

ESTUDO DE NOVOS LOCAIS DE DESPEJO DE DRAGAGEM
NO PORTO DE RECIFE: MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTO
NO FUNDO, EM REGIME DE VERÃO.

Janeiro de 1978

ESTUDO DE NOVOS LOCAIS DE DESPEJO DE DRAGAGEM
NO PORTO DE RECIFE: MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTO
NO FUNDO, EM REGIME DE VERÃO.

AUTORES

Pedro Edmundo Aun
Jefferson Vianna Bandeira
José Olympio N. M. de Castro
Rubens Martins Moreira

EQUIPE DE CAMPO

Pedro Edmundo Aun
José Olympio N. M. de Castro
Luis Fontoura Lorenzoni
Rubens Martins Moreira
Duarte Augusto Costa
José Joaquim Lima de Campos
Ricardo da Silva Gomes

EQUIPE DE ANÁLISE

Pedro Edmundo Aun
José Joaquim Lima de Campos
Luiz Raphael Aun
Vera Lúcia Mendes D. da Costa

CONSULTOR

Eng. Victor Freire Motta

Í N D I C E

	PÁGINA
I. INTRODUÇÃO	1.
II. O EMPREGO DE TRAÇADORES	5.
III. APLICAÇÃO DE TRAÇADORES EM ESTUDOS DE MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS EM FUNDOS	10.
IV. O TRABALHO DE CAMPO EM MARÇO E MAIO DE 1977	17.
V. ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	22.
V.1. - A campanha de março de 1977.	22.
V.2. - A campanha de maio de 1977.	36.
VI. CONCLUSÕES	44.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
1	- Carta da região em estudo.	3.
2	- Localização do ponto de injeção.	18.
3	- O equipamento de injeção.	19.
4	- Curvas de isocontagem, detecção do dia 25/03/77.	23.
5	- Curvas de isocontagem, detecção do dia 26/03/77.	24.
6	- Curvas de isocontagem, detecção do dia 29/03/77.	25.
7	- Evolução da curva de 150 c/s com o tempo, março de 1977.	28.
8	- Diagrama de transporte <u>correspon</u> dente ao dia 25/03/77.	29.
9	- Diagrama de transporte <u>correspon</u> dente ao dia 26/03/77.	30.
10	- Diagrama de transporte <u>correspon</u> dente ao dia 29/03/77.	31.
11	- Integração das curvas de <u>isoconta</u> gem, dia 26/03/77.	35.
12	- Diagrama esquemático das curvas de isocontagem, detecção de 27-28/5/77.	38.
13	- Curvas principais de isocontagem, detecção de 27-28/5/77.	40.
14	- Integração das curvas de <u>isoconta</u> gem, maio de 1977.	41.

ESTUDO DE NOVOS LOCAIS DE DESPEJO DE DRAGAGEM
NO PORTO DE RECIFE: MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTO
NO FUNDO, EM REGIME DE VERÃO.

I. INTRODUÇÃO

O trabalho apresentado neste relatório refere-se à execução da primeira parte do item a da Cláusula Segunda do Contrato estabelecido entre a Empresa de Portos do Brasil S.A. - PORTOBRÁS - e as Empresas Nucleares Brasileiras S.A. - NUCLEBRÁS - para a realização de estudos no porto de Recife. São órgãos executores deste contrato o Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH), de parte da PORTOBRÁS e o Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR), por parte da NUCLEBRÁS. Como o trabalho envolve a utilização de traçadores radioativos, o IPR designou, para sua execução, a Divisão de Radioisótopos.

O Porto do Recife é dragado permanentemente. O material retirado da região portuária, constituído basicamente de argila e silte, é transportado por batelões até a região de despejo. Para diminuir ou eliminar este transporte, existe a alternativa de construir-se um "mud trap" na região em que o Rio Capibaribe entra na região portuária. A vasa acumulada neste "mud trap" seria dragada e descarregada diretamente no mar, por sobre o recife, através de um sistema de bombeamento. Uma possível vantagem adicional desta solução seria a diminuição do assoreamento da região portuária, pois parte do material transportado

pelo Rio Capibaribe ficaria retido no "mud trap", sem atingir o porto. Em reuniões havidas entre técnicos do INPH e do IPR, ficou estabelecido o interesse em estudar-se as consequências desta solução, tentando-se determinar se o material, após descarregamento no mar, poderia ou não retornar ao porto ou à região protegida pelo quebra-mar do Banco Inglês, Fig. 1. Se fosse demonstrada a possibilidade de retorno às regiões citadas, seria necessário tentar-se quantificar a sua importância, o que poderia ser conseguido por uma combinação de estudos com traçadores com análises da distribuição estatística de direções e velocidades de correntes na região. Na parte de estudos com traçadores, duas fases deveriam ser estudadas:

- a) o estudo do comportamento do material após sua descarga no mar, ou seja, a movimentação do sedimento em suspensão.
- b) o estudo do comportamento do material que, após a sua descarga, depositou-se no fundo.

O item a deve ser estudado em diversas condições hidráulicas, principalmente naquelas em que haja maior probabilidade de haver o retorno do sedimento a regiões indesejáveis. É importante determinar-se também qual a resultante líquida das correntes na região, pois serão elas que causarão o transporte. Como cada experimento com sedimento em suspensão somente pode ser acompanhado durante algumas horas, é necessário realizar e analisar grande número de medições com traçadores, além de se conhecer bem o regime de correntes da região.

O item b é de execução mais fácil, pois o sedimento depositado no fundo pode ser acompanhado por períodos longos, da ordem de meses, integrando todas as ações hidráulicas que ocorreram no período. Como se conhece a existência de dois regimes hidráulicos marcadamente diferentes na região de Recife, conforme reinem condições de verão e inverno, o trabalho sobre movimentação do sedimento no fundo foi programado para cobrir os dois regimes. O estudo em regime de inverno, realizado em julho de 1976, foi objeto do relatório "Estudo de novos locais para despejo de dragagem no Porto do Recife: movimentação de sedimento de fundo em regime de inverno", do Instituto de Pesquisas Radioativas. [1] O presente estudo foi iniciado em regime de verão, em março de 1977 e prolongou-se até o final de maio de 1977, quando é de se esperar a ocorrência das condições hidráulicas mais energéticas que caracterizam o regime de inverno.

II. O EMPREGO DE TRAÇADORES

Um traçador é uma substância utilizada para marcar uma fração de uma população. Além de marcar uma fração, o traçador deve apresentar alguma propriedade que permita segui-lo durante os processos a que a população estiver sujeita. Medindo-se, então, a distribuição do traçador, pode-se deduzir o comportamento da população que ele representa e medir parâmetros tais como velocidades de movimentação, dispersão e concentração em pontos determinados. Para que estas medidas, realizadas sobre o traçador, identifiquem o comportamento da população, é necessário que o traçador seja representativo, isto é, que os fenômenos que com ele ocorrem sejam os mesmos que ocorrem com a entidade que ele representa. No caso em estudo, o sedimento que deve ser marcado com um traçador é constituído principalmente de finos, com presença importante de silte e argila. Há dois modos de marcar uma população deste tipo com um traçador. O primeiro deles é a marcação com ouro radioativo, que é bastante simples e foi exhaustivamente estudada em outros países [2]. Foi demonstrado que o simples contato de uma vasa com uma solução de HAuCl_4 produz uma marcação estável, de alto rendimento (98%) e que não altera as propriedades da vasa. Este método foi empregado em todos os estudos de movimentação de sedimento em suspensão realizados em Recife. Para a determinação da movimentação de sedimento de fundo, este método não é aplicável, pois se deseja acompanhar a evolução do sedimento marcado por vários meses, o que não é possível com o uso de ouro radioativo. O ouro 198 é um emissor gama, com radiação principal de 411 keV e cuja meia-vida (tempo para que uma dada

quantidade de radioisótopo se reduza à metade do seu valor inicial) é de 2,7 dias.

Este valor da meia-vida permite que o ouro seja utilizado apenas em trabalhos com duração máxima entre 10 e 15 dias. Nos casos em que o período experimental é mais longo, é necessário empregar radioisótopos com meias-vidas maiores, tais como o irídio. O irídio 192 é um emissor gama de espectro complexo, com 74 dias de meia-vida. Não há, entretanto, um método simples de marcar vasa com irídio, restando o recurso de misturar-se pequena quantidade de vidro moído contendo irídio, em granulometria tão próxima quanto possível da vasa que se quer marcar, a uma grande quantidade de sedimento natural. Tal solução também foi estudada em laboratório e julgada adequada, pois as particulas de irídio, durante o misturamento com a vasa, ficam incorporadas aos flocos naturais [3,4].

Este processo foi adotado no presente trabalho. Coletou-se inicialmente uma amostra do material de fundo na região do porto, a qual foi peneirada em malha grossa, para retirar pedregulhos e conchas, e cuja concentração em vasa foi ajustada às concentrações médias que aparecem em dragas de sucção e recalque. A este material foram misturadas cerca de 300g de vidro moído marcado com irídio e previamente irradiado. A mistura vasa-traçador foi então depositada no fundo da região em estudo, tomando-se as precauções necessárias para permitir que o material se depositasse protegido da ação de ondas e correntes. Os detalhes da injeção serão apresentados na parte referente ao trabalho de campo.

Outra característica do método de traçadores que deve ser citada é que ele é por natureza um método integrador. Em um dado instante, a configuração apresentada pelo traçador representa a resultante de todas as ações por ele sofridas desde o início do trabalho até o instante considerado.

No caso do estudo da movimentação de sedimentos, a distribuição do traçador é causada pela ação conjunta de todos os agentes hidráulicos que atuaram sobre ele, não sendo possível separar a priori o efeito produzido por uma dada causa. Para a compreensão do fenômeno, é, portanto, necessário conhecer e quantificar todos os possíveis agentes de movimentação, tais como ventos, correntes, ondas e marés, os quais devem ser medidos durante todo o período experimental. Quando o traçador é utilizado no estudo de fenômenos de transporte, como no caso presente, os objetivos gerais que se buscam são:

- a) descrever o transporte que ocorreu, determinando as áreas atingidas pelo traçador e direções de movimentação;
- b) quantificar parâmetros relativos ao transporte, tais como velocidades de movimentação e, em casos especiais, vazões sólidas;
- c) verificar hipóteses baseadas em informações hidráulicas prévias ou explicar os fenômenos ocorridos, em função dos dados hidráulicos coletados.

Estes objetivos mostram que os traçadores são especialmente úteis quando foi previamente estabelecido um modelo da região a estudar, para o qual se queiram determinar alguns parâmetros, em condições também anteriormente definidas. Nesse caso, o planejamento das épocas em que os experimentos devam ser realizados poderá ser feito com precisão, medindo-se os parâmetros que permitam a verificação da validade do modelo. O próprio modelo servirá então para fornecer resultados sobre outras condições, diferentes das que foram verificadas experimentalmente.

No presente caso, o problema foi separado em duas partes. Uma delas é o estudo da movimentação do sedimento em suspensão, o qual deve ser concentrado nas condições hidráulicas que pareçam favorecer o movimento em direção ao porto, isto é, para o norte. Estas condições são, a priori, maré enchente, vento e ondas do quadrante sul. Existe um modelo para tal tipo de estudos, no qual se combina um modelo de dispersão do tipo gaussiano com um modelo de decantação [5]. Caso os seus parâmetros possam ser determinados, o modelo poderá ser aplicado à região entre o provável ponto de despejo e o quebra-mar do Banco Inglês, determinando-se as concentrações de vasa esperadas nos vários pontos da região, a partir de uma descarga realizada por sobre o recife.

Outros estudos devem ser realizados na área entre o quebra-mar do Banco Inglês e o recife, pois se trata de um local hidraulicamente diferente da região anteriormente considerada.

Como parte do material despejado vai se depositar no fundo, é necessário também estudar-se as condições de movimentação desta parte do sedimento, tanto em verão, como em inverno - e em cada uma das regiões anteriormente citadas: é a segunda parte do estudo.

A análise dos dados hidráulicos referentes à região deverá definir a importância da movimentação em direção ao porto, tanto no caso de suspensão, como de fundo. Esta análise definirá as porcentagens de ocorrência das condições hidráulicas que tendem a fazer com que o material se dirija para o porto e permitirá que se estabeleçam as condições para que o despejo de material dragado por sobre o recife seja executável.

A exposição acima refere-se a um caso ideal, que, infelizmente, nunca ocorre na prática, pois é impossível, seja por razões físicas ou econômicas, recolherem-se todas as informações necessárias. A interpretação do trabalho dependerá sempre da experiência e do bom senso da equipe que o realizou.

III. APLICAÇÃO DE TRAÇADORES EM ESTUDOS DE MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS EM FUNDOS

Após a marcação do sedimento, o material é transportado, em blindagem de proteção, até o local do estudo e depositado no fundo. Cada injeção é um problema particular que merece uma solução específica. Logo após a injeção, percorre-se o fundo nas proximidades do local onde ela foi realizada com uma sonda de detecção de radiação, para verificar a sua qualidade. No dia seguinte, procede-se a uma detecção completa, que consta do recobrimento completo da nuvem radioativa, formada após a injeção, com uma sonda de detecção arrastada por um barco. A posição do barco é determinada, em intervalos de tempo prefixados, por um sistema de posicionamento. Os dados de posição são transmitidos ao barco, para que se façam as necessárias correções de trajetória, pois, para facilidade de análise, as linhas de navegação devem ser tão retilíneas quanto possível e paralelas entre si.

Um trabalho completo é composto por uma série de detecções, espaçadas de acordo com o movimento observado: tanto mais frequentes quanto mais rápido for o deslocamento do sedimento marcado. Durante o trabalho, registram-se os parâmetros hidráulicos necessários à interpretação dos dados de traçadores.

A integração das contagens obtidas em uma dada detecção permite determinar-se a quantidade de material radioativo que está depositado no fundo da área em estudo.

Se a forma das nuvens radioativas e a quantidade de traçador permanecem constantes no decorrer do tempo, pode-se inferir a não existência de movimento do material, durante o período de observação. Se a quantidade de material radioativo detectado diminuiu com o tempo e se, ao mesmo tempo, as ações hidráulicas que ocorreram não foram suficientemente intensas para retirar o traçador do local em suspensão, pode-se deduzir que houve um enterramento do material radioativo. O método do balanço [6] permite estimar-se a espessura de recobrimento, a partir da quantidade de material recuperada e de uma calibração da sonda de detecção. Com o valor desta espessura, torna-se fácil calcular a vazão sólida de arraste.

Quando as ações hidráulicas são suficientemente intensas para causar reentrada de material em suspensão, a quantidade de traçador recuperada também diminui. Neste caso, é possível estimar-se qual a quantidade de material que, devido às ações hidráulicas, se perdeu.

Em todos os casos, há uma rotina de análise a ser seguida. Inicialmente, deve-se retirar de cada valor da contagem obtido a parte referente ao ruído de fundo natural. O ruído de fundo da região, devido à radioatividade natural, é determinado previamente, pela mesma técnica utilizada nas detecções.

Em seguida, é necessário corrigir-se o decaimento radioativo do traçador, já que cada radioisótopo tem uma meia-vida característica.

Feitas estas correções, divide-se as contagens obtidas pelo tempo de contagem, obtendo-se assim uma relação das taxas de contagem médias registradas durante a detecção.

É necessário agora fazer-se a correspondência entre cada taxa de contagem e a posição em que ela foi observada. Para isto, dispõe-se das posições do barco, obtidas através do sistema de posicionamento, as quais são lançadas em uma carta da região. O dado que interessa à análise é a posição da sonda em cada instante, e não a posição do barco. Entretanto, como se conhece o comprimento do cabo que vai do barco até o trenô que transporta a sonda e a profundidade da região, esta correção é de fácil execução. Lança-se agora na carta que contém as posições da sonda, as taxas de contagem correspondentes. Unindo-se por uma linha contínua todos os pontos de mesma taxa de contagem, obtem-se um diagrama conhecido como "diagrama das curvas de isocontagem ou de isoconcentração". Este diagrama é extremamente útil para visualizar-se o movimento ocorrido. Nele pode-se observar o tamanho e a forma da nuvem radioativa, a direção em que se deu o movimento e deduzir se a movimentação observada é ou não importante. Das curvas de isocontagem, é também possível calcular-se a quantidade de material radioativo que foi observada pela sonda de detecção. Para isto, calcula-se a área interior a cada curva de taxa de contagem e constroi-se um gráfico tendo, em um dos eixos, esta área e no outro, a taxa de contagem correspondente. Medindo-se agora a área deste gráfico, obtém-se o valor da recuperação N do material radioativo, dada em contagem por segundo vezes metros quadrados.

O valor de N pode ser transformado em valor de atividade, dado em milicuries, por meio de uma calibração da sonda de detecção, feita em laboratório. Nesta calibração, determina-se a resposta f da sonda a uma atividade unitária uniformemente distribuída a várias profundidades z do material de fundo. A expressão encontrada tem, em geral, a forma

$$f = f_0 e^{-\alpha z}$$

onde

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

f_0 = resposta da sonda, em c/s, a uma atividade unitária uniformemente distribuída, na superfície, isto é, com $z = 0$.

α = coeficiente de absorção da radiação pelo material do fundo.

z = espessura de material entre a fonte de radiação e a sonda.

Se a atividade estiver distribuída na superfície, pode-se determinar o seu valor simplesmente pela divisão de N (em c/s x m²) por f_0 (em c/s / $\frac{\mu C}{m^2}$). No caso em estudo, em que foi depositada vasa sobre um fundo de areia, pode-se supor que a vasa estava distribuída superficialmente, ao

menos nas primeiras detecções, sem que houvesse uma camada de areia entre ela e o detector. Pode-se, assim, transformar o valor de N , obtido a partir das curvas de isodose, em valores de atividade pela simples divisão por f_0 .

Um outro método pode ser utilizado para o cálculo de N , com a vantagem de permitir que a maior parte dos cálculos seja feita em computador ou em uma calculadora programável. Neste método, integram-se as contagens referentes a cada linha descrita pelo barco. Para isto, é necessário introduzir-se uma nova correção, ou seja, a correção da velocidade do barco. Ela pode ser calculada a partir das posições sucessivas do barco, que são conhecidas, e do intervalo de tempo entre as posições, que é constante (o sistema de posicionamento por teodolitos fornece a posição do barco a intervalos de 30s).

Cada contagem é multiplicada pelo valor da velocidade correspondente ao intervalo de tempo em que ela foi obtida. Somando-se todas as contagens de uma linha, tem-se a recuperação daquela linha. Estes valores são lançados em um gráfico, no ponto correspondente, para uma dada linha, à posição em que aquela linha corta a direção média de transporte. Este gráfico tem o nome de "diagrama de transporte" e sua área fornece também o valor de N , em $c/s \times m^2$. Os valores de N , para as várias detecções, podem ser comparados entre si. Para determinar-se a existência de movimentação, é necessário calcular-se também as posições dos centros de gravidade das nuvens. Se o valor de N entre 2 detecções é constante e se, além disso, a posição do centro de gravidade não se alterou, pode-se afirmar que

não houve movimento do material.

No caso de haver movimento, pode ser demonstrado que é possível calcular-se o valor da espessura média de transporte E , a partir da expressão:

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

f_0 e α são parâmetros de calibração da sonda de detecção, determinados em laboratório e A é a atividade injetada.

A partir das posições sucessivas dos centros de gravidade da nuvem, pode-se calcular a velocidade média de movimentação do traçador, V_m . Sendo ρ a densidade do material do fundo, a vazão sólida é dada por

$$Q = \rho V_m L E,$$

onde L é a largura da faixa em que há transporte de material.

Apesar da metodologia para a análise da movimentação de sedimento em fundos estar bem estabelecida, a sua aplicação, na prática, apresenta várias dificuldades. Estas devem ser resolvidas caso por caso, a partir da experiência acumulada em trabalhos anteriores. A sua aplicação indiscriminada, sem a análise das peculiaridades de cada caso, poderá fornecer resultados não confiáveis ou inteiramente errados. Este é um dos motivos para se evitar que a análise

se seja feita inteiramente em computador, o que não apresenta nenhuma dificuldade técnica, mas limita grandemente a interferência do especialista na interpretação dos resultados.

IV. O TRABALHO DE CAMPO EM MARÇO E MAIO DE 1977

A primeira campanha de medidas da movimentação de sedimento de fundo, em regime de verão, no porto de Recife iniciou-se no dia 15 de março e terminou em 8 de abril. Neste intervalo, foi feita uma injeção de sedimento no fundo em 24/03, a qual é analisada neste relatório e 3 injeções de sedimento em suspensão, nos dias 30/03 e 02/04 e 03/04. Após a chegada em Recife, equipou-se o barco que foi utilizado no trabalho: era o lagosteiro "São Paulo", com cerca de 14m de comprimento e 3m de boca, pertencente à Norte Pesca S.A. Os primeiros dias de trabalho foram dedicados a um levantamento cuidadoso do ruído de fundo natural, delimitando-se as regiões com presença de areia e de vasa. Além disso, os obstáculos existentes no fundo tiveram suas posições marcadas na carta de navegação. A região de trabalho foi escolhida com base nestas informações, sendo escolhido um local com fundo em areia, afastado das regiões de vasa e com poucos obstáculos ao deslizamento da sonda. O ponto de injeção aparece na Fig. 2, na qual está também representada a área de trabalho.

O traçador utilizado foi vidro moído marcado com irídio 192, o qual foi misturado com vasa imediatamente antes da injeção. O equipamento de injeção é o mesmo que foi utilizado na injeção em regime de inverno, Fig. 3. Trata-se de um cilindro, no qual é colocada a mistura vasaradioisótopo, provido de um pistão acionado por uma bomba aspirante-premente manual. Um sistema de pré-vedação mantém a mistura no interior do cilindro, durante o transporte do material até o local da injeção. Ao ser atingido o

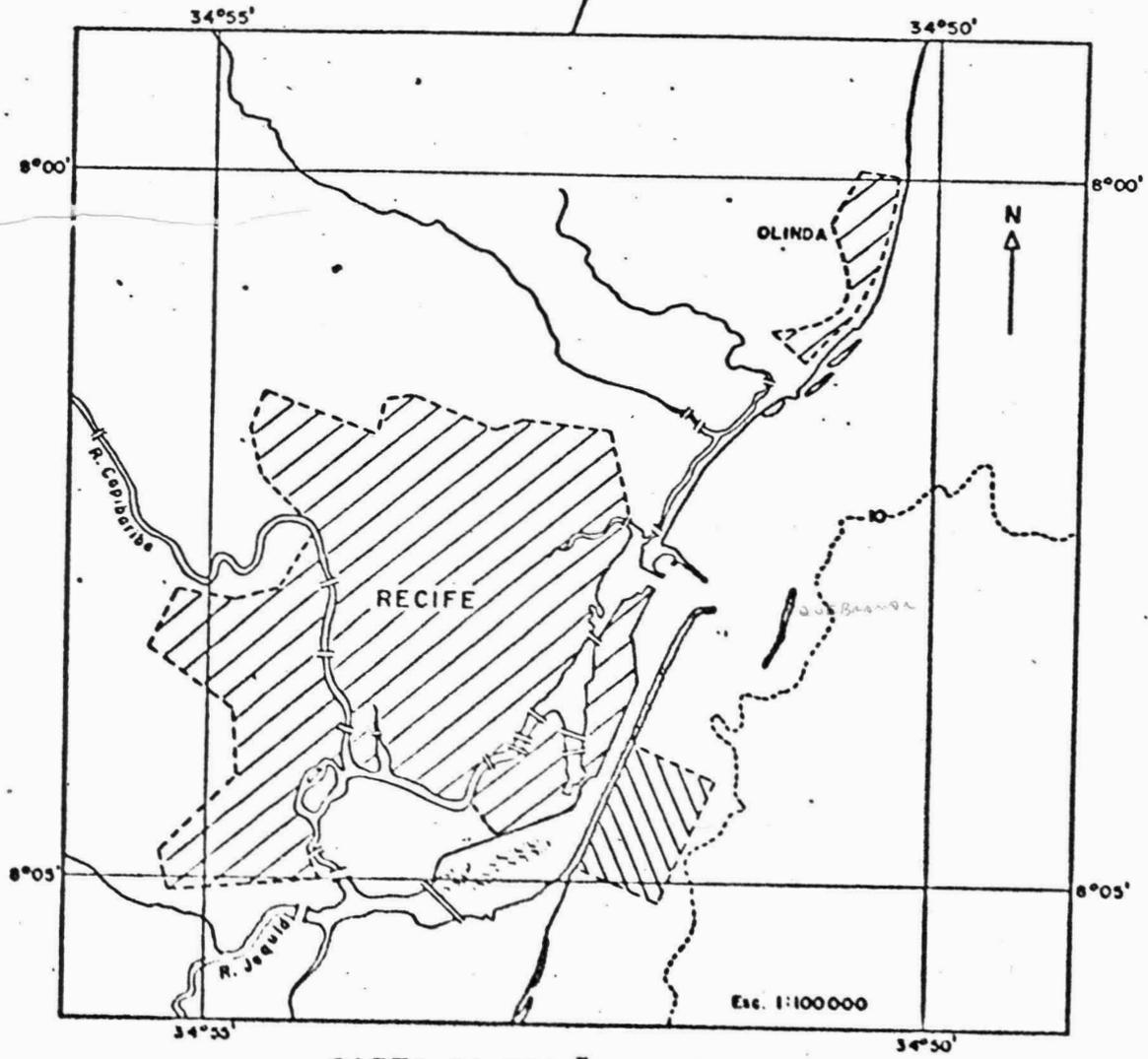
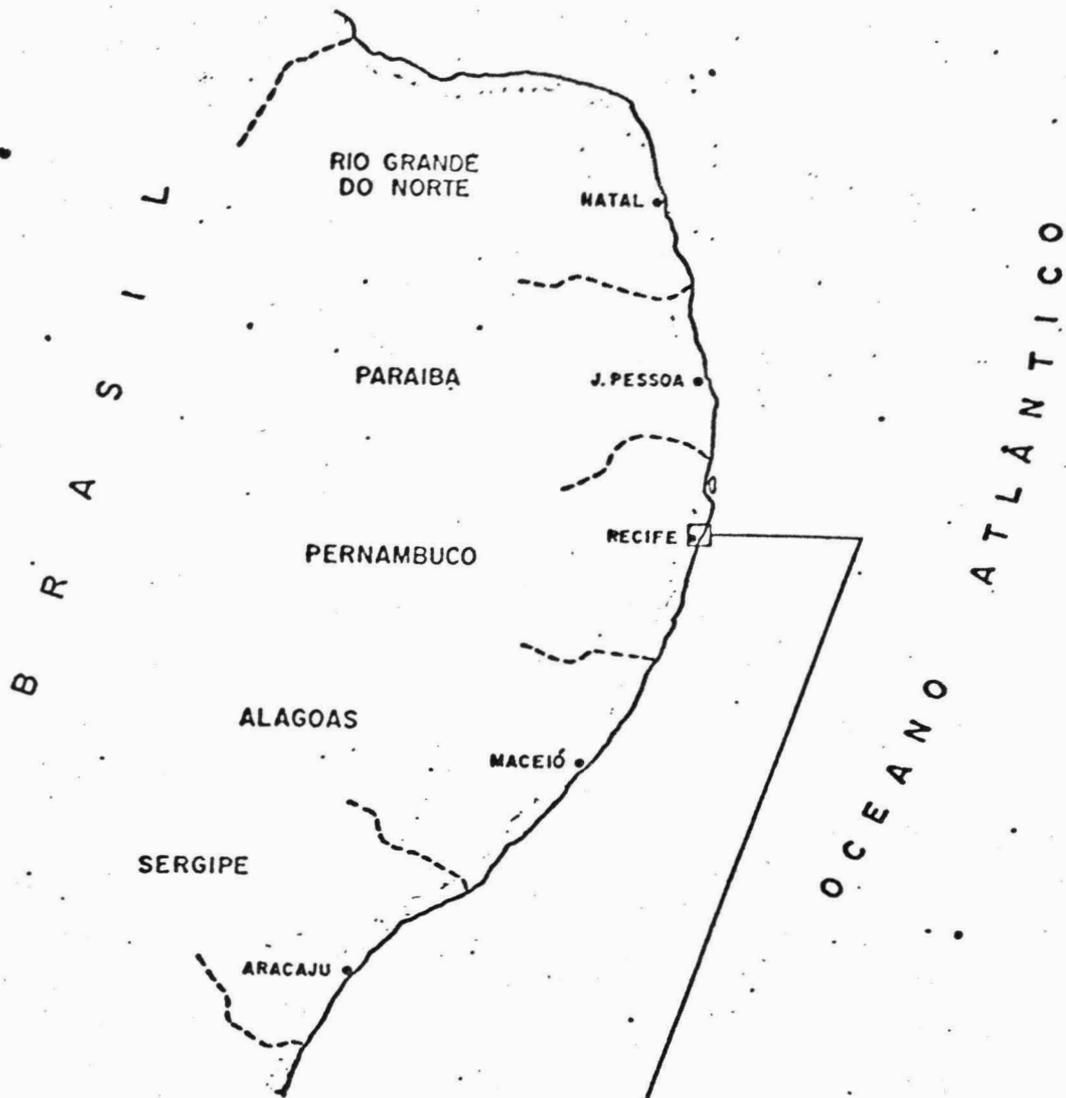
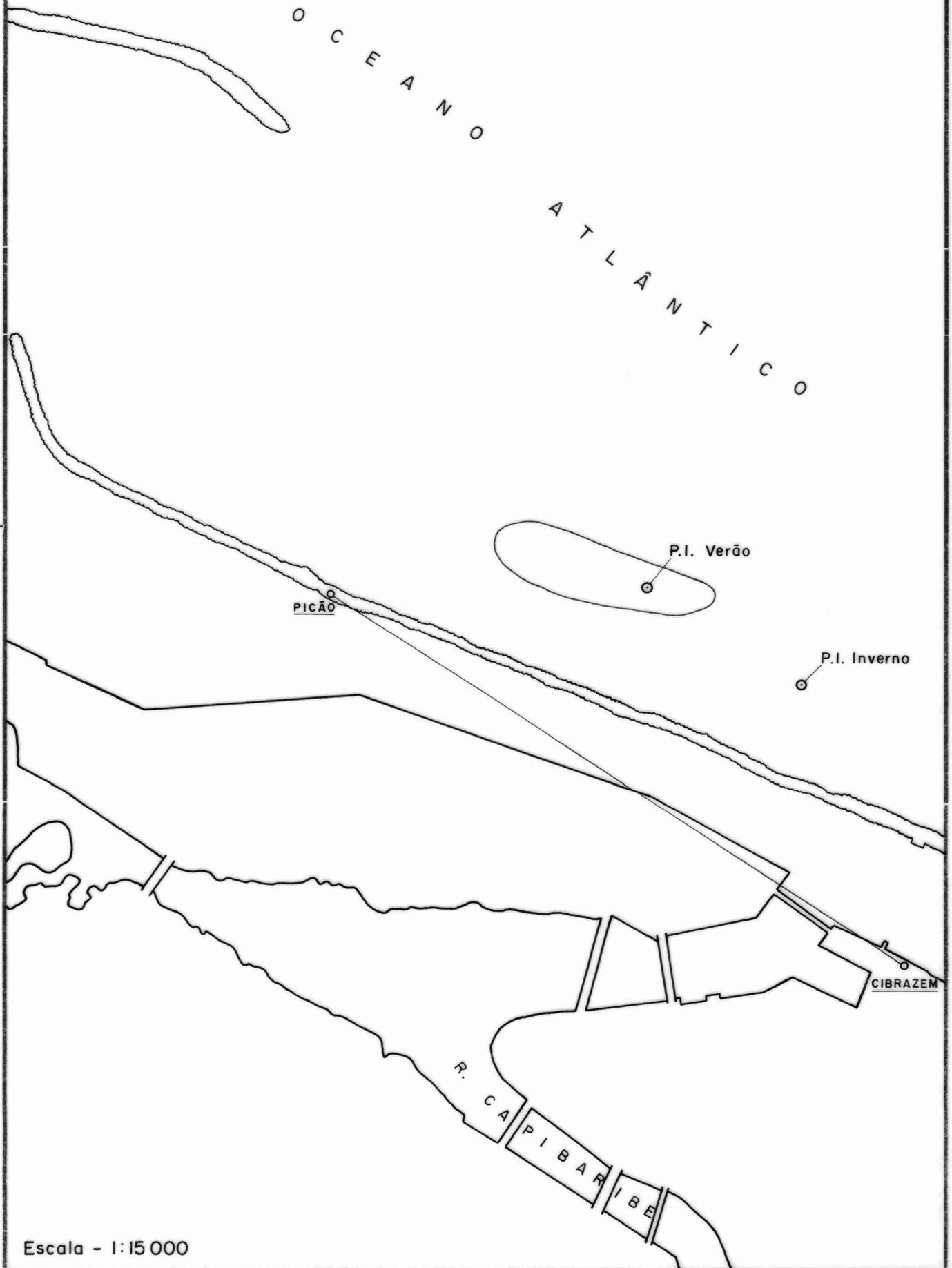




FIG. 2
LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE INJEÇÃO



ponto de injeção, o barco é ancorado, e o cilindro, juntamente com a campanula de proteção, é descido ao fundo. A ciona-se então a bomba, a qual produz o rompimento do selo de pre-vedação e expulsa o material do cilindro. A campanula impede que o material injetado sofra a ação das correntes locais imediatamente após a injeção. Após um tempo julgado suficiente para que o material injetado se deposite no fundo, a campanula é cuidadosamente retirada: a injeção está completa. A injeção foi realizada no dia 24 de março de 1977, sendo a campanula retirada às 13 horas, aproximadamente. A maré era de quadratura e, no momento da retirada da campanula, estava-se em baixamar, com mar calmo. Imediatamente após a injeção, foi realizada uma detecção preliminar, para verificar a sua qualidade. Determinou-se que o material estava concentrado na região do ponto de injeção, como era desejado. No dia seguinte, 25 de março, realizou-se a la. detecção completa da nuvem radioativa. O equipamento utilizado nesta (e nas outras) detecções foi o habitual, já exaustivamente testado em trabalhos de campo. Foram utilizados:

- . Sonda de detecção SRAT, tipo SPP3
- . Contadores de impulsos Hewlett Packard
- . Registradores Moseley
- . Impressoras Hewlett Packard

O conjunto era alimentado por um gerador a gasolina Honda, cujo controle era feito a partir de um quadro contendo um voltímetro, um amperímetro e um frequencímetro. A localização do barco durante a detecção era feita

por 2 teodolitos, localizados no Farol de Recife e na Ci
brazem, em pontos de coordenadas UTM:

BASES	Coordenada N	Coordenada E
Farol de Recife	9 108 836,26	294 606,01
Cibrazem	9 107 115,02	293 500,26

A comunicação entre os teodolitos e o barco, ne
cessária para as correções de trajetória, era feita por
radio-transmissores portáteis, operando na Faixa do Cida
dão, sob o prefixo PX7-0447.

Nesta primeira campanha, foram realizadas 3 de
tecções, nos dias 25, 26 e 29 de março. Uma segunda cam
nha foi realizada no final de maio, constando de uma unica
detecção, realizada nos dias 27 e 28. Portanto, o traba
lho foi iniciado em regime de verão e terminado no início
do período de inverno, pelo menos em teoria. A verifica
ção do regime reinante será apresentada na análise hidrâ
lica global do Porto de Recife, que será objeto de um rela
tório separado.

V. ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

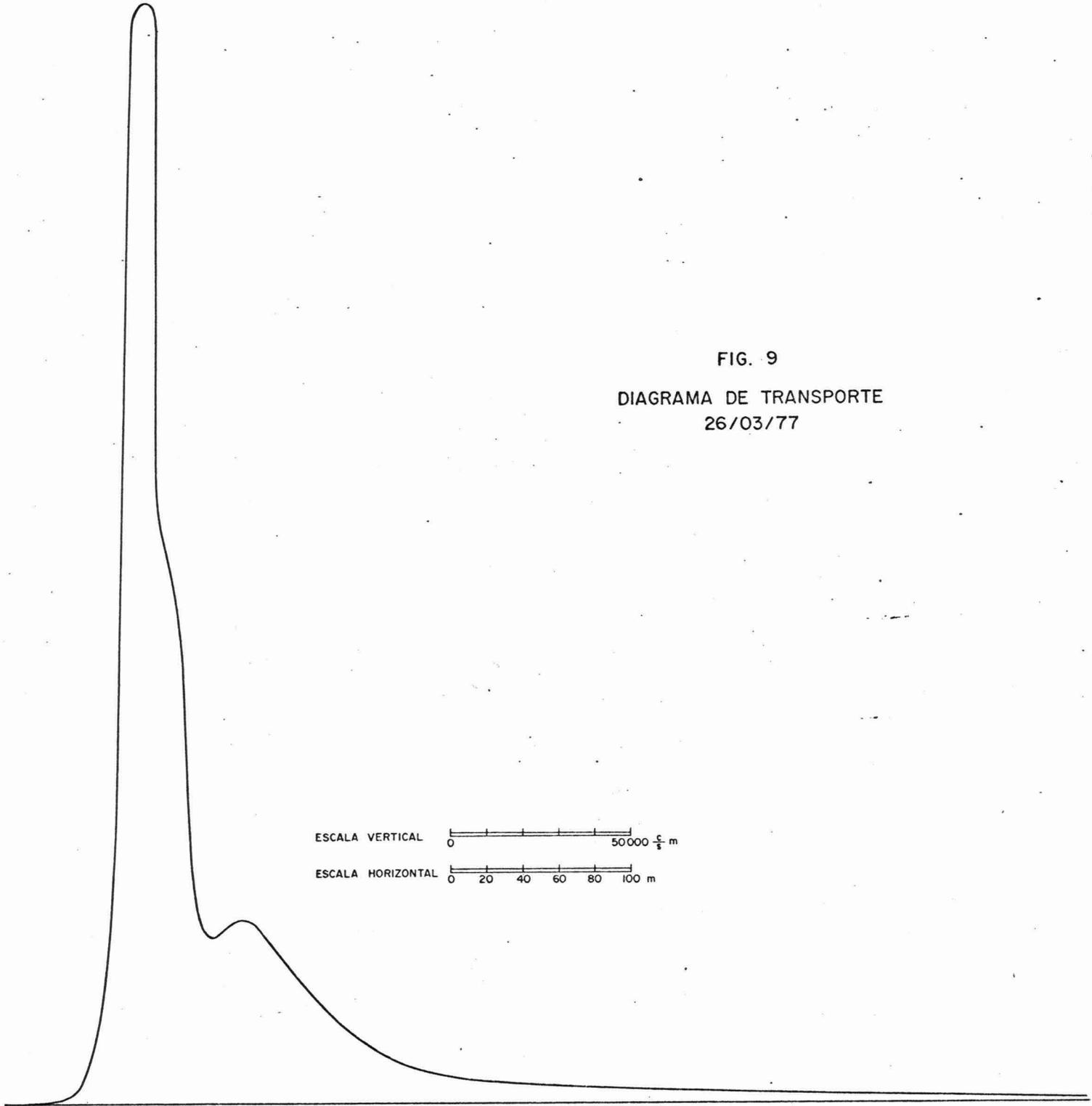
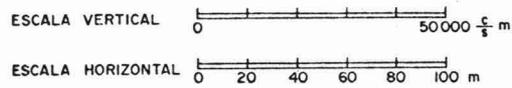
V.1. A campanha de Março de 1977.

Esta campanha constou de tres detecções, realizadas nos dias 25, 26 e 29 de março, todas de boa qualidade: o fundo era relativamente limpo e o mar manteve-se calmo durante o trabalho. Os dados obtidos foram analisados com o uso de uma calculadora programável de mesa Hewlett Packard 9820, alimentada por fita perfurada.

As curvas de isocontagem correspondentes às 3 detecções são apresentadas nas figuras 4, 5 e 6. Sempre que é feita uma injeção de traçador radioativo no fundo, há uma acomodação inicial do material nas primeiras horas que seguem a injeção. A partir daí, o movimento entra em regime. Por isso, considera-se sempre como origem dos tempos o dia da primeira detecção. Todas as comparações posteriores sobre o comportamento da nuvem radioativa são feitas com base na detecção inicial.

A observação das 3 detecções mostra que a distribuição inicial do material fez-se para NNE, fazendo um angulo de cerca de 20° com a direção N, ou seja, o deslocamento foi praticamente paralelo ao recife. A nuvem tem dimensões aproximadas de 600m de comprimento por 180m de largura. A observação visual das 3 nuvens indica que a variação observada nas curvas de isocontagem foi pequena, no período experimental. Pequenas diferenças entre as curvas são inerentes à técnica de detecção. Pode-se, entretanto,

FIG. 9
DIAGRAMA DE TRANSPORTE
26/03/77



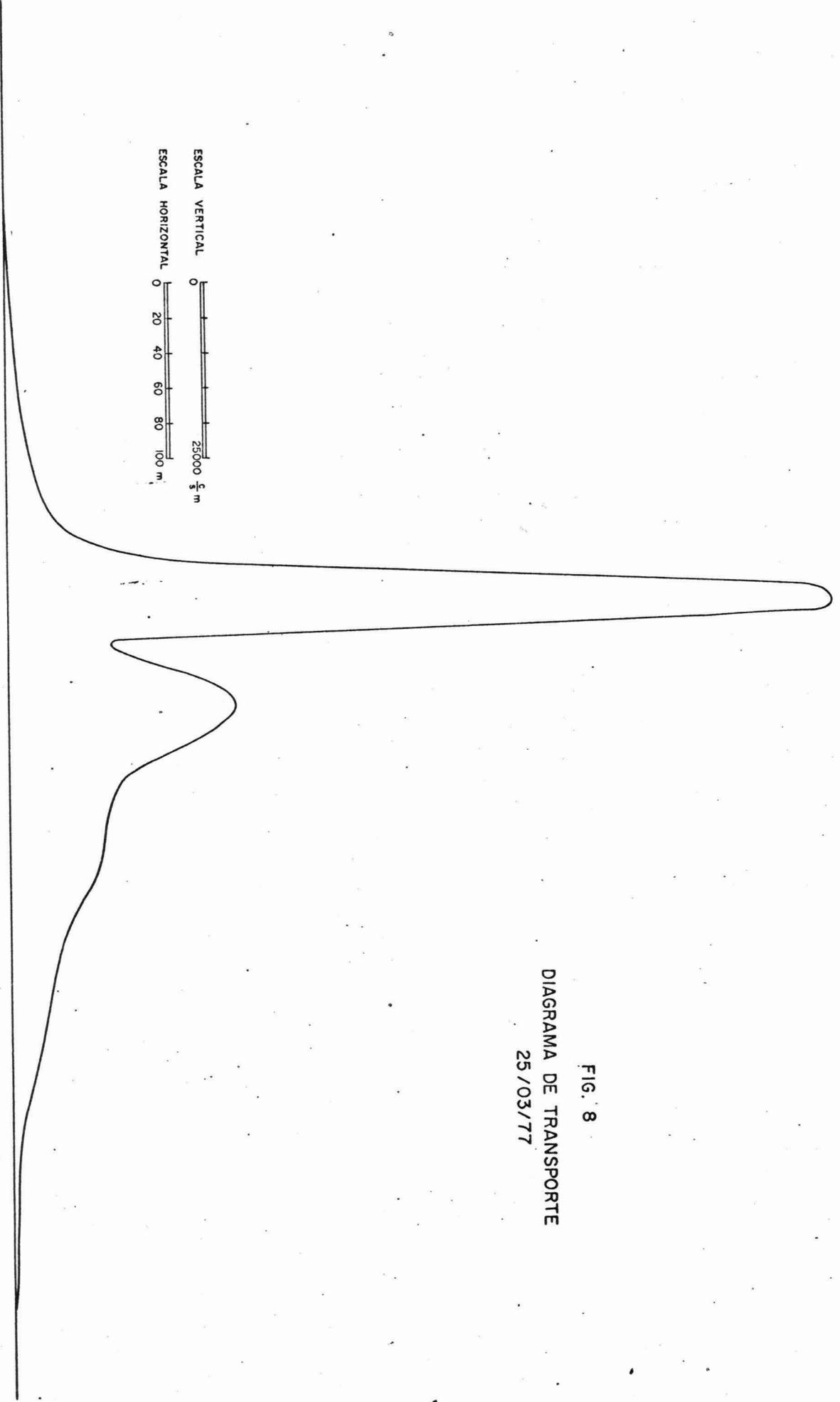


FIG. 8
DIAGRAMA DE TRANSPORTE
25/03/77

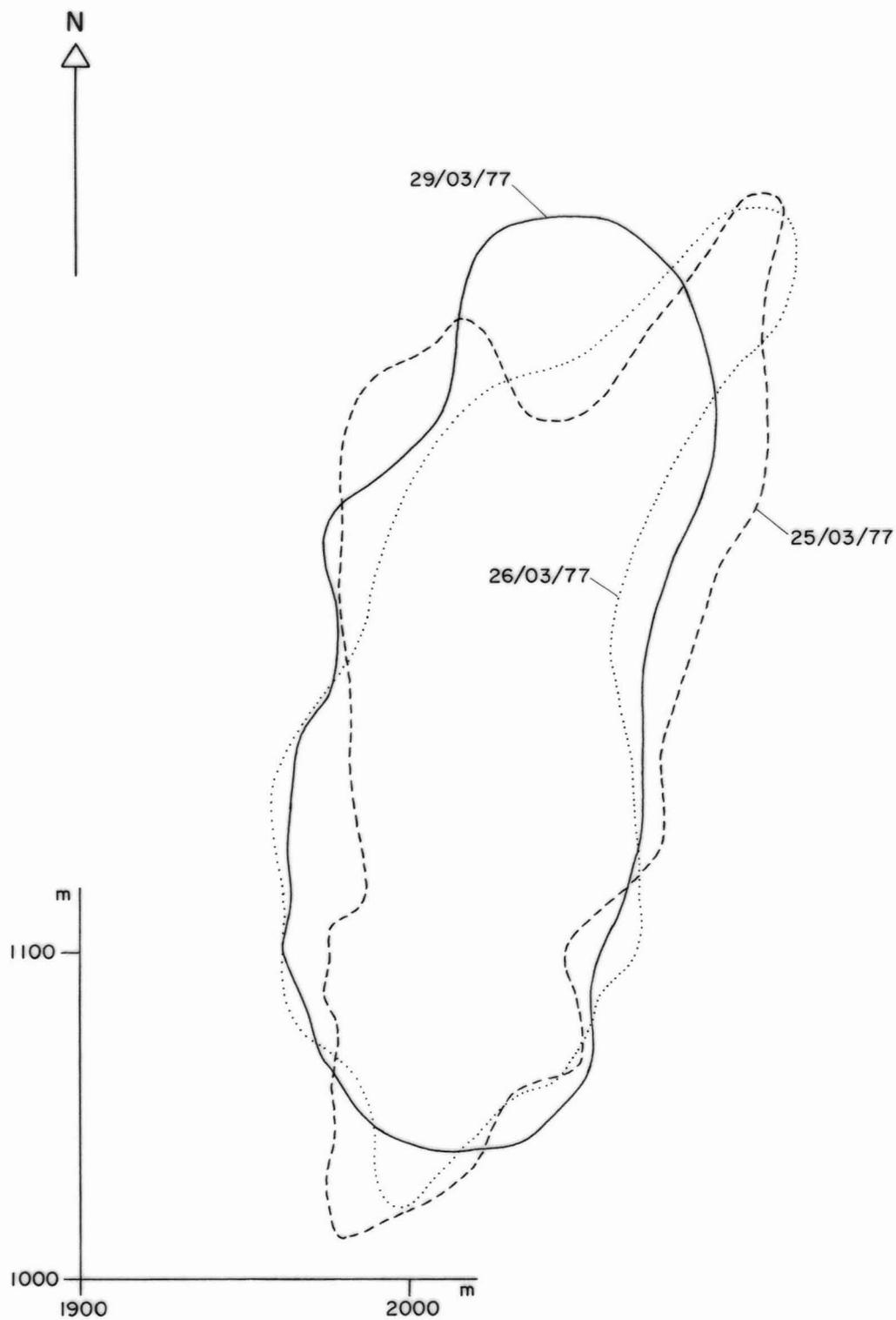


FIG. 7
EVOLUÇÃO DA CURVA DE 150 c/s COM O TEMPO
MARÇO/1977

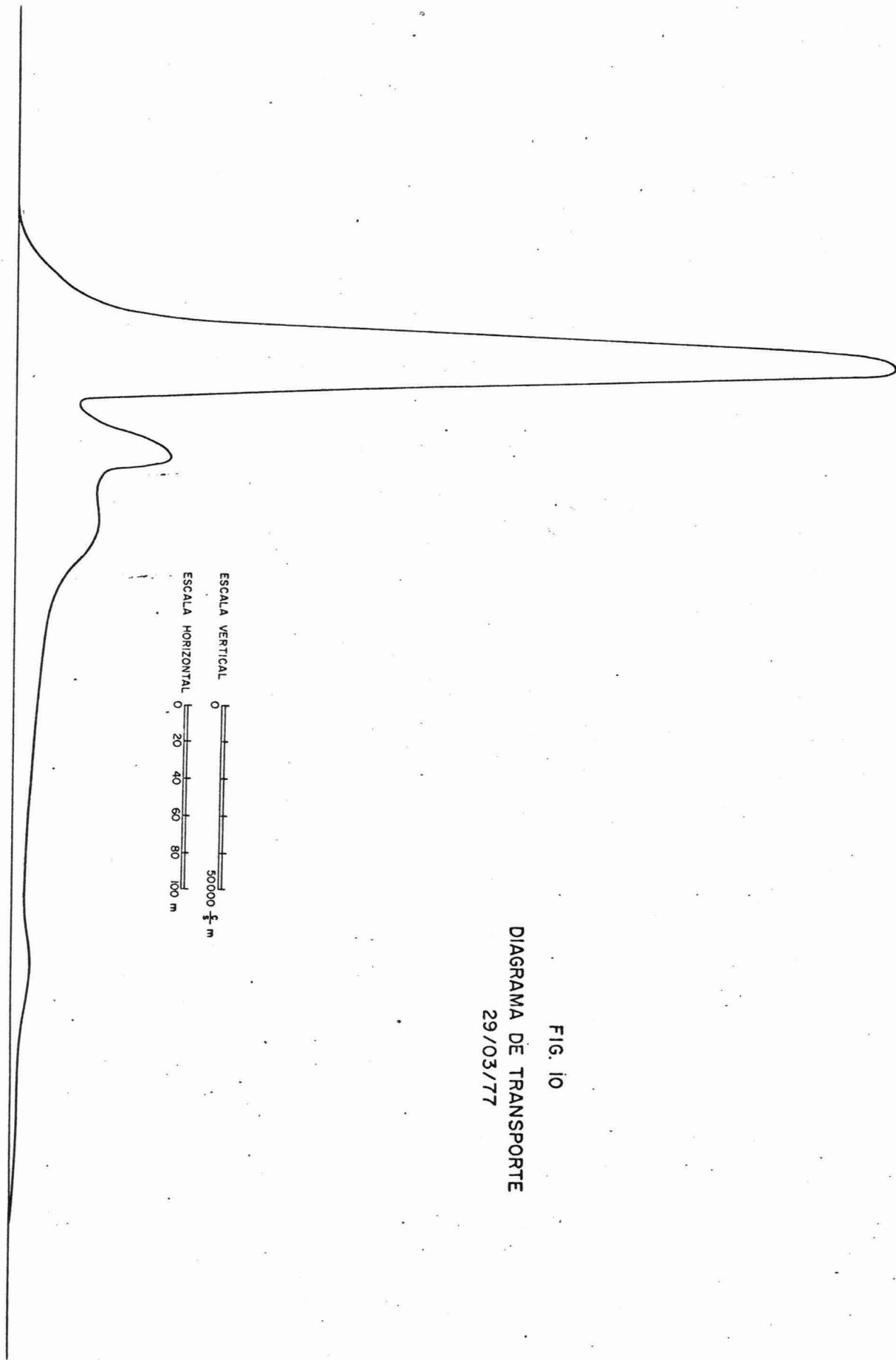


FIG. 10
DIAGRAMA DE TRANSPORTE
29/03/77

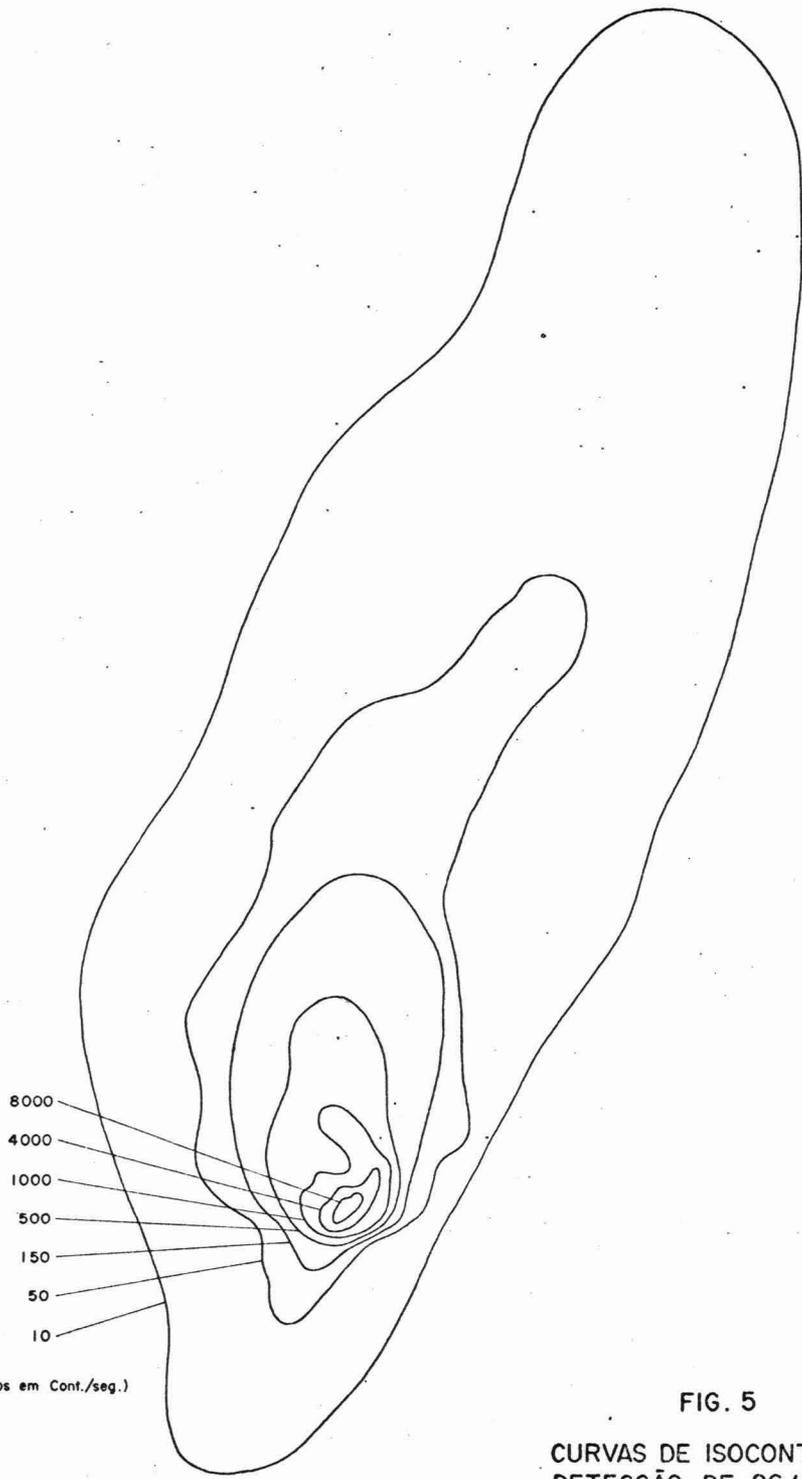
verificar que as variações não foram grandes observando a Fig. 7, na qual aparece a evolução da curva correspondente à taxa de 150c/s no tempo.

As regiões nas quais as contagens são maiores que 150c/s podem ser calculadas simplesmente medindo-se as áreas das curvas da Fig. 7. Obtêm-se o quadro abaixo

Dia	Área (m ²)	% em relação à média	desvio em relação à média
25/03	24920	104	+4
26/03	22320	93	-7
29/03	24800	103	+3

Conclui-se que praticamente não houve variação, pois as áreas dos dias 25/03 e 29/03 são praticamente as mesmas. O valor inferior observado em 26/03 deve, pois, ser atribuído a uma detecção imperfeita da região que contém a curva de 150c/s.

Esta observação é uma indicação de que o movimento do traçador no período experimental não foi grande. Estes resultados podem ser confirmados pela análise dos diagramas de transporte correspondentes às 3 detecções, os quais são apresentados nas Figuras 8, 9 e 10. As curvas destes diagramas representam a distribuição do traçador ao



(Dados em Cont./seg.)

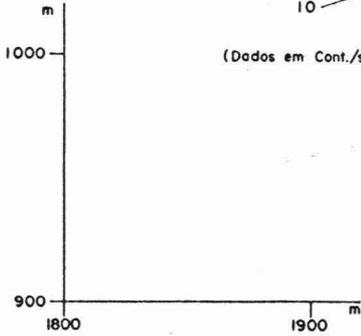


FIG. 5
CURVAS DE ISOCONTAGEM
DETECÇÃO DE 26/03/77

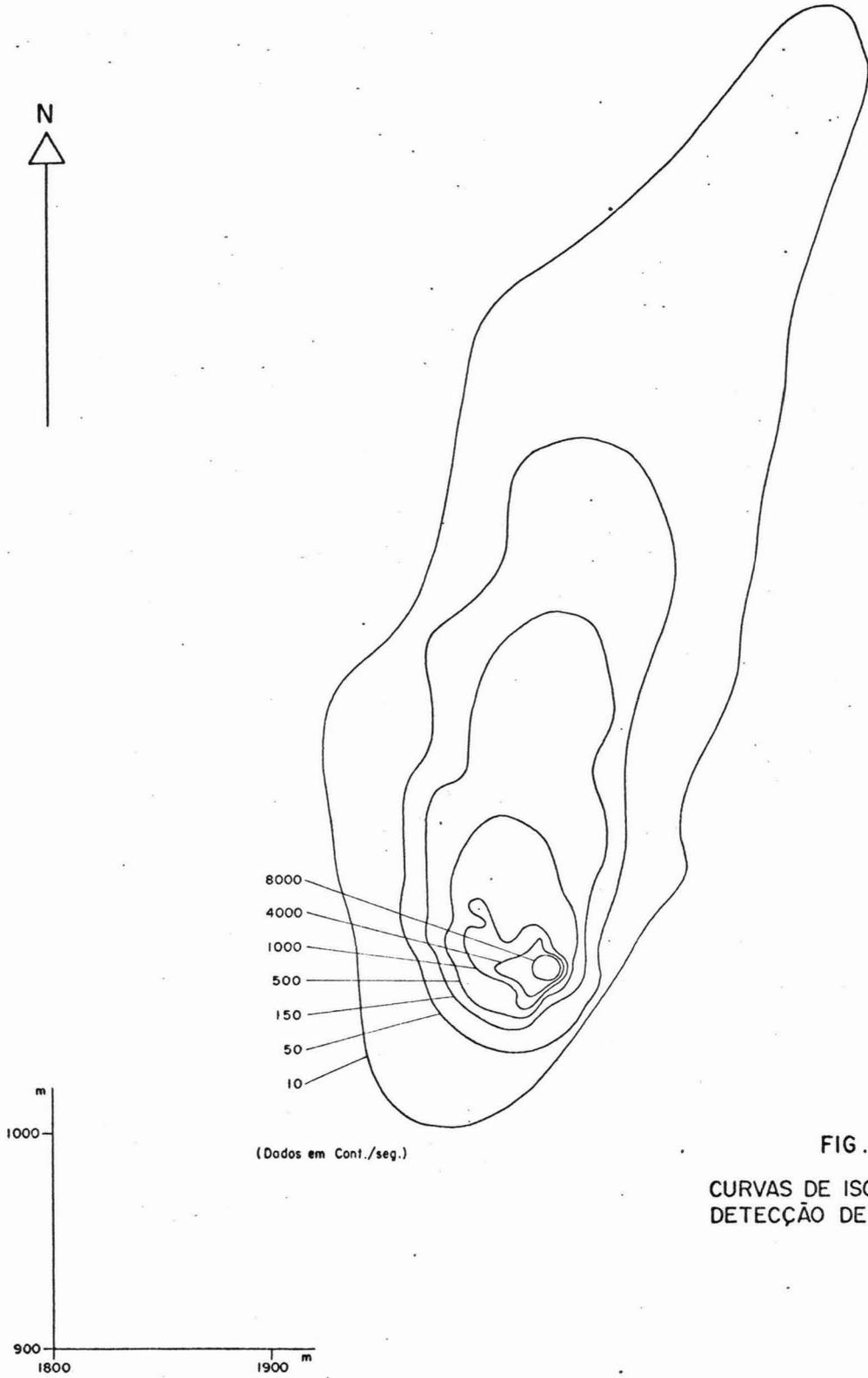


FIG. 6
CURVAS DE ISOCONTAGEM
DETECÇÃO DE 29/03/77

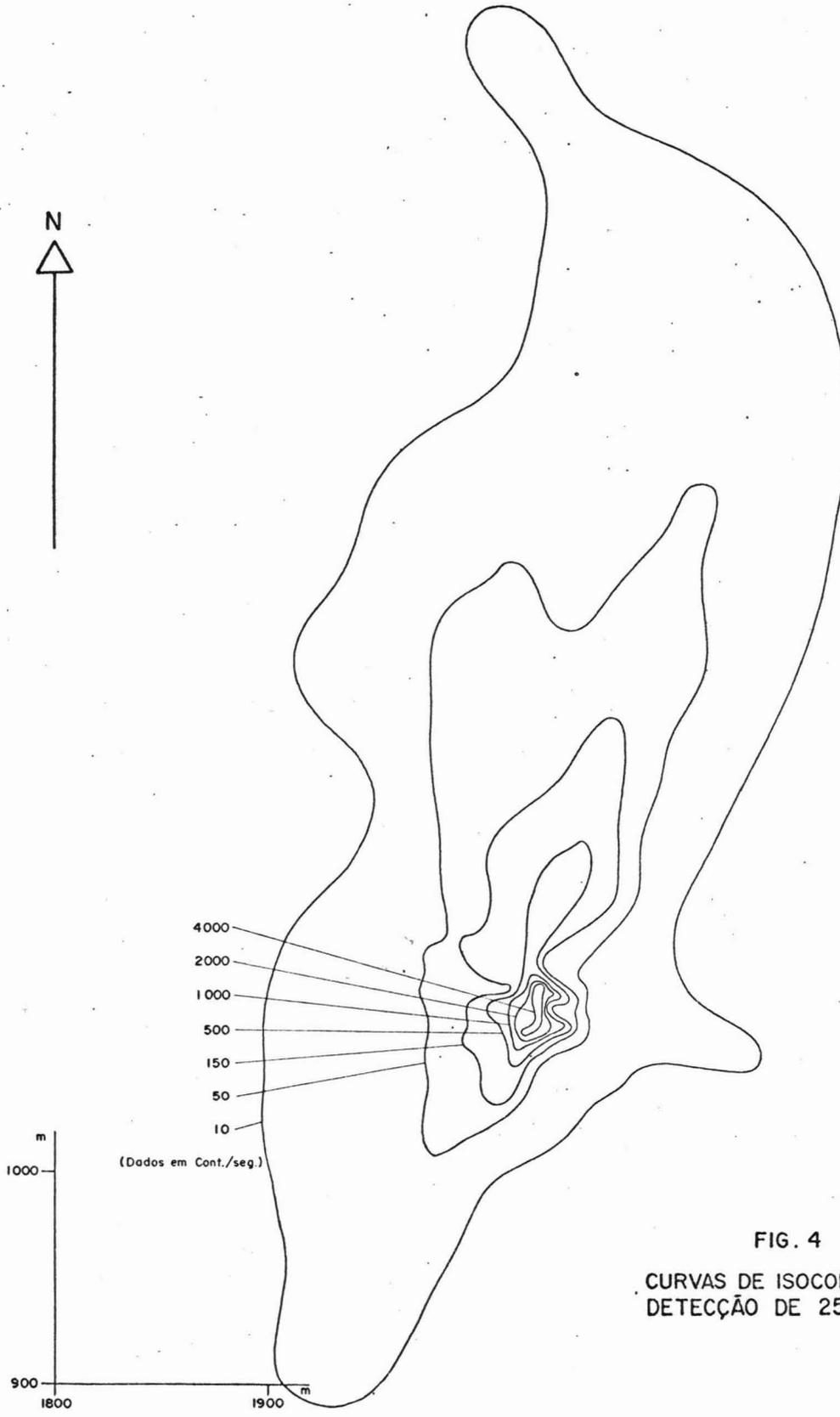
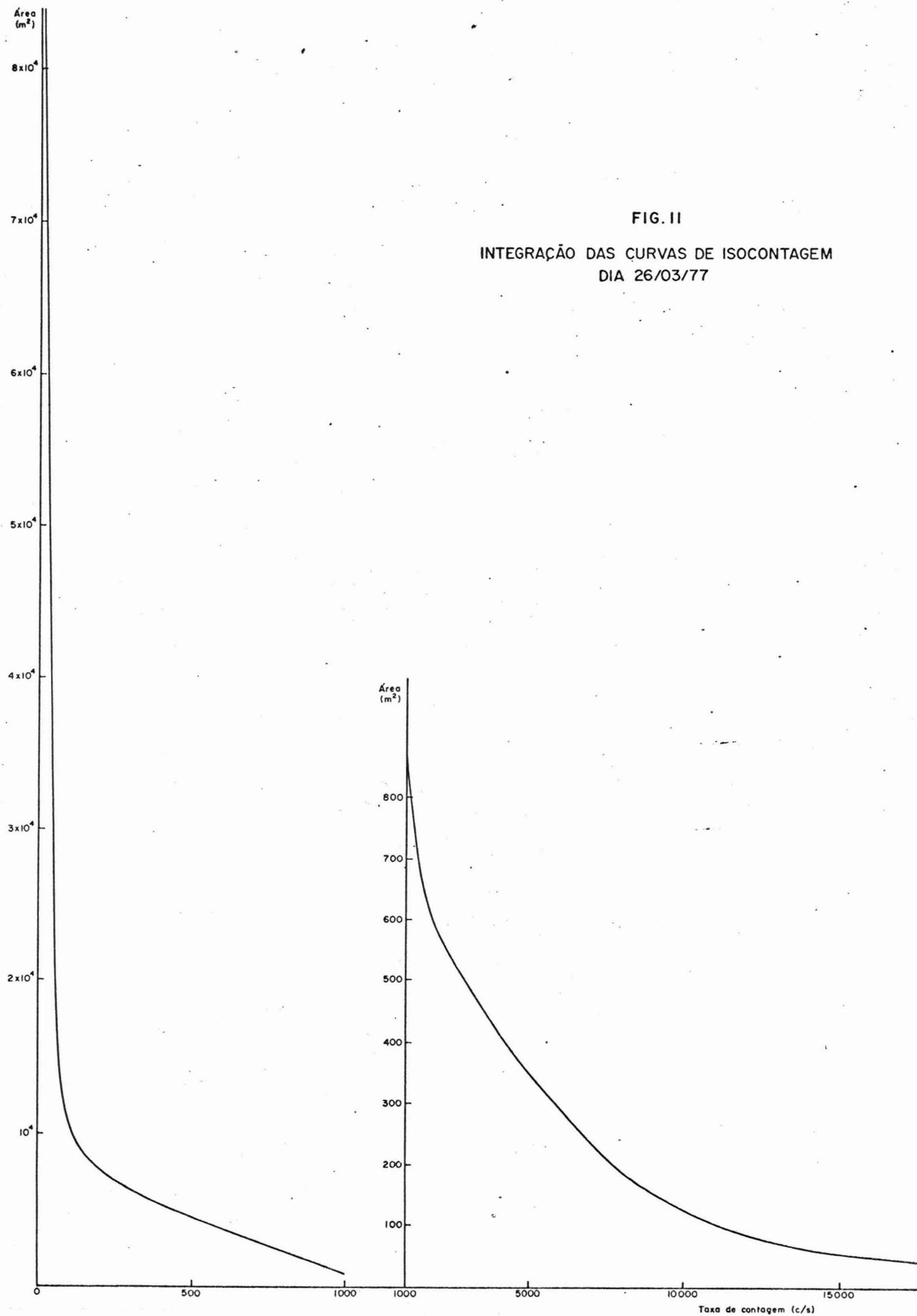


FIG. 4
CURVAS DE ISOCONTAGEM
DETECÇÃO DE 25/03/77

FIG. II
INTEGRAÇÃO DAS CURVAS DE ISOCONTAGEM
DIA 26/03/77



longo da direção de transporte e as suas áreas representam a quantidade de material radioativo recuperado (a menos de uma constante f_0). Valores semelhantes para estas áreas indicam recuperações semelhantes. As recuperações N obtidas são apresentadas no quadro abaixo

Dia	$N(c/s \times m^2)$	% em relação a 29/03
25/03	$6,99 \times 10^6$	58
26/03	$1,16 \times 10^7$	96
29/03	$1,21 \times 10^7$	100

Como não existe nenhum processo capaz de concentrar material radioativo, o valor encontrado para o dia 25/03 não pode ser inferior aos dos dias posteriores. O valor mais baixo de 25/03 deve-se a um problema de detecção: neste dia, não se conseguiu localizar com exatidão o local de maior atividade. Apesar da detecção ter sido extremamente cuidadosa, a região de contagem máxima está contida em uma área muito pequena e nem sempre se consegue que a sonda passe exatamente sobre ela. Foi o que ocorreu neste caso: nas detecções dos dias 26 e 29 de março, o valor de contagem obtido no pico foi bem maior que o conseguido no dia 25. Os valores de recuperação a considerar são, portanto, os correspondentes às duas últimas detecções.

Outro dado importante refere-se à quantidade do material radioativo contido na região de maior atividade do diagrama de transporte. Esta região foi definida arbitrariamente como sendo a correspondente a uma faixa de 30m, de um e de outro lado do pico. Sem levar em conta o dia 25/03, pelos motivos expostos acima, obtém-se que, nos dias 26/03 e 29/03, 65% e 63% do material radioativo estão contidos na região do pico. Não houve, portanto, nenhuma variação apreciável na quantidade de material sob o pico.

Consideremos agora as posições dos centros de gravidade das nuvens radioativas nas 3 detecções. Este dado é fornecido também pelo programa de análise utilizado. As coordenadas dos centros de gravidade são apresentadas no quadro abaixo, referidos a um sistema cartesiano, cujos eixos tem as direções N e E, com origem no Farol do Picão, sendo as coordenadas da origem (2000, 2000).

Data	Y_G	Y_G
25/03	2023	1094
26/03	2019	1089
29/03	2020	1096

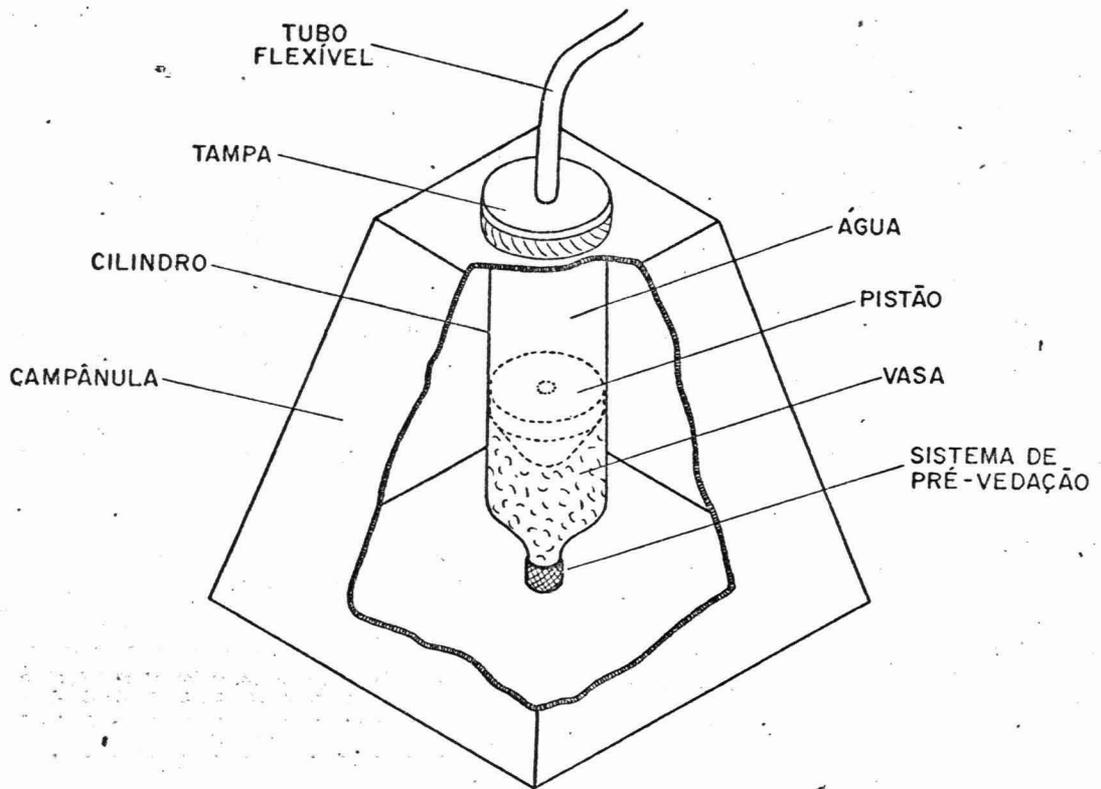
Devido à grande concentração de material na região do pico, os centros de gravidade estão situados bem próximos à região de maior atividade, como pode ser verificado nas Figuras 4, 5 e 6. Uma observação do quadro ante

rior mostra que os centros de gravidade das 3 detecções estão praticamente no mesmo ponto: a maior distância entre um par de centros de gravidade é de 7m.

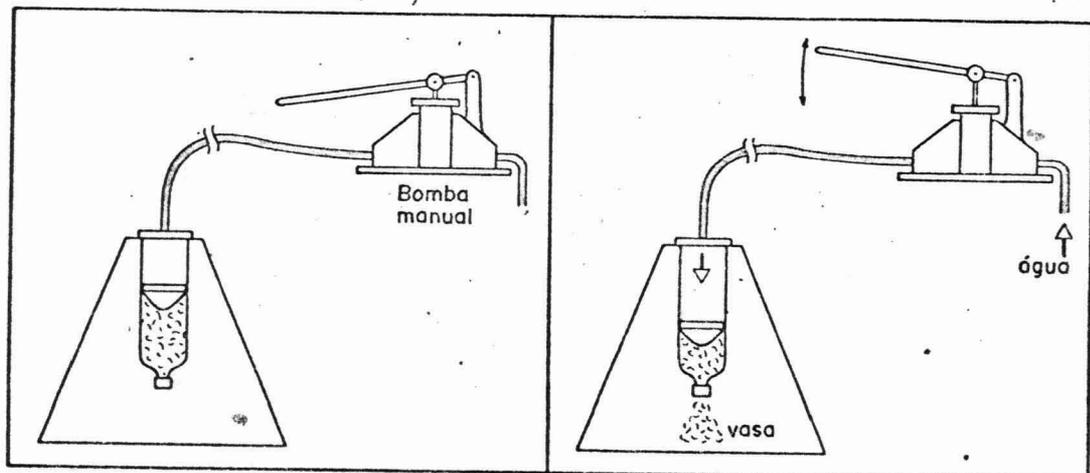
Temos, portanto, o seguinte conjunto de observações:

- a) A forma das curvas de isocontagem manteve-se quase constante no período experimental.
- b) Os valores das recuperações de atividade em 26/03 e 29/03 foram praticamente constantes.
- c) A porcentagem de material na região do pico manteve-se constante nos dias 26/03 e 29/03.
- d) A posição dos centros de gravidade das 3 núvens praticamente não se alterou no período experimental.

Pode-se, portanto, concluir que, durante a campanha de detecções realizada no mês de março, não houve movimentação do material injetado no fundo, após a sua distribuição inicial, a qual ocorre imediatamente após a injeção. Trata-se de um resultado coerente com a combinação de tempos de observação curtos e ações hidráulicas pouco intensas do período experimental. Não tendo havido movimentação neste período de observação, torna-se clara a necessidade de uma nova campanha de detecção após ter decorrido um intervalo de tempo mais longo. Esta campanha foi realizada no final de maio de 1977.



SISTEMA DE INJEÇÃO



Esquema de funcionamento

Ainda com referência à campanha de março, realizou-se uma análise independente do dia 26/03, pelo método de medição direta das áreas contidas no interior das curvas de isocontagem. Os valores destas áreas são lançados em um gráfico contra o valor da taxa de contagem correspondente, Fig. 11. A área deste gráfico fornece a recuperação N correspondente ao dia 26/03, encontrando-se um valor de $N = 1,17 \times 10^7 \frac{c}{s} \times m^2$. Ficou, assim demonstrado que o método de análise a partir das curvas de isocontagem e o método que emprega o diagrama de transporte são ambos confiáveis.

V.2. A campanha de Maio de 1977.

A parte final do trabalho descrito neste relatório constituiu-se de uma única detecção, realizada nos dias 27 e 28 de maio de 1977. A sua característica principal foi a grande dispersão apresentada pelo material injetado após o término dos trabalhos de março. Em maio, o traçador apresentou-se distribuído em uma grande área e de modo descontínuo, ou seja, foram detectadas diversas nuvens radioativas isoladas em uma região bastante extensa. Esta característica dificultou grandemente a detecção, pois, quando se trabalha sobre uma nuvem contínua, é fácil determinar-se qual a região que deve ser coberta. No caso de espalhamento descontínuo, o navegador não tem indicações para definir o início e o fim da área de trabalho. Além disso, o navegador também não conhece a importância de cada nuvem, o que dificulta a determinação do espaçamento das linhas de navegação: elas devem ser mais próximas em

regiões de alta atividade e mais espalhadas nas regiões de menor concentração de material radioativo. Finalmente, no período experimental aqui analisado, as condições de mar já eram bem mais difíceis do que as observadas em março, o que é mais uma dificuldade para a realização de linhas retilíneas e paralelas entre si.

Em vista deste conjunto de observações, não se poderia esperar que a qualidade da detecção de maio fosse equivalente à das realizadas em março. A cobertura da região ativa foi bem realizada, havendo linhas em número suficiente para definir razoavelmente as nuvens encontradas. As linhas de navegação, porém, não são suficientemente retilíneas e paralelas para se adotar o mesmo processo de cálculo que foi utilizado em março. Num caso como este, a análise deve ser feita a partir das curvas de isoconcentração, obtendo-se os resultados quantitativos a partir da medição das áreas contidas no interior de cada curva, como foi exposto no Capítulo III deste relatório.

Devido à grande região pela qual se espalhou o material radioativo, apresentamos, na Fig. 12, um diagrama esquemático das curvas de isocontagem observadas. Uma análise delas mostra que a região de dispersão do traçador tinha um comprimento de quase 3000m, na direção paralela ao recife e de cerca de 800m, na direção perpendicular à anterior. A direção principal de espalhamento continuou sendo NNE, ou seja, praticamente paralela à barreira de recifes que protege o porto. Foi encontrada atividade inclusive na região de vasa que se constituiu sob a influência do quebramar do Banco Inglês. Entre o ponto de injeção e o

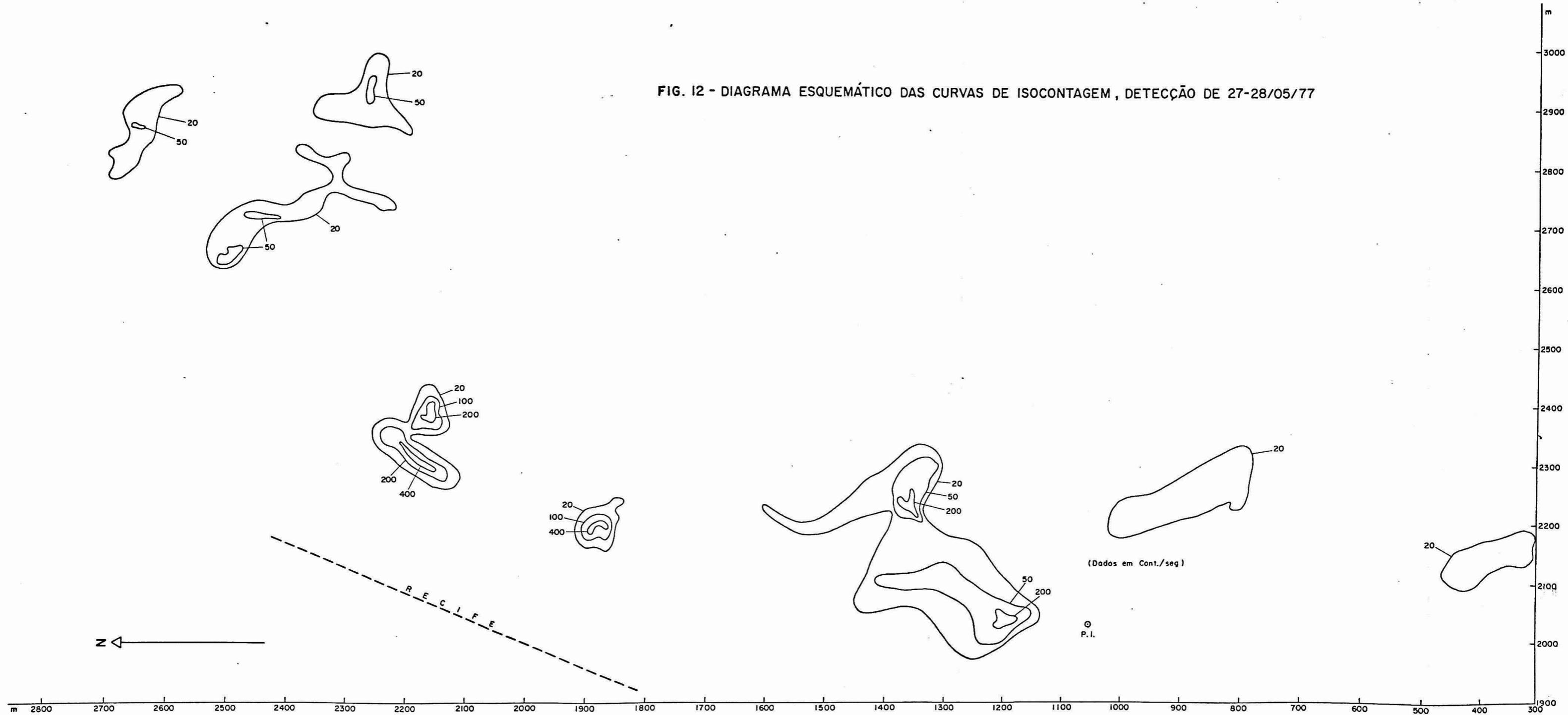


FIG. 12 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DAS CURVAS DE ISOCONTAGEM, DETECÇÃO DE 27-28/05/77

Banco Inglês, observa-se que o material inicialmente aproximou-se do recife, dirigindo-se mais para o largo na região de influência do quebramar. A partir do ponto de injeção para o sul, também foi encontrado algum material radioativo, porém em quantidade muito menor. Em todos os casos, as atividades encontradas foram relativamente baixas, o que parece indicar que, entre março e maio, parte do traçador se perdeu, provavelmente reentrando em suspensão. Esta hipótese é confirmada também pelo tipo de nuvens encontrado, que é característico de um movimento descontínuo pelo fundo: parte do material entra em suspensão e se deposita novamente em outra região. Caso houvesse ocorrido movimento por arraste, seria de se esperar a existência de uma nuvem contínua de traçador que se originasse na região do ponto de injeção.

Observa-se também que a nuvem principal, isto é, a nuvem que contém mais atividade, está localizada na região próxima ao ponto de injeção. Esta nuvem é apresentada na Fig. 13 e, mesmo sendo a mais importante das que foram detectadas, apresenta baixos valores de atividade.

Uma análise quantitativa foi feita a partir das Fig. 12 e 13. Mediram-se todas as áreas contidas no interior de cada uma das curvas de isocontagem e construiu-se um gráfico no qual estão representadas estas áreas contra as taxas de contagem correspondentes, Fig. 14. As duas curvas que aparecem referem-se uma ao conjunto de nuvens detectadas e outra à nuvem principal.

Medindo-se as áreas entre estas curvas e o eixo

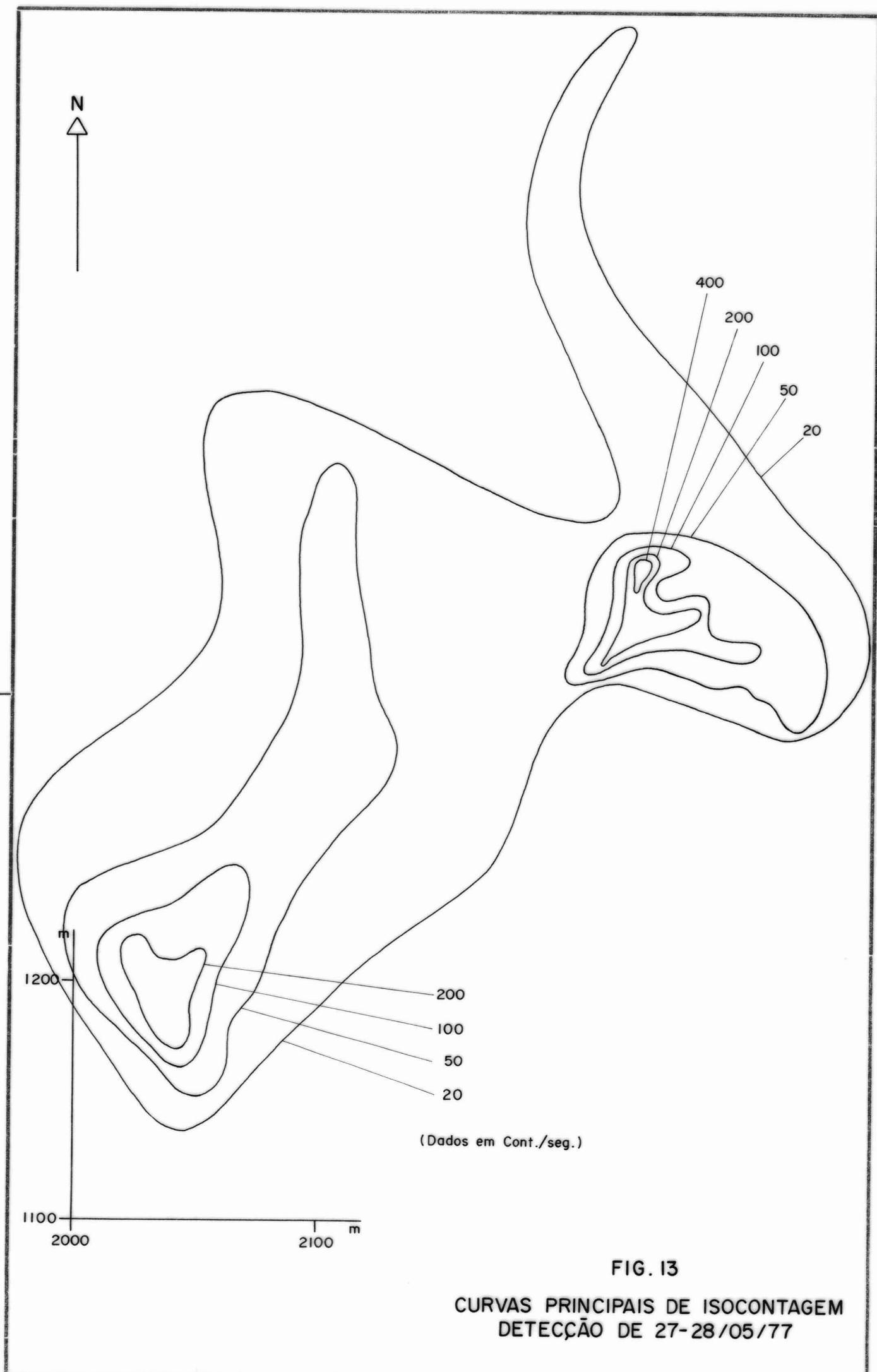


FIG. 13
CURVAS PRINCIPAIS DE ISOCONTAGEM
DETECÇÃO DE 27-28/05/77

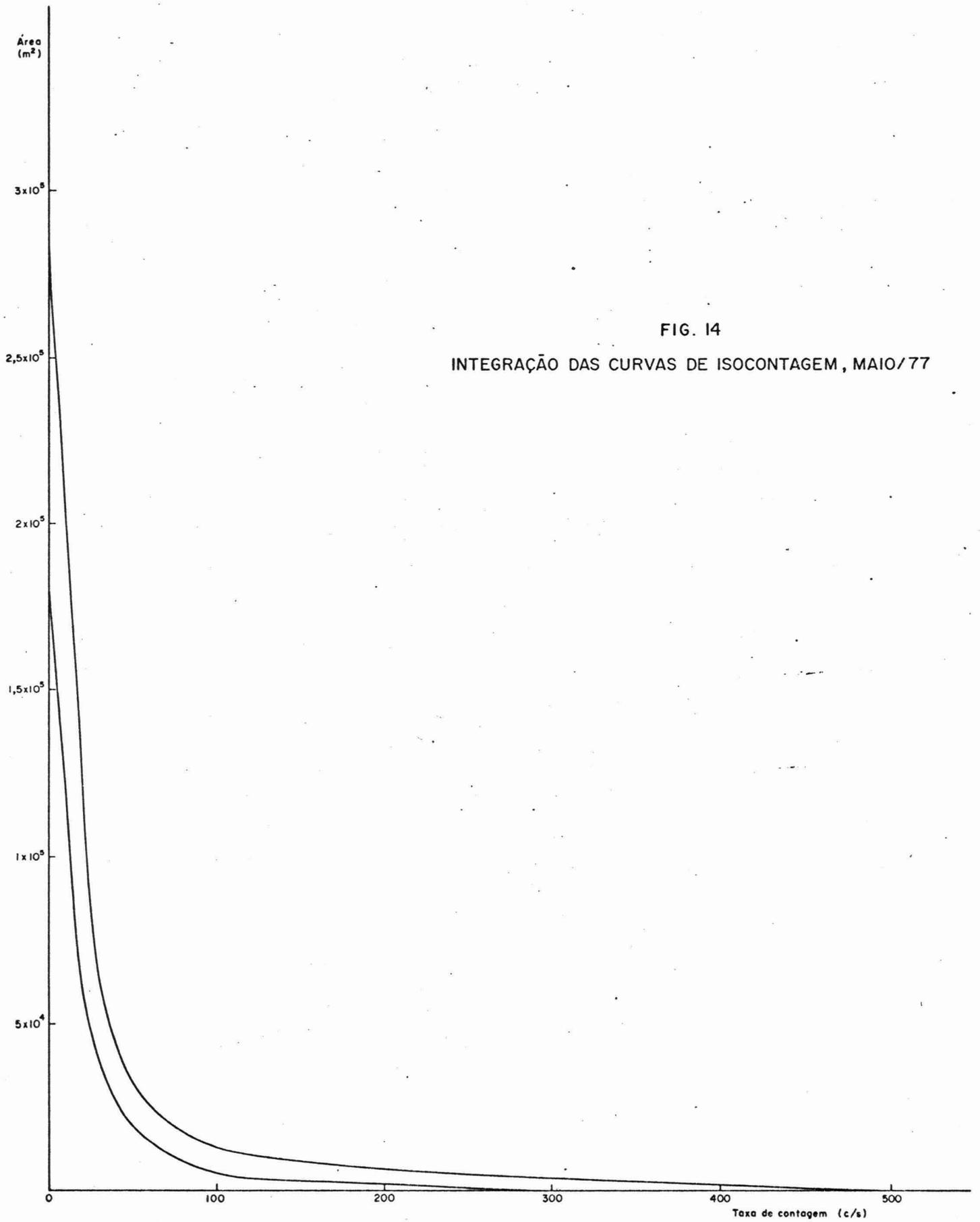


FIG. 14

INTEGRAÇÃO DAS CURVAS DE ISOCONTAGEM, MAIO/77

das taxas de contagem, obtém-se o valor de N , que é a recuperação do material radioativo, a menos de uma constante f_0 .

Para o conjunto total de nuvens, o valor de N foi de

$$N = 9,2 \times 10^5 \text{ c/s} \times \text{m}^2.$$

Comparando-se este valor com o encontrado para as detecções de março, que era de $1,2 \times 10^7 \frac{\text{c}}{\text{s}} \times \text{m}^2$, constata-se realmente que houve um desaparecimento considerável de material. O valor observado em maio corresponde a cerca de 10% do valor de março: 90% do material injetado se perderam.

O cálculo da área sob a curva referente à nuvem principal mostra que ela corresponde a 50% da área contida por todas as nuvens. Metade do material radioativo ainda existente em maio, encontra-se, portanto, na região do ponto de injeção.

Este conjunto de observações mostra que, no período entre março e maio, cerca de 90% do material se perderam. A direção principal de movimentação parece indicar que pelo menos parte deste material dirigiu-se para a região protegida pelo quebramar do Banco Inglês, que é uma área favorável à sua redeposição. Nos dados obtidos, não existem informações que permitam verificar se parte deste material dirigiu-se para o largo. Em vista dessas observa

ções, os resultados experimentais indicam a necessidade de se realizarem estudos na região sob influência do quebramar, na qual reinam condições hidráulicas diferentes das presentes na região ora em estudo.

necessidade de se realizarem estudos na região protegida pelo quebramar do Banco Inglês, com a finalidade de verificar

- a) se o material que a atinge tem tendência de nela se depositar, em vista da menor agitação lá reinante,
- b) se parte do material que a atinge pode ultrapassá-la e retornar à região portuária.

É também necessário que se realize uma análise dos dados sobre as ondas e correntes que ocorreram no período experimental, principalmente para verificar-se se houve nele uma transição de condições de verão para regime de inverno.

Já se havia verificado que, em condições de inverno, o material não permanecia no fundo [1]. Como o presente trabalho prolongou-se de março a maio, é necessário caracterizar se ele foi todo realizado em regime de verão ou se, no final, já prevaleciam condições de inverno.

De qualquer modo, pode-se concluir que, a longo prazo, o material depositado no fundo não permanece lá, havendo uma considerável perda causada pela reentrada em suspensão. Parte deste material em suspensão tem forte probabilidade de se dirigir para a região protegida pelo quebramar do Banco Inglês, na qual reinam condições hidráulicas inteiramente diferentes das existentes na região ora

em estudo. Uma conclusão final sobre o problema exigirá, portanto, o estudo do comportamento do material na região sob influência do quebramar. Este trabalho foi realizado em outubro-novembro de 1977 e está sendo analisado presentemente. Os resultados desta análise serão objeto de um relatório posterior da Divisão de Radioisótopos.

REFERÊNCIAS

- [1] BANDEIRA, J.V.; MONTEIRO DE CASTRO, J.O.N.; AUN, P.E.
"Estudo de novos locais para despejo de dragagem no porto de Recife: movimentação de sedimento de fundo em regime de inverno". Relatório do Instituto de Pesquisas Radioativas, 1976.
- [2] BOUGAULT, H. - "Étude de la sorption de quelques radioéléments artificiels par les sédiments péliques en vue de son application au marquage radioactif de ces matériaux". - Thèse présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris - 1970.
- [3] WEARN, PL and SMITH, D.B. - "The selection of a radioactive tracer material for coastal silt movement studies". AERE Report R 6573, 1971.
- [4] CRICKMORE, M. J. - "Tracer techniques for sediment studies - their use, interpretation and limitations". Publ. of the Hydraulics Research Station, Wallingford, England, 1976.
- [5] SAUZAY, G. - "Appraisal of radioactive tracer techniques in dredging operations" - Terra et Aqua Nr10, IADC Tenth Anniversary Issue.
- [6] SAUZAY, G. - "Méthode du bilan des taux de comptes d'indicateurs radioactifs pour la détermination du débit de charriage des lits sableux". - Thèse présentée à l'Université de Toulouse, 1971.