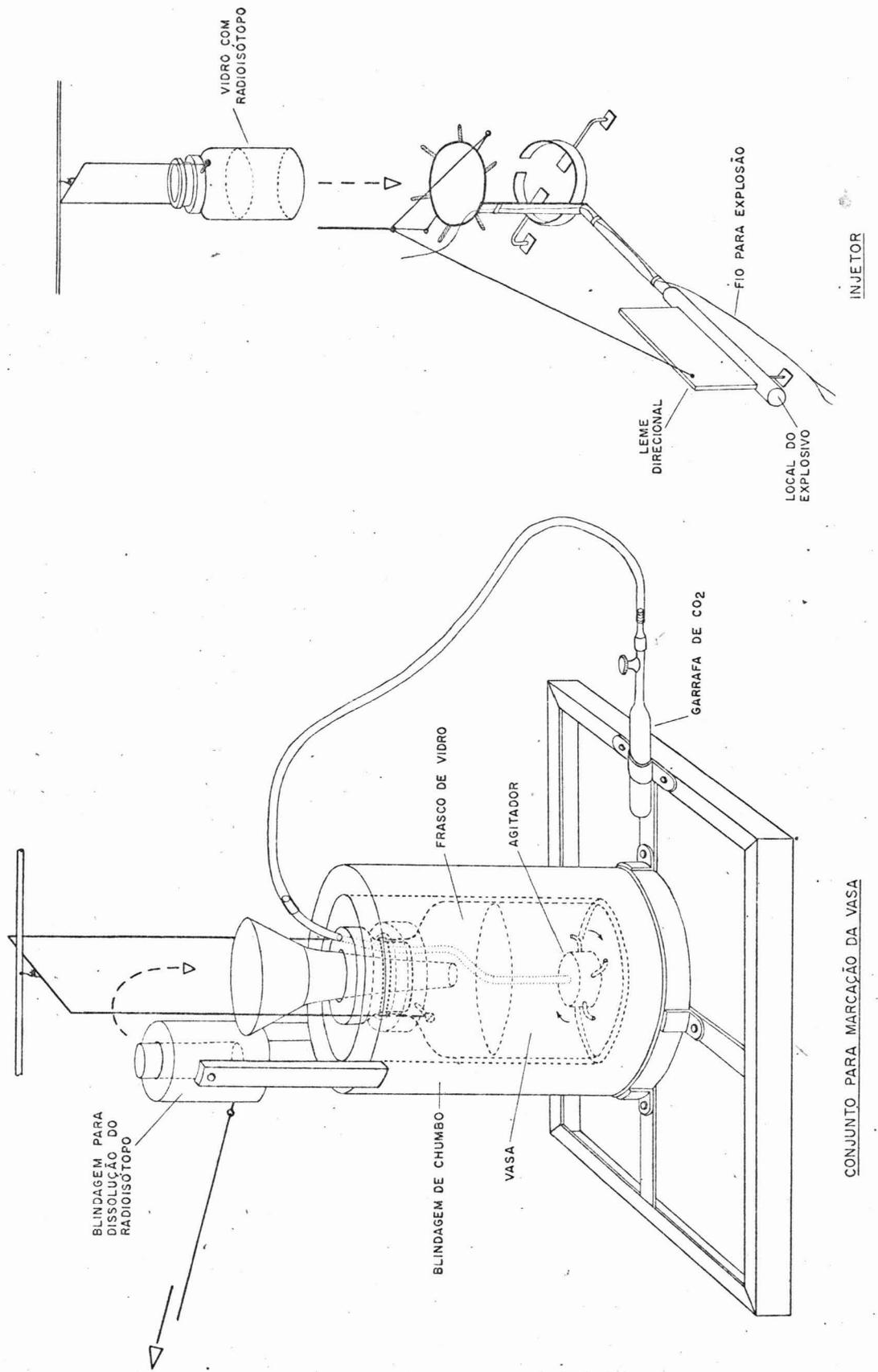
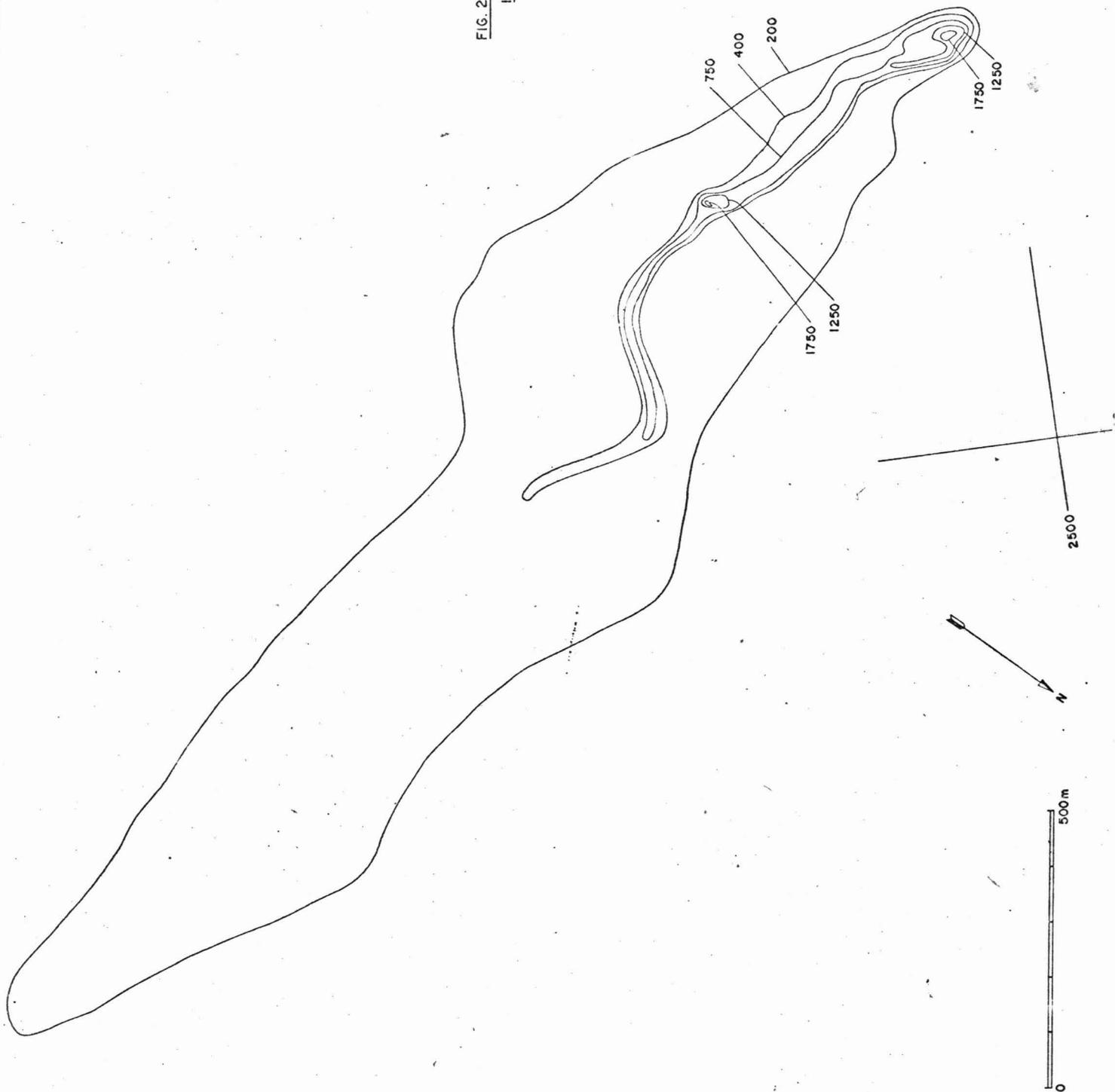
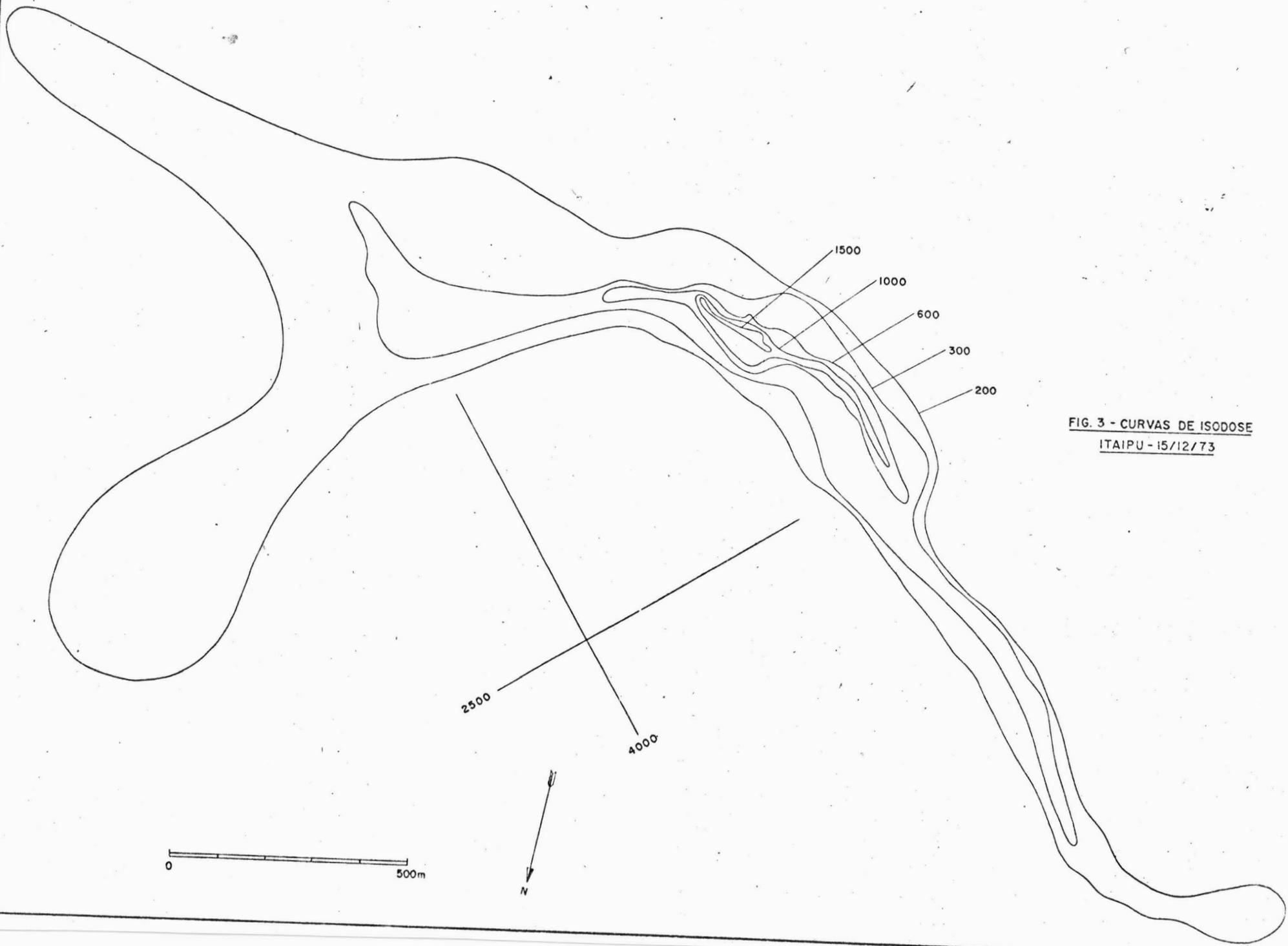


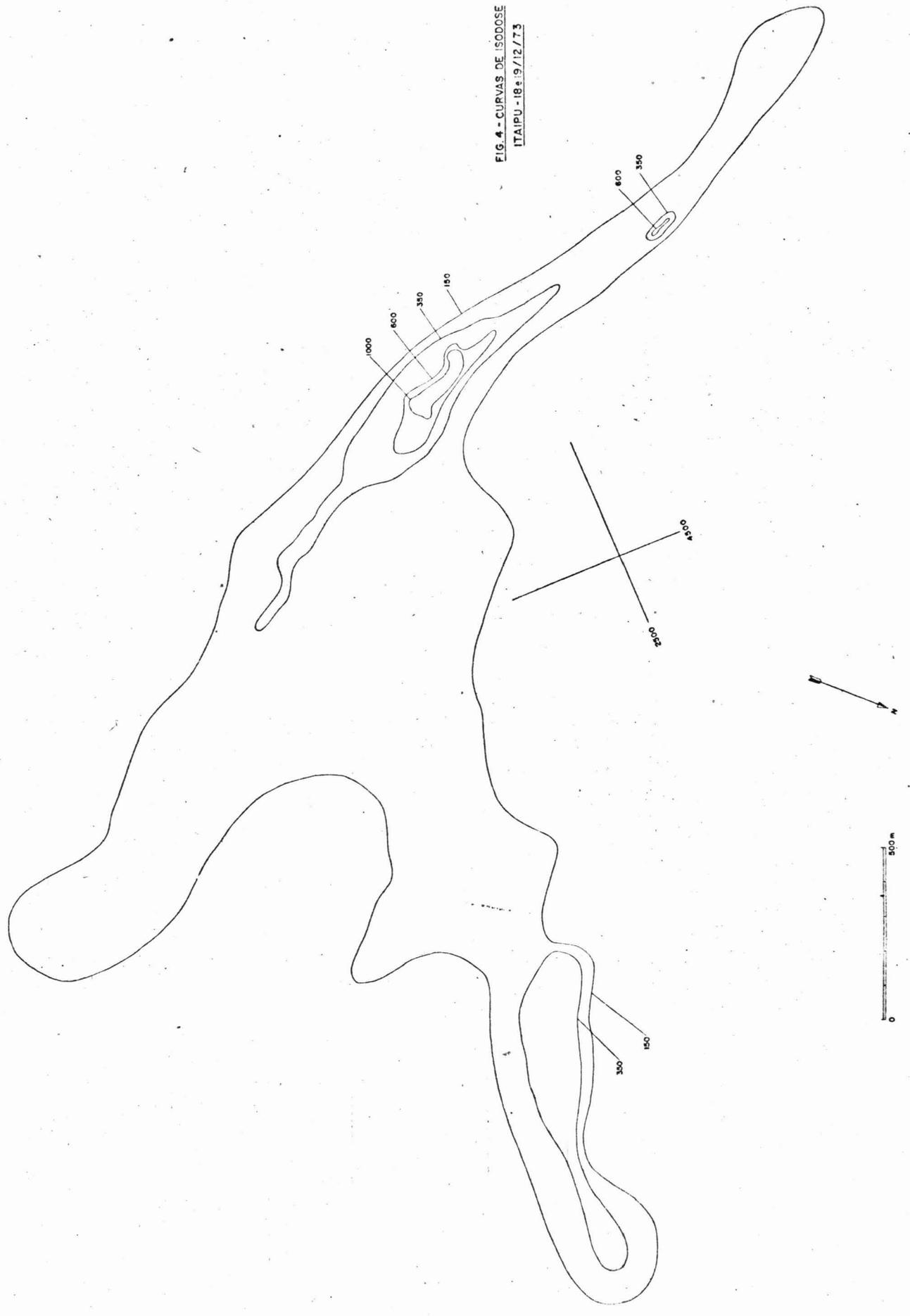
FIG. 2 - CURVAS DE ISODOSE  
ITAIPU - 13/12/73

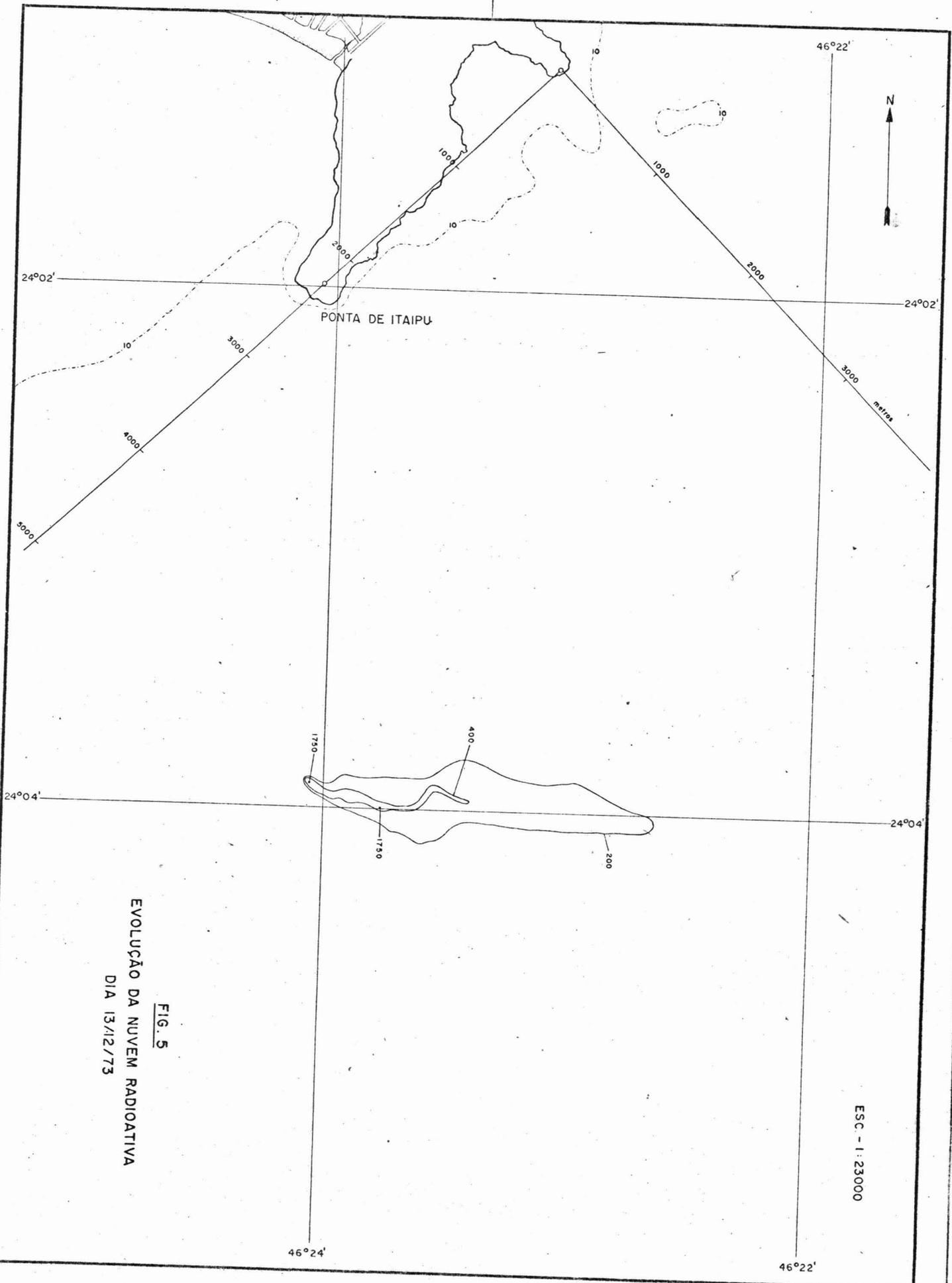




**FIG. 3 - CURVAS DE ISODOSE**  
**ITAIPU - 15/12/73**

FIG. 4 - CURVAS DE ISODOSE  
ITAIPU - 18.9/12/73



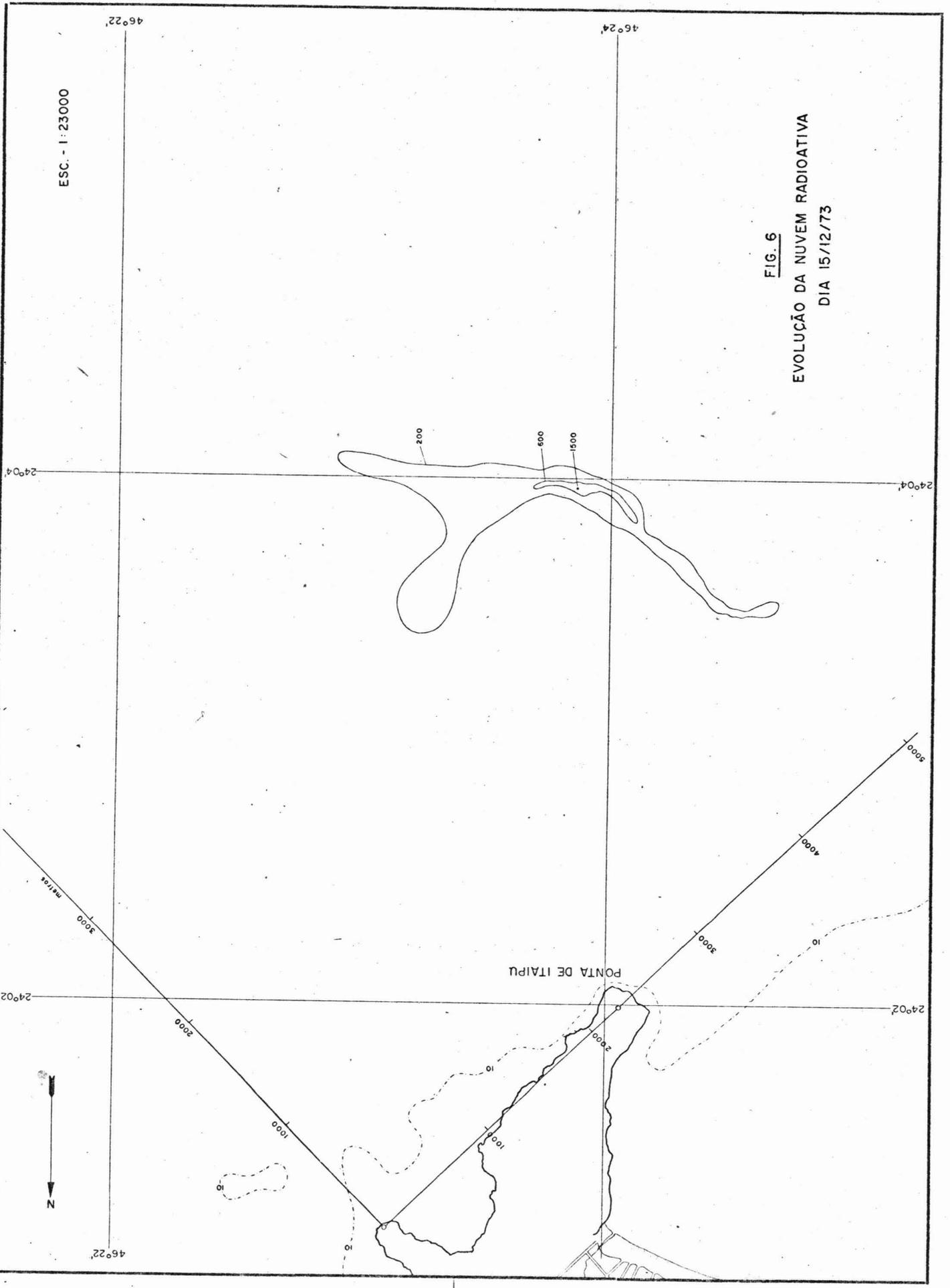


**FIG. 5**  
**EVOLUÇÃO DA NUVEM RADIOATIVA**  
**DIA 13/12/73**

ESC - 1 : 23000

ESC. - 1:23000

FIG. 6  
EVOLUÇÃO DA NUVEM RADIOATIVA  
DIA 15/12/73



ESC. - 1:23000

FIG. 7  
EVOLUÇÃO DA NUVEM RADIOATIVA  
DIAS 18 e 19/12/73

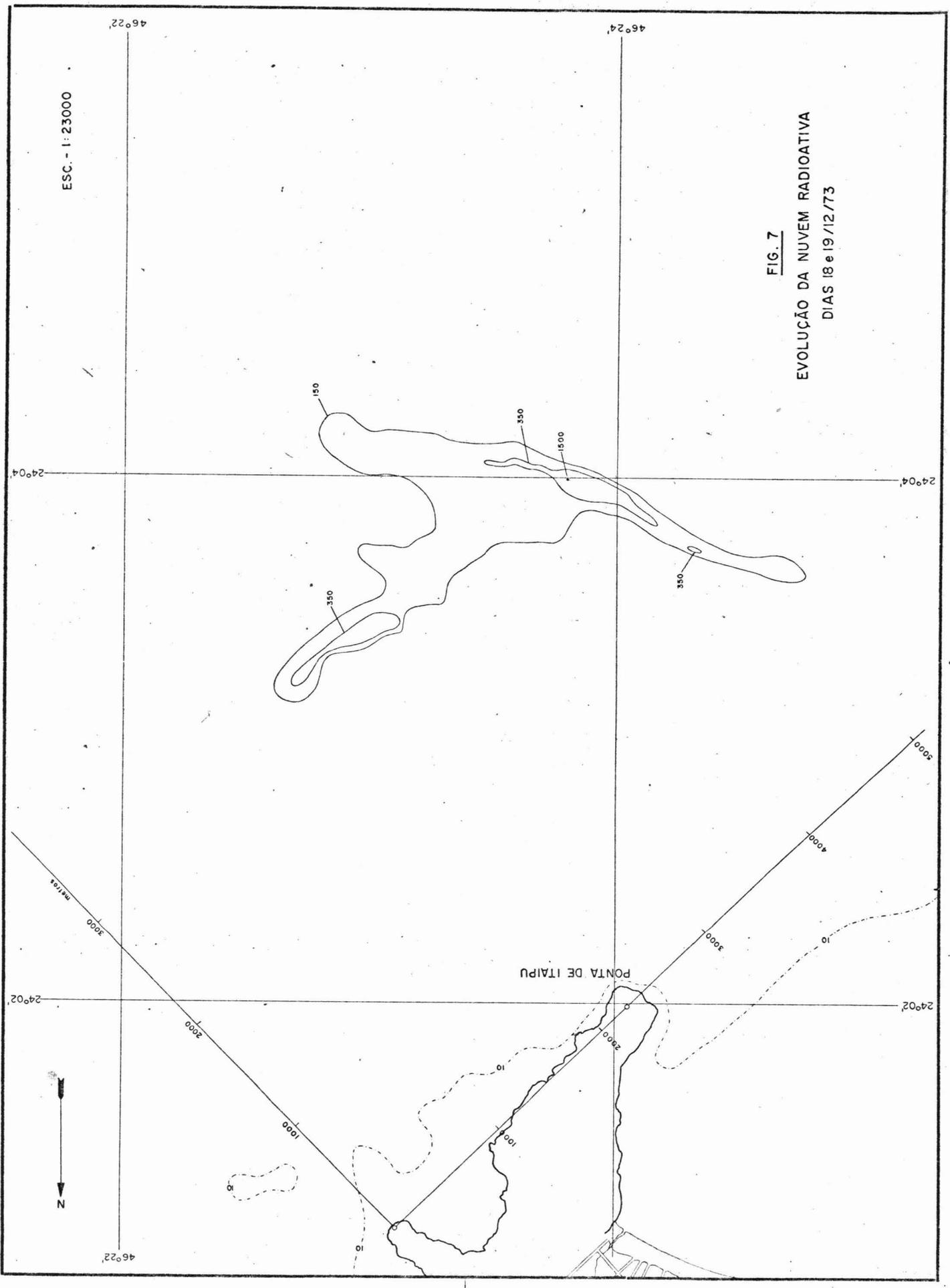


FIG. 8

DIAGRAMA DE TRANSPORTE  
ITAIPU - 13/12/73

Área:  $3.6 \times 10^7$  cps.m<sup>2</sup>  
H - 1 cm = 100 m  
V - 1 cm = 2500 cps.m

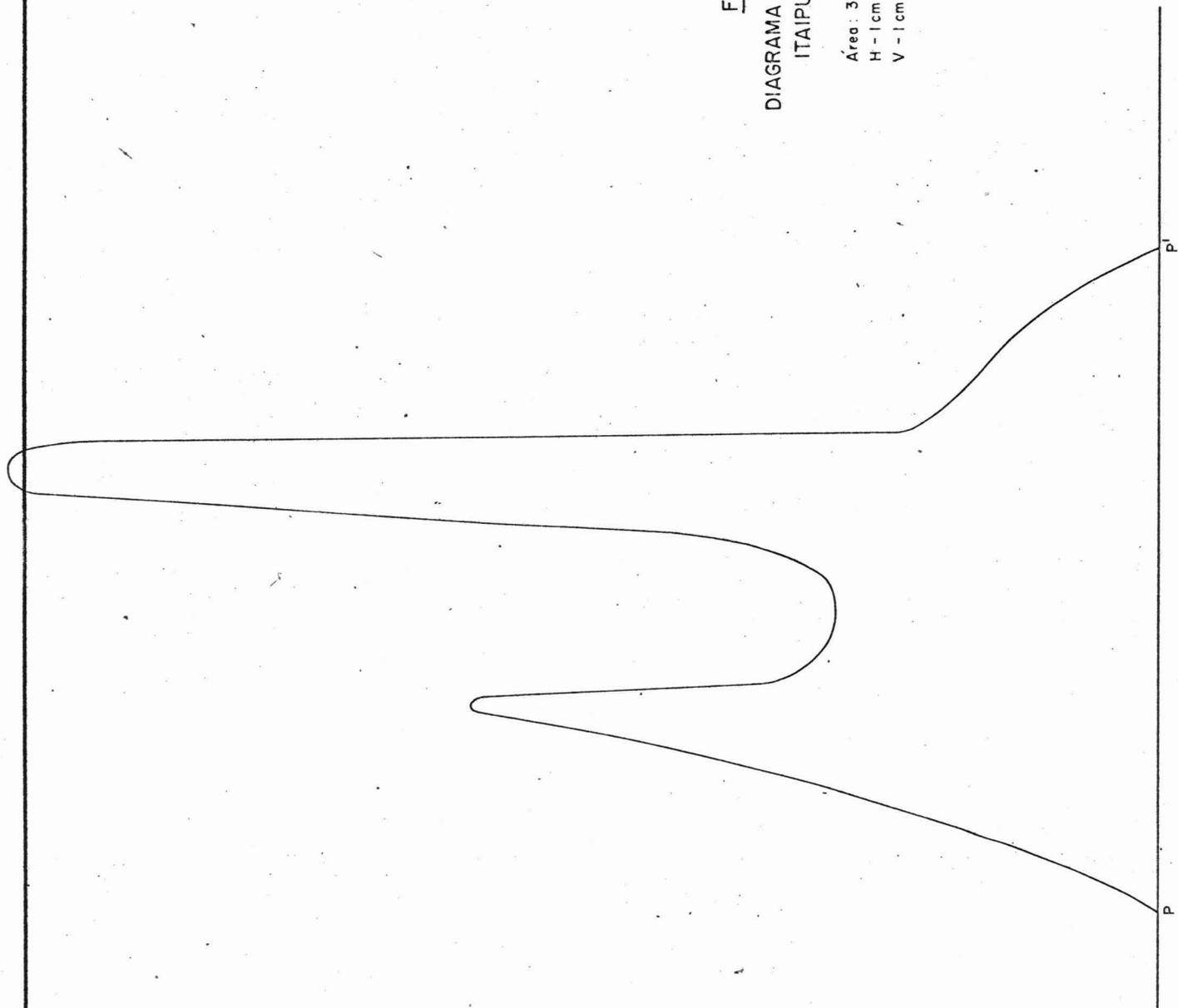


FIG. 9

DIAGRAMA DE TRANSPORTE  
ITAIPU - 15/12/73

Área :  $4,05 \times 10^7$  cps. m<sup>2</sup>  
H = 1cm = 100 m  
V = 1cm = 2500 cps. m

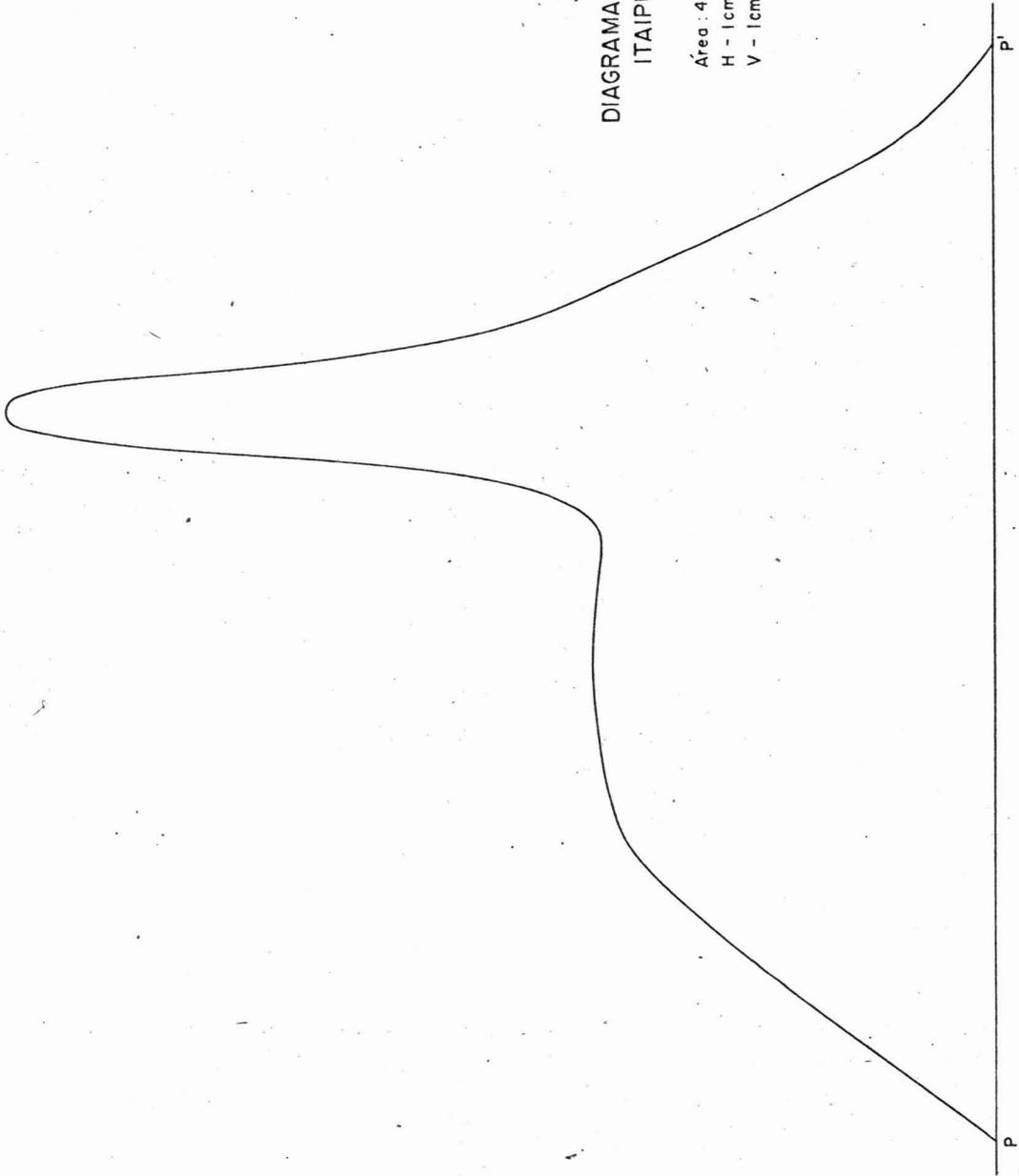
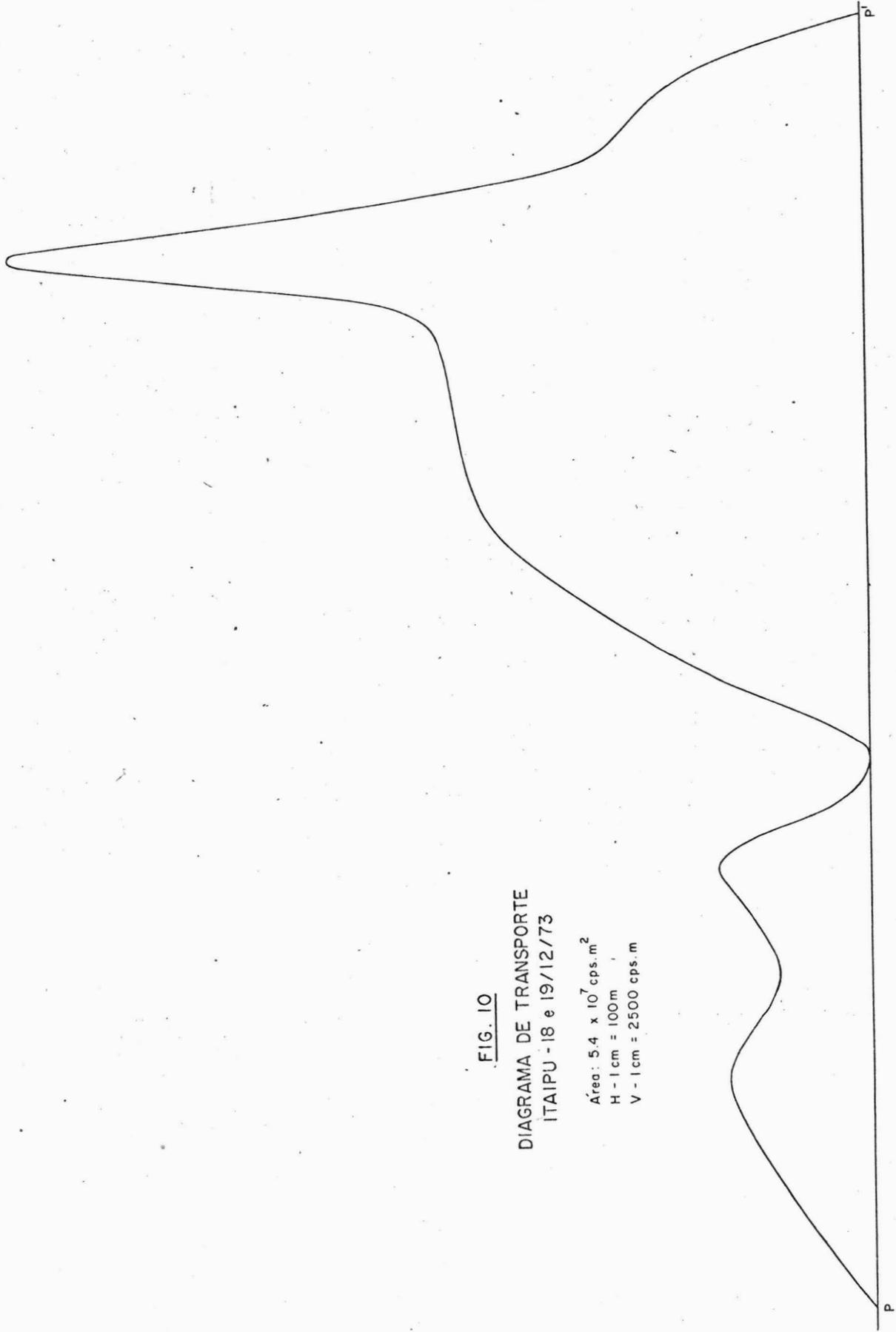


FIG. 10  
DIAGRAMA DE TRANSPORTE  
ITAIPU - 18 e 19/12/73

Área:  $5.4 \times 10^7$  cps.m<sup>2</sup>  
H - 1 cm = 100m  
V - 1 cm = 2500 cps.m



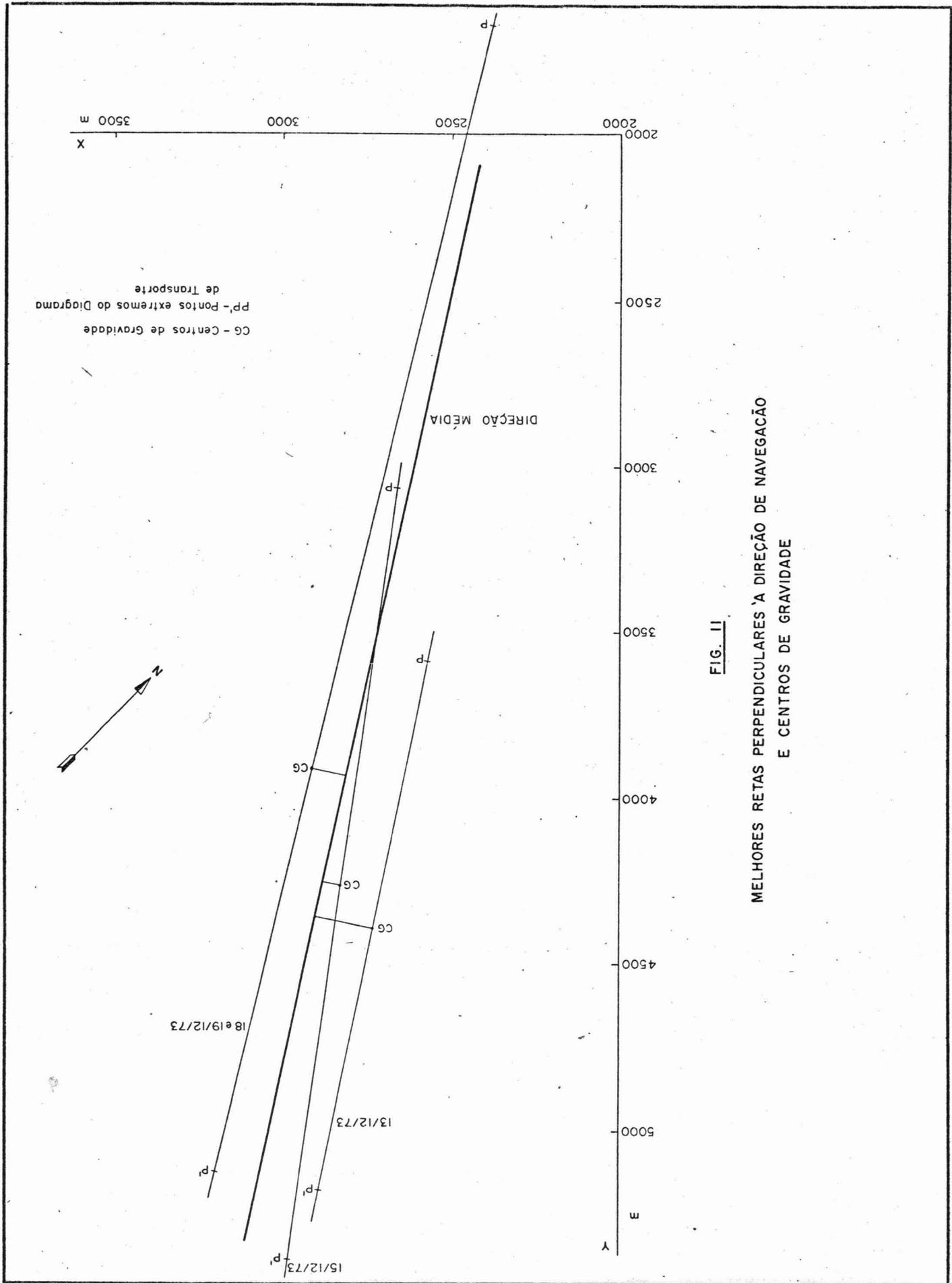
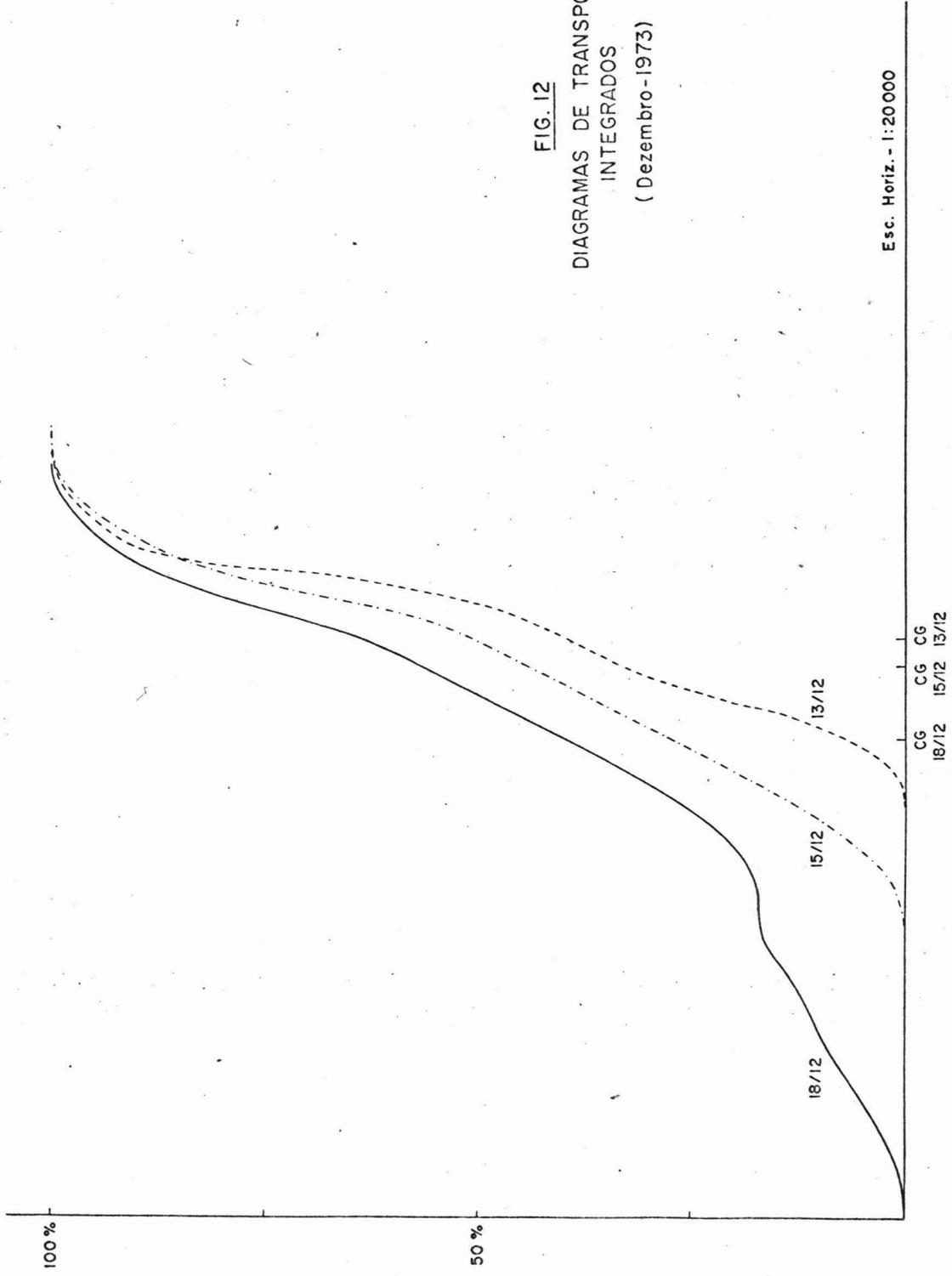


FIG. II  
 MELHORES RETAS PERPENDICULARES A DIREÇÃO DE NAVEGAÇÃO  
 E CENTROS DE GRAVIDADE

FIG. 12  
DIAGRAMAS DE TRANSPORTE  
INTEGRADOS  
( Dezembro - 1973 )



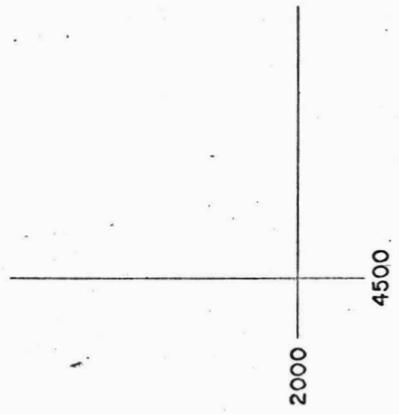
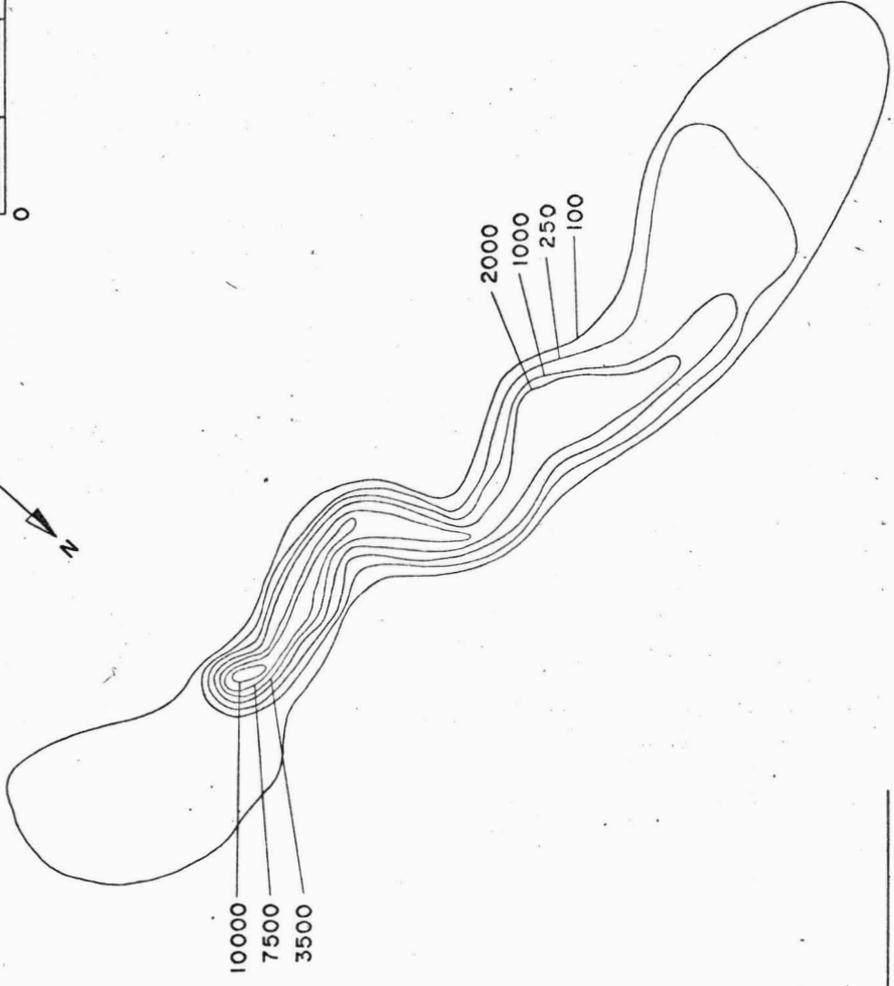
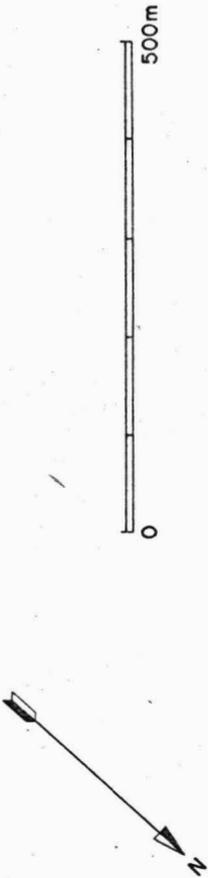


FIG. 13 - CURVAS DE ISODOSE  
ITAIPU - 18/01/74

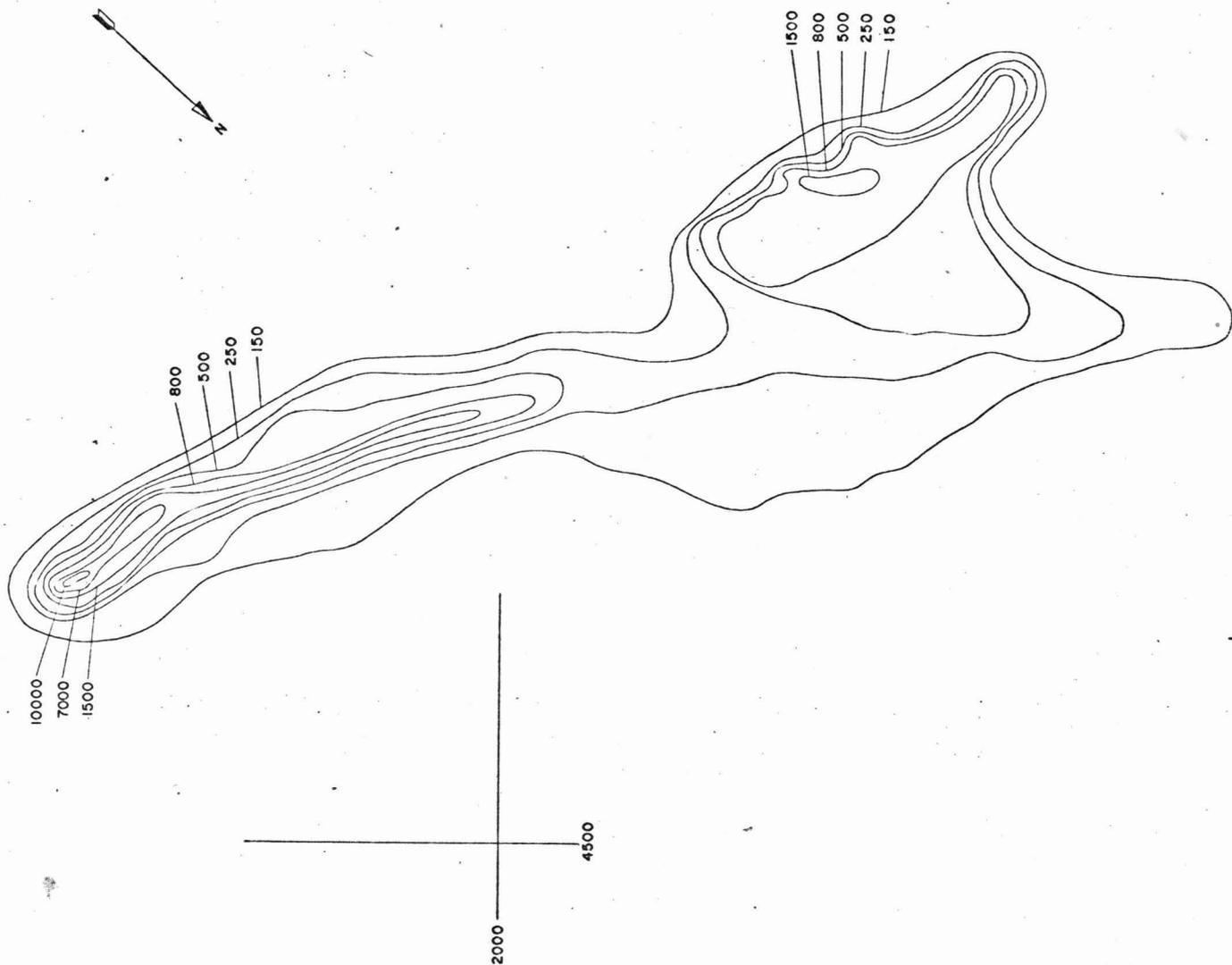
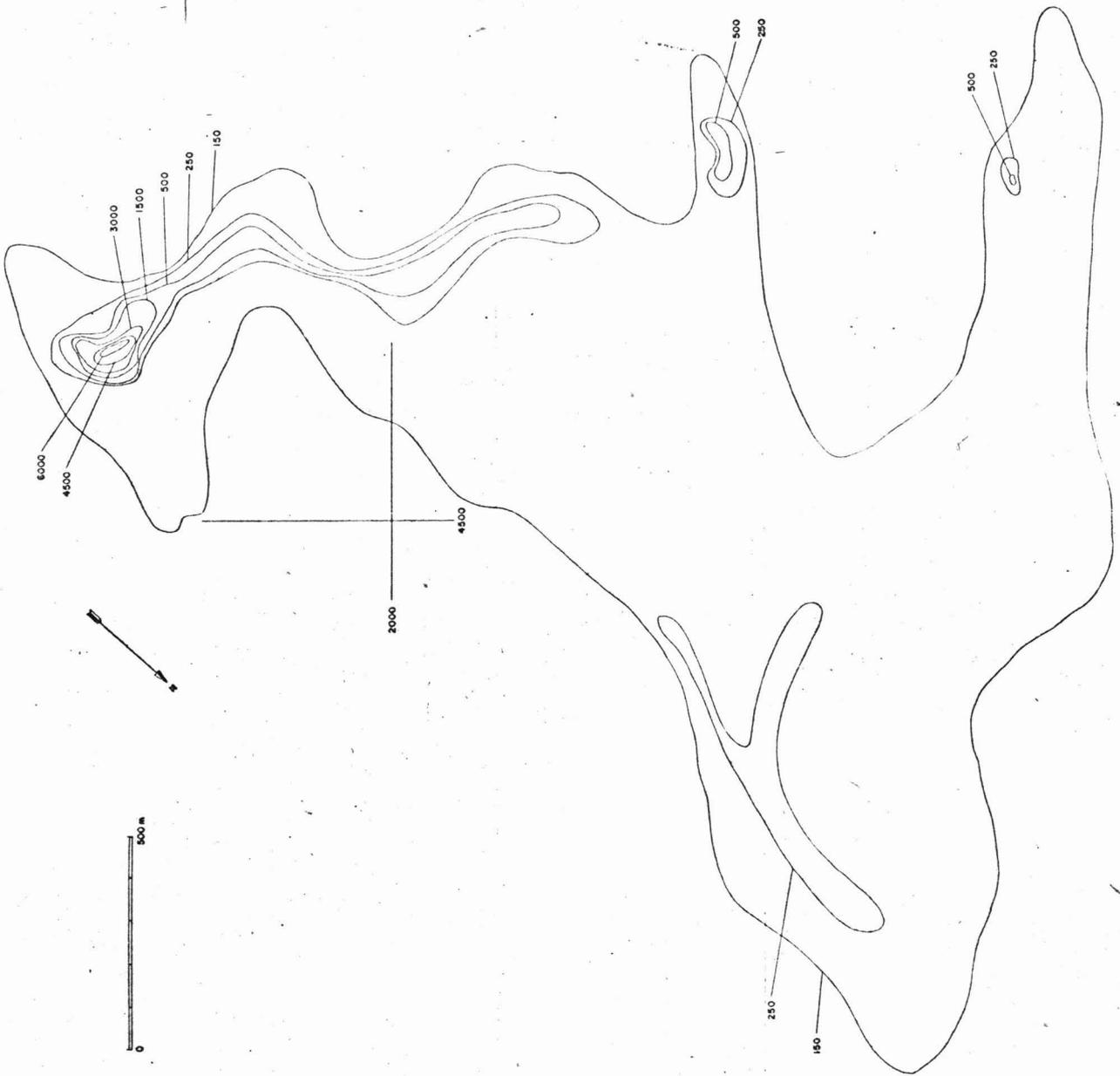


FIG. 14 - CURVAS DE ISODOSE  
ITAIPU - 19/01/74

FIG. 15 - CURVAS DE ISODOCSE  
ITAIPU - 21/01/74



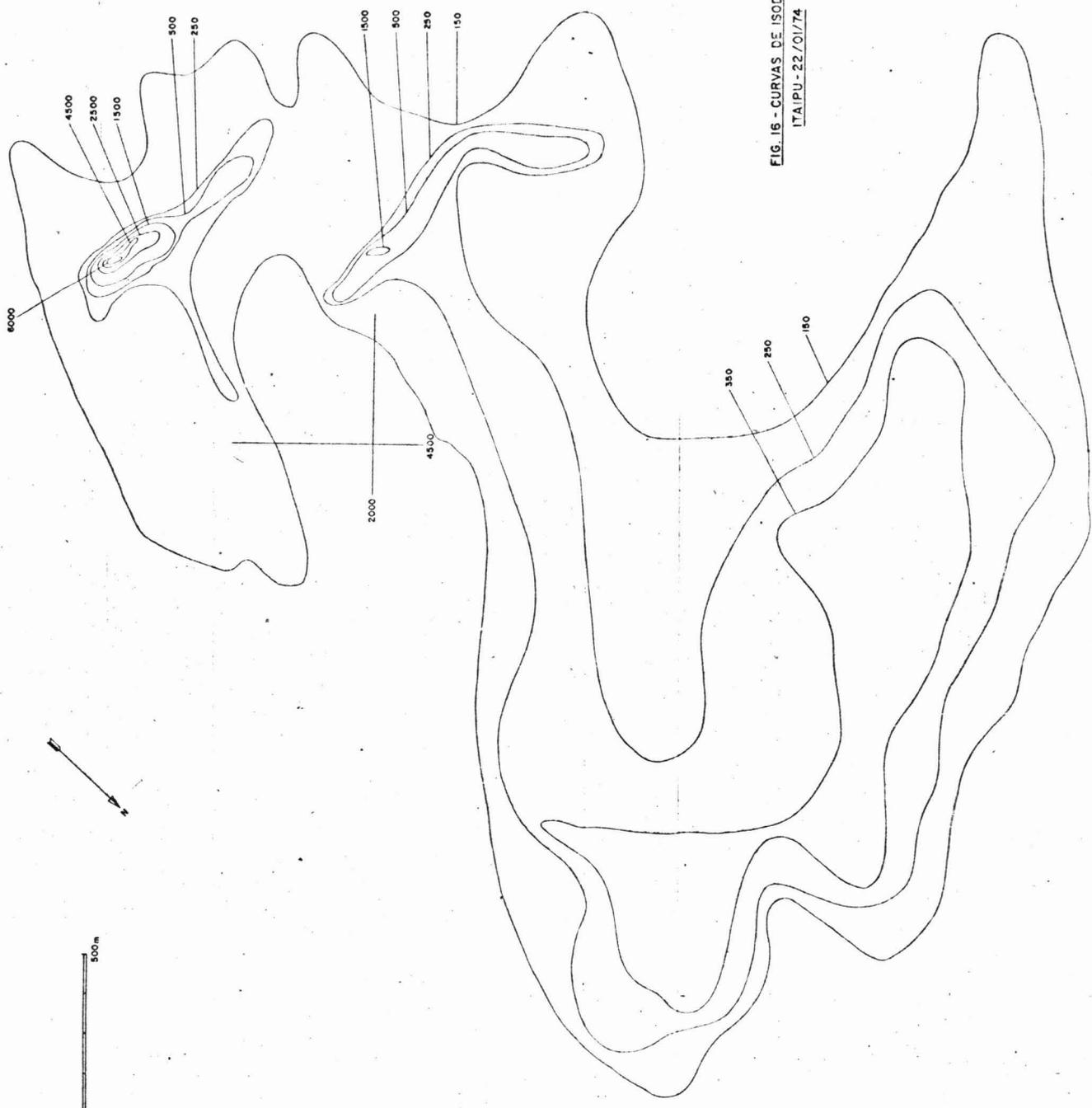


FIG. 16 - CURVAS DE ISODOSE  
ITAIPIU - 22/01/74

ESC. - 1 : 23000

FIG. 17  
EVOLUÇÃO DA NUVEM RADIOATIVA  
DIA 18/01/74

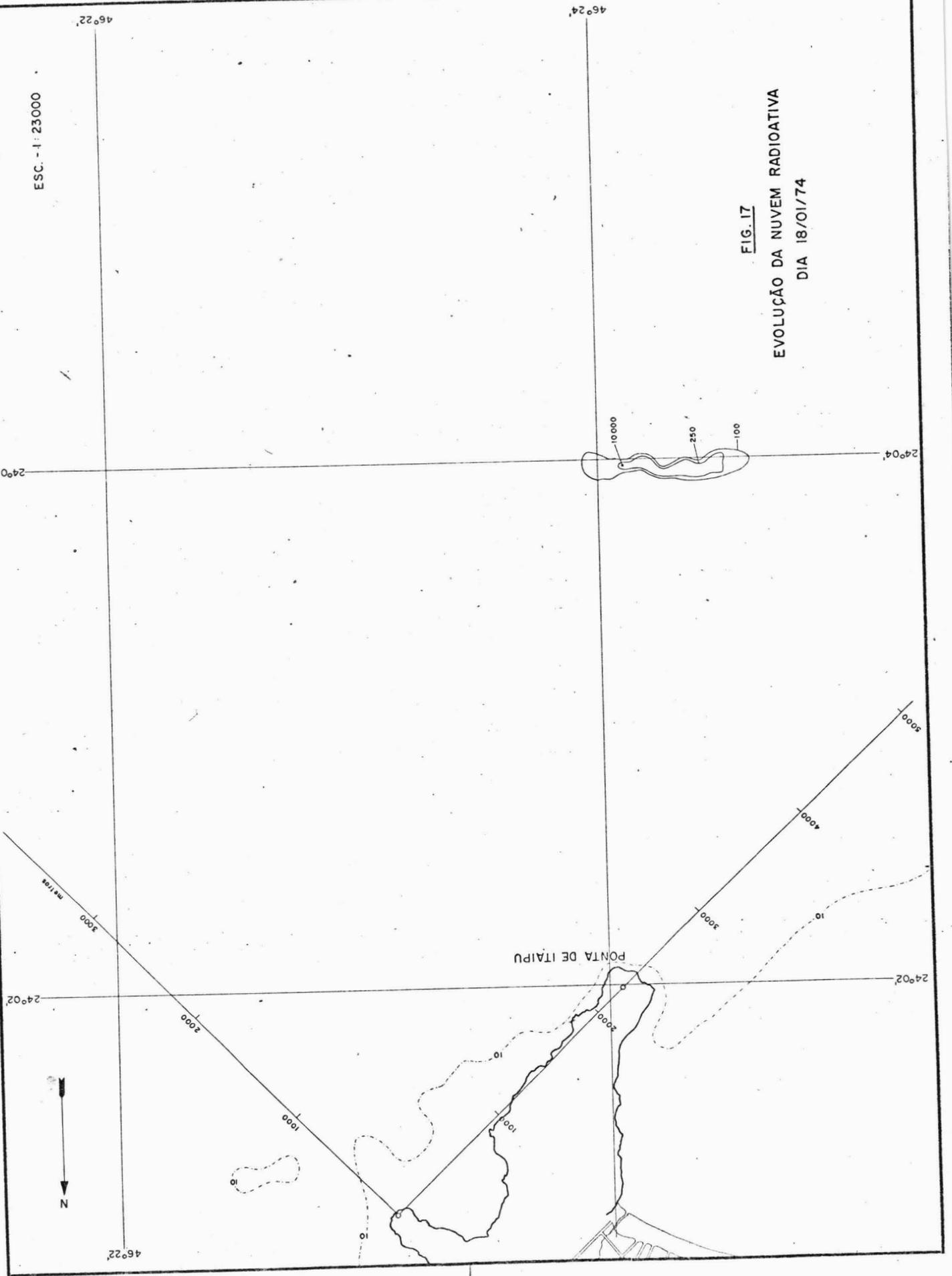


FIG. 18  
EVOLUÇÃO DA NUVEM RADIOATIVA  
DIA 19/01/74

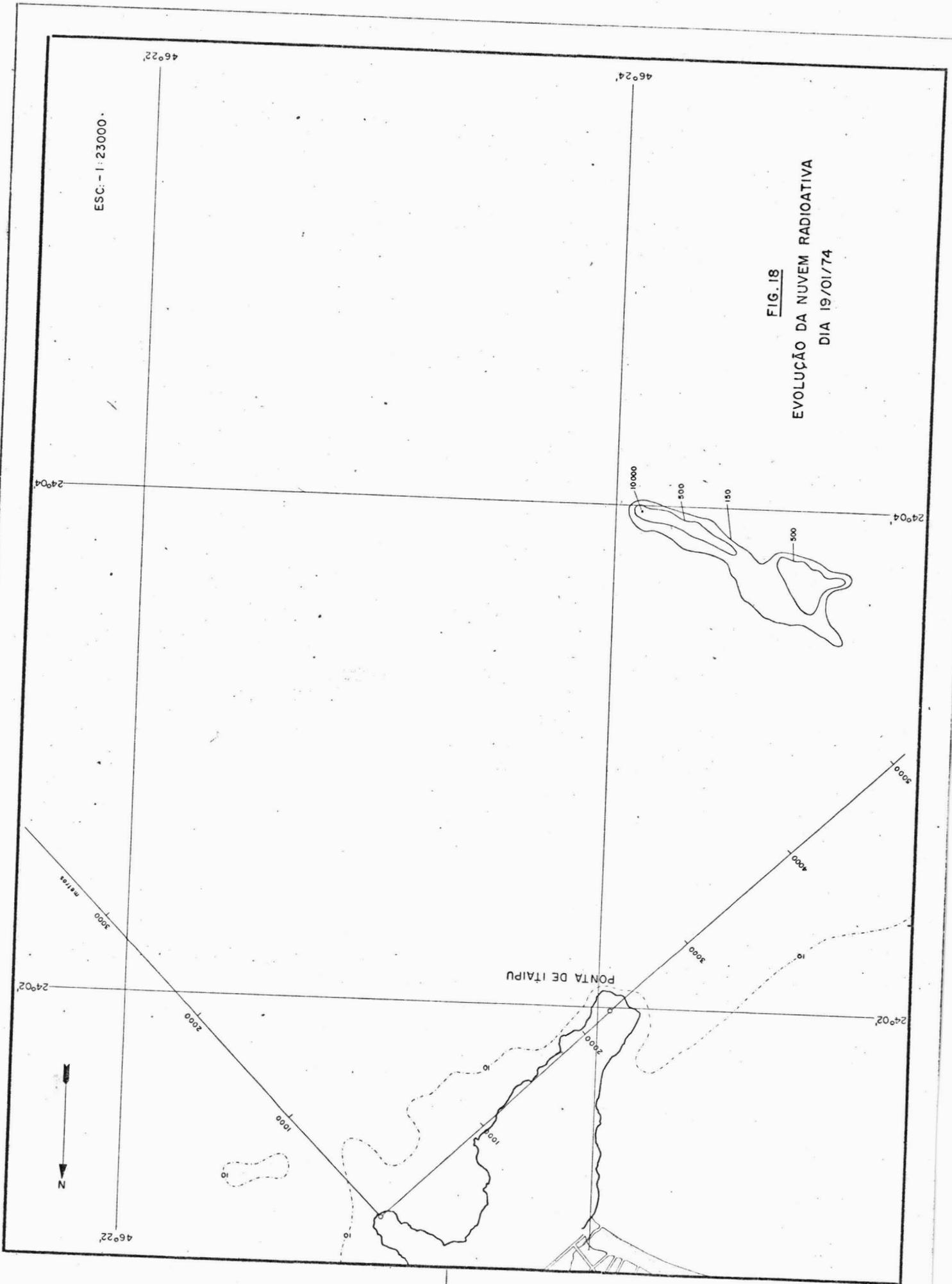
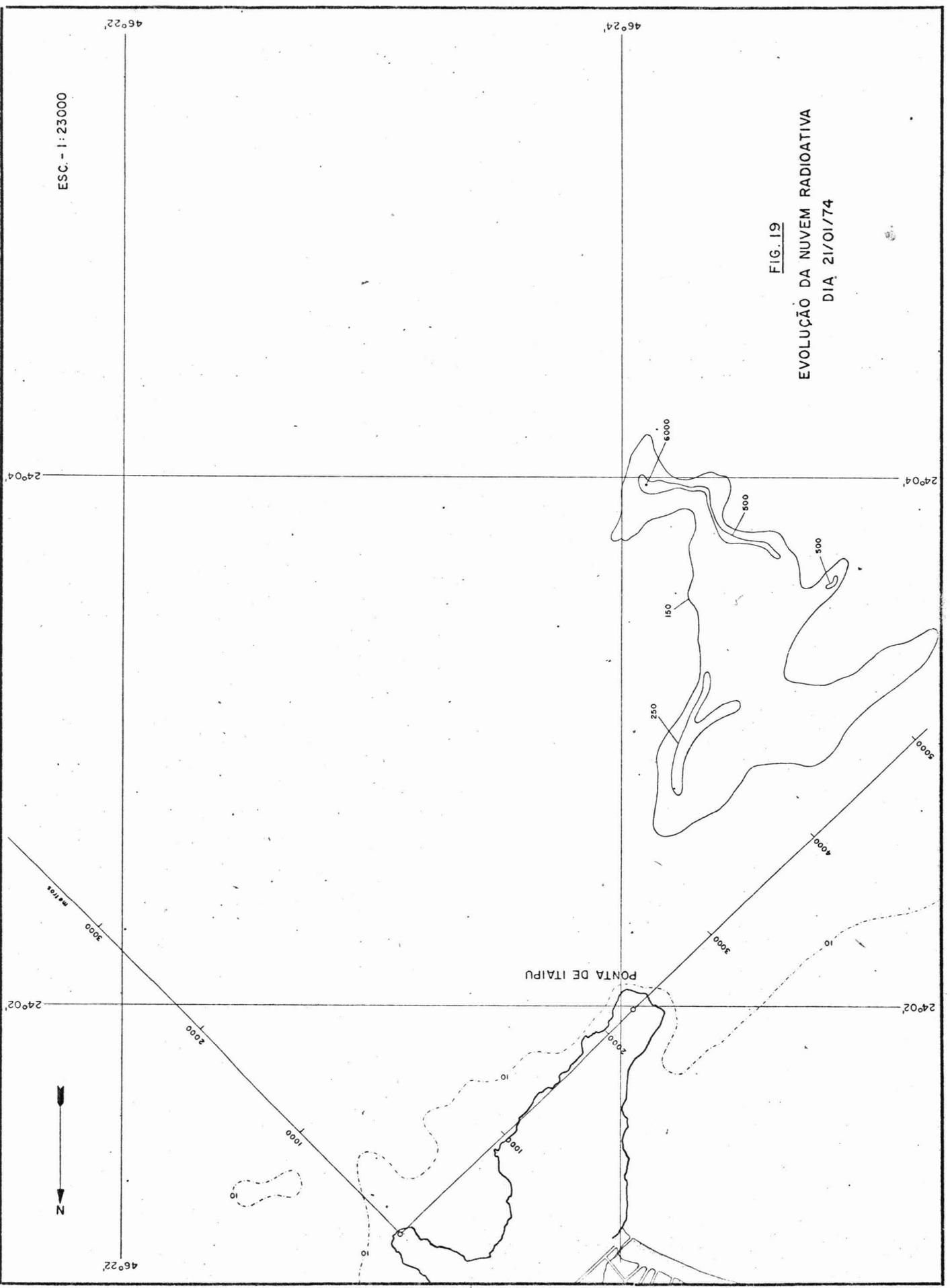
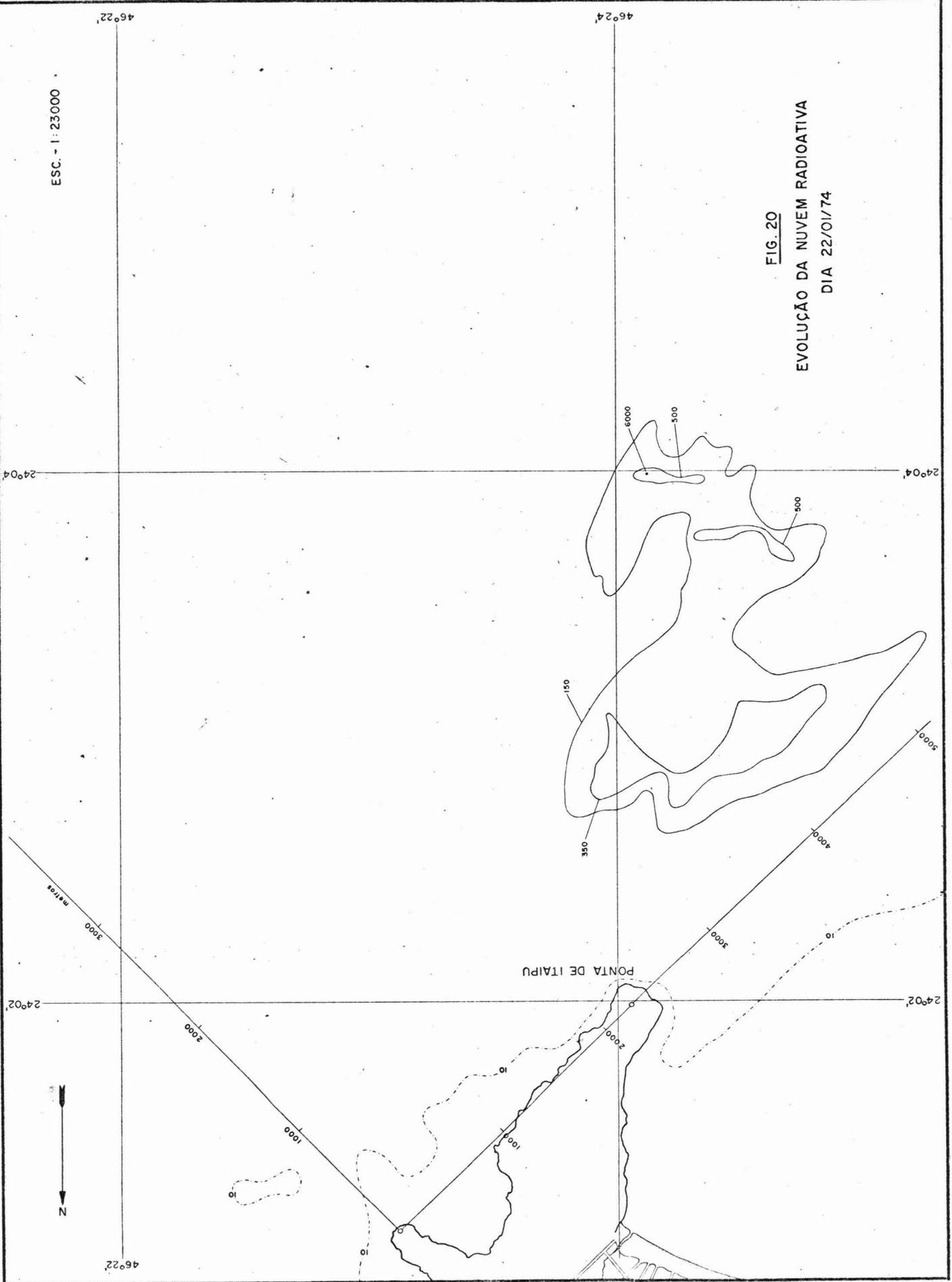


FIG. 19  
EVOLUÇÃO DA NUVEM RADIOATIVA  
DIA 21/01/74



ESC. - 1 : 23000



**FIG. 20**  
**EVOLUÇÃO DA NUVEM RADIOATIVA**  
**DIA 22/01/74**

FIG. 21

DIAGRAMA DE TRANSPORTE  
ITAIPIU - 18/01/74

Área:  $1.89 \times 10^7$  cps.m<sup>2</sup>  
H - 1 cm = 100 m  
V - 1 cm = 2500 cps.m

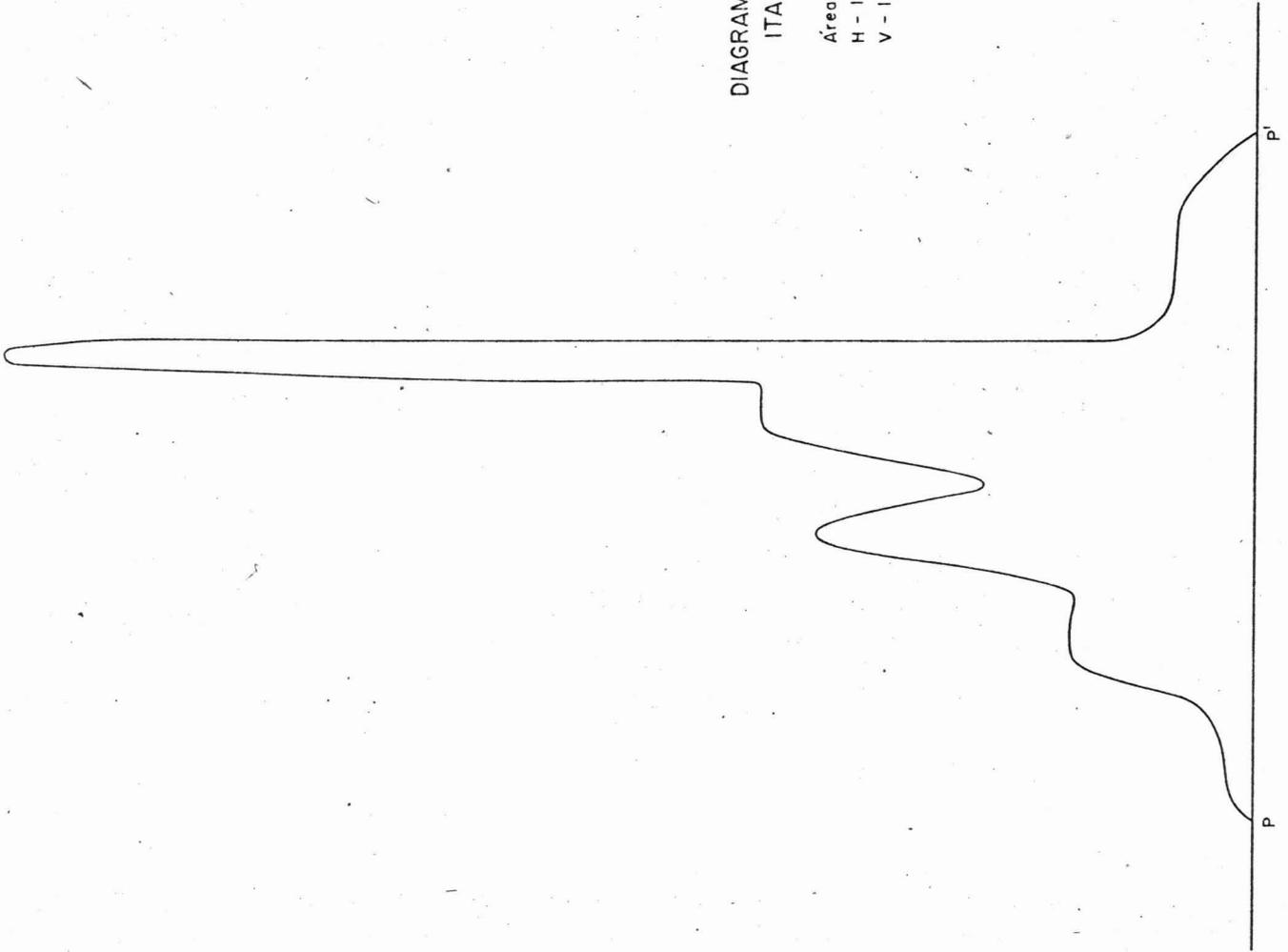
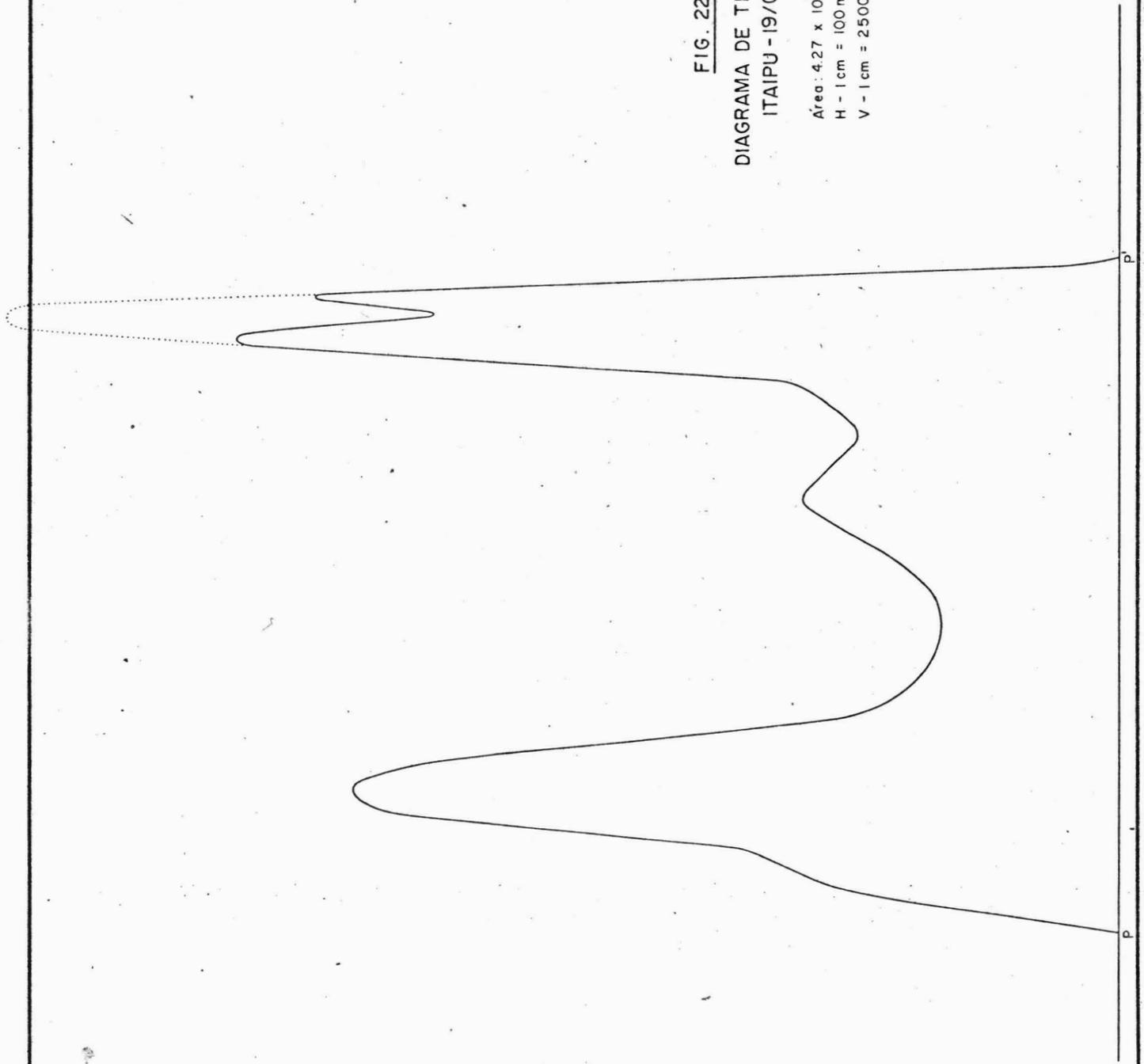


FIG. 22  
DIAGRAMA DE TRANSPORTE  
ITAIPU - 19/01/74

Área :  $4.27 \times 10^7$  cps.m<sup>2</sup>  
H - 1 cm = 100 m  
V - 1 cm = 2500 cps.m



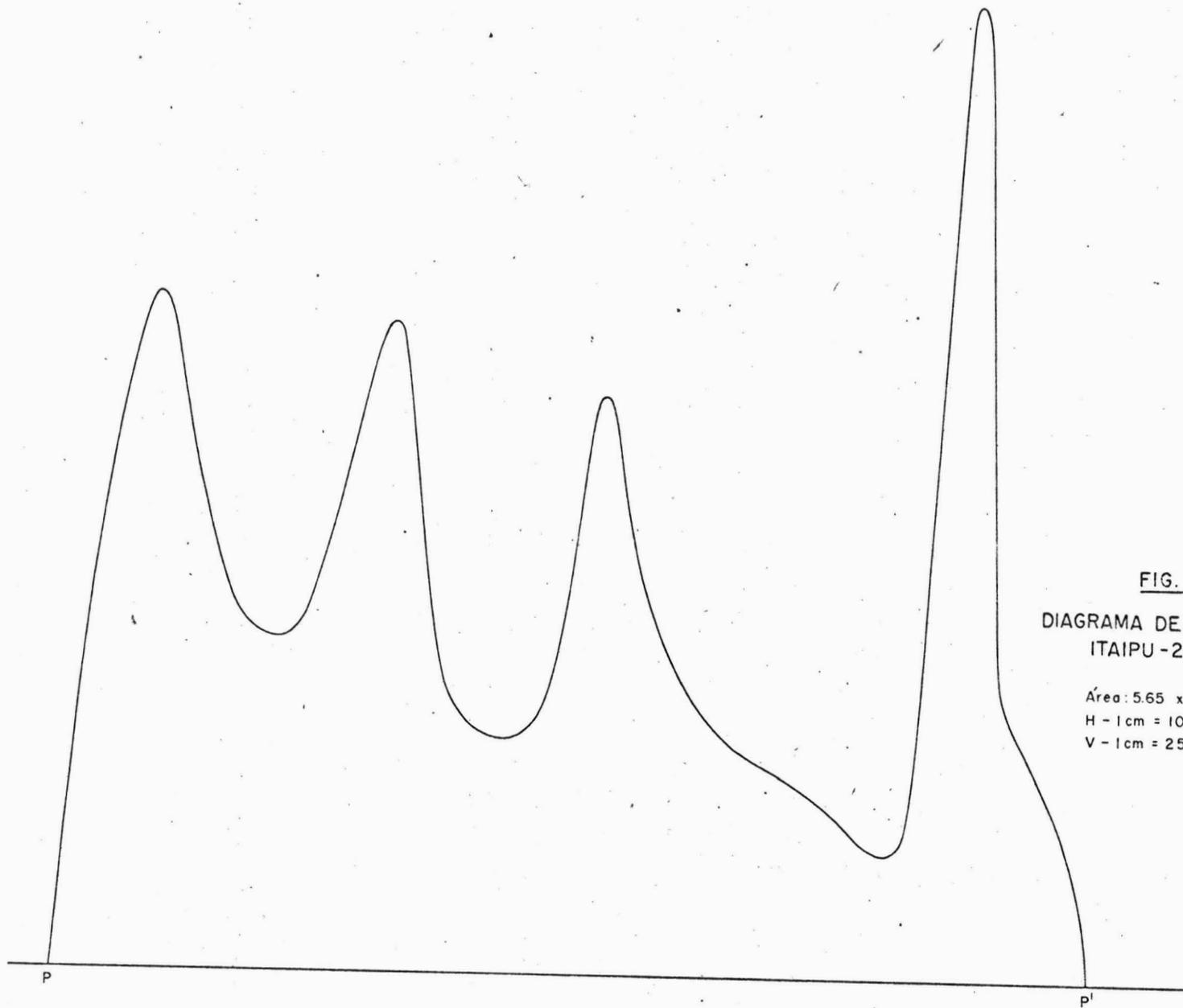


FIG. 23

DIAGRAMA DE TRANSPORTE  
ITAIPU - 21/01/74

Área:  $5.65 \times 10^7$  cps.m<sup>2</sup>

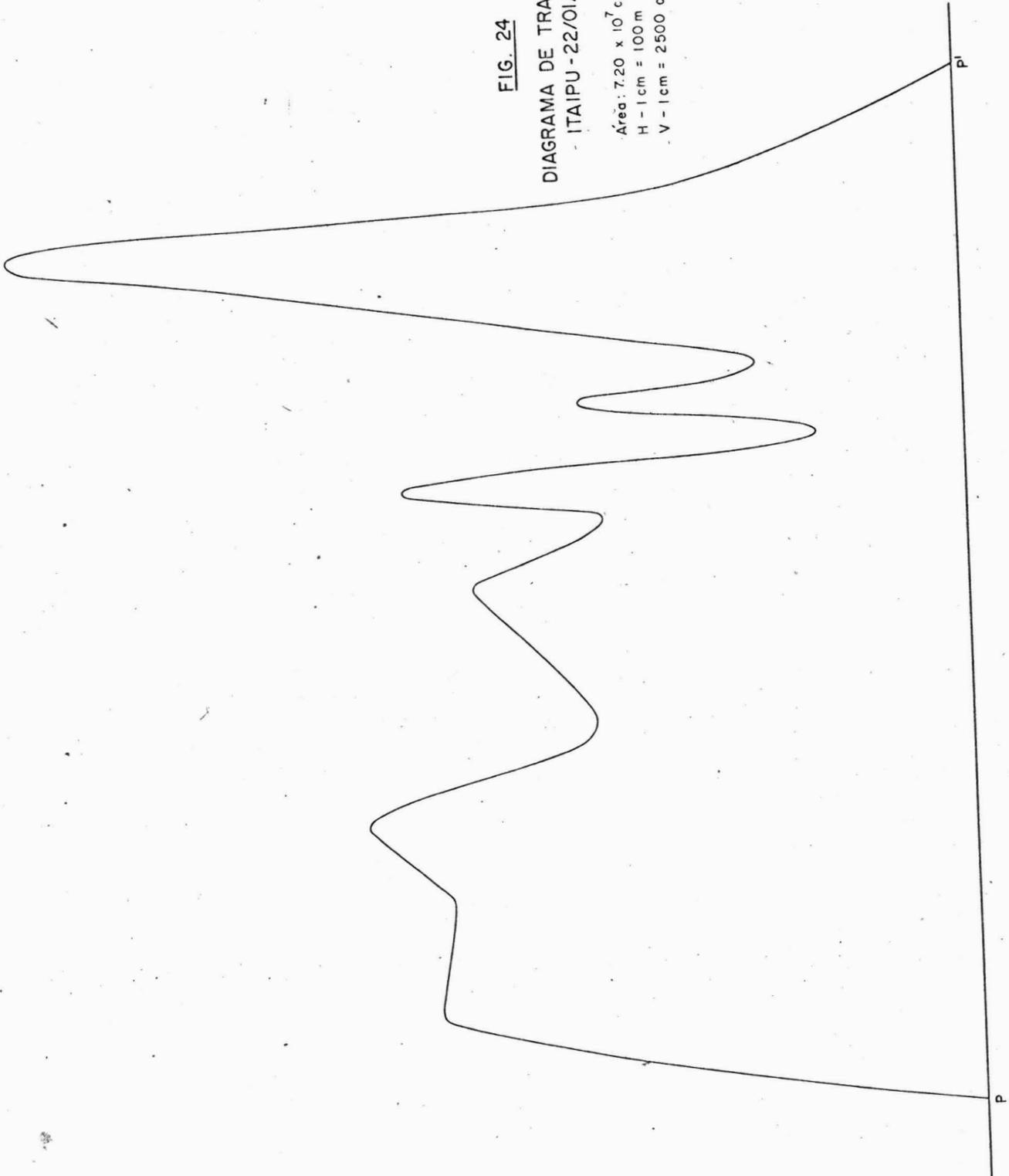
H - 1cm = 100 m

V - 1cm = 2500 cps.m

FIG. 24

DIAGRAMA DE TRANSPORTE  
ITAIPIU - 22/01/74

Área:  $7.20 \times 10^7$  cps. m<sup>2</sup>  
H - 1 cm = 100 m  
V - 1 cm = 2500 cps. m



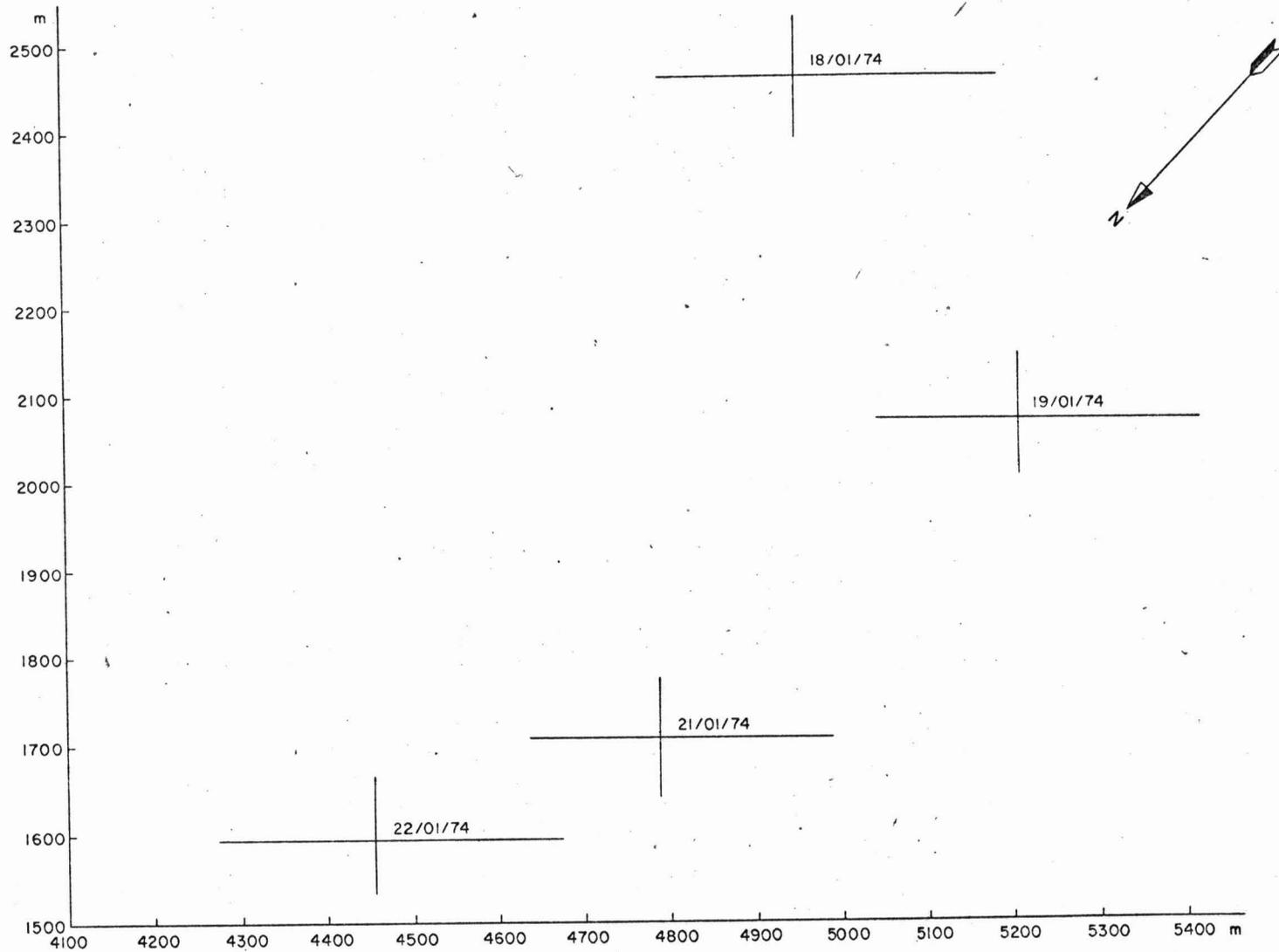


FIG. 25 - MOVIMENTAÇÃO DOS CENTROS DE GRAVIDADE ENTRE 18 E 22 DE JANEIRO/74

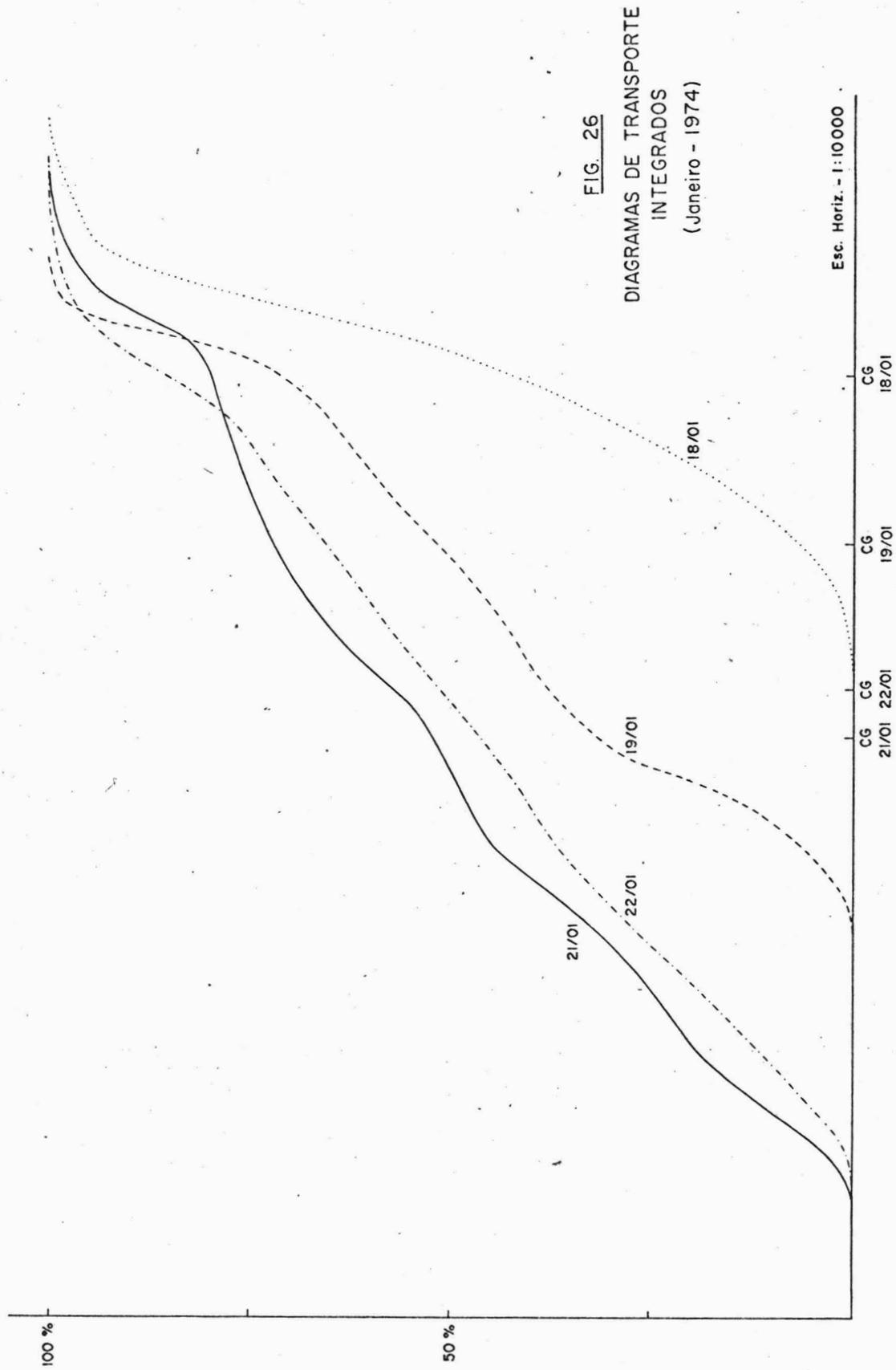


FIG. 26  
 DIAGRAMAS DE TRANSPORTE  
 INTEGRADOS  
 (Janeiro - 1974)