

MEDIDA DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS DE FUNDO,
COM TRAÇADORES RADIOATIVOS, NO PORTO DE SUAPE, PE

Simpósio Sobre Tendências Atuais no Projeto e
Execução de Estruturas Marítimas.

U.F.R.J. - Abril/1977

MEDIDA DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS DE FUNDO, COM
TRAÇADORES RADIOATIVOS, NO PORTO DE SUAPE, PERNAMBUCO

Pedro E. Aun, Jefferson V. Bandeira, J.O.N.M. de Castro
Divisão de Radioisótopos - IPR - Nuclebrás
Caixa Postal 1941 - Belo Horizonte, Minas Gerais.

RESUMO

A Divisão de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas da Nuclebrás realizou, em 1974 e 1975, estudos sobre a movimentação de sedimento de fundo na região ao largo da barreira de recifes que protege a região costeira de Suape, no Estado de Pernambuco. No presente trabalho, procura-se inicialmente fornecer informações sobre as possibilidades atuais do uso de traçadores em problemas de sedimentologia, ressaltando-se as condições que um traçador deve preencher e as vantagens e problemas na aplicação do método. Apresenta-se também um esboço da técnica experimental utilizada e dos métodos de análise empregados. Finalmente, são mostrados os resultados obtidos, tanto em regime de verão, como em regime de inverno, a partir de injeções de irídio 192, sob a forma de vidro moído, na região em estudo.

Conclui-se que, em ambos os regimes a movimentação do material de fundo é pequena.

À profundidade de 13m, observou-se uma taxa de 50kg/m linear.dia, na direção NE, em regime de inverno e movimentação desprezível em regime de verão. A -10m, em regime de verão, obteve-se um transporte da ordem de 50kg/m linear.dia também na direção NE.

1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO DE TRAÇADORES

1.1. Introdução

Uma parte importante dos estudos realizados, desde 1968, pela Divisão de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas da Nuclebrás refere-se à medida da movimentação de sedimentos de fundo por arraste. Estudos portuários foram executados no Rio de Janeiro, em Aracajú, em Rio Grande, em Santos, em Sepetiba, em Suape e no Recife; estudos fluviais foram realizados no Canal de São Gonçalo (RS) e na bacia do Rio Ivaí (PR).

O trabalho aqui apresentado foi realizado para a Transcon S.A. - Consultoria Técnica e para a Companhia de Desenvolvimento Industrial de Pernambuco (DIPER). Ele faz parte dos estudos necessários à elaboração do Plano Diretor do Complexo Industrial de Suape, local onde se pretende instalar um novo porto que sirva ao Estado de Pernambuco e às regiões vizinhas.

A região de Suape, onde existe atualmente uma aldeia de pescadores, é de grande beleza natural e se situa a cerca de 30km ao sul do Recife, entre o Cabo de Santo Agostinho e a Ponta do Cupe. A baía do Suape é protegida por uma barreira de recifes naturais, sendo a entrada atual feita através de uma barra estreita e perigosa, pois o canal corre entre o recife e o cabo rochoso. Os estudos aqui apresentados referem-se à movimentação de sedimentos de fundo, ao largo da barreira de recifes, nos regimes de verão e de inverno. Os dois períodos de estudo apresentam características hidráulicas marcadamente diferentes; o regime de verão estende-se aproximadamente de Outubro a Março e o de inverno de Maio a Agosto, unidos por meses de características intermediárias. As diferenças de regime puderam ser constatadas nas medidas hidráulicas realizadas (1), durante o período do estudo, pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH) da atual Portobrás.

1.2. O papel dos traçadores radioativos em estudos de sedimentologia.

Como o presente trabalho está sendo apresentado em um simpósio sobre projeto e execução de estruturas marítimas, acre

ditamos desnecessário detalhar em demasia a parte da tecnologia de aplicação de traçadores, que é um encargo de especialistas. A presentaremos uma descrição geral do método, dos seus princípios e dos processos de análise utilizados, além de alguns resultados experimentais, procurando mostrar o papel que os traçadores podem preencher no quadro geral da implantação de uma instalação portuária.

A aplicação de técnicas de traçadores ao estudo da movimentação de sedimentos foi iniciada 20 anos atrás, principalmente na França, Inglaterra e Japão e vem sendo desenvolvida desde então. Este desenvolvimento está relacionado à alta sensibilidade de detecção dos traçadores radioativos que podem ser detectados em diluições da ordem de 10^{-8} . Após os estudos qualitativos iniciais, os esforços dos pesquisadores concentraram-se em obter métodos de interpretação quantitativa dos resultados obtidos, principalmente através dos trabalhos de Courtois e Sauzay (2) e Crickmore (3,4). Atualmente, a técnica de aplicação de traçadores encontra-se bem desenvolvida e completamente estabelecida; os métodos de análise quantitativa existentes ainda necessitam de melhoramentos, o que implica no desenvolvimento de novos modelos conceituais sobre a movimentação de sedimentos.

Um traçador é um grupo de partículas que podem ser medidas (in situ ou por amostragem) e que, uma vez incorporadas a uma certa população, seguem o comportamento desta população. Um traçador para sedimento deve satisfazer aos seguintes critérios:

a) Deve ser representativo, ou seja, deve ter o mesmo comportamento físico-químico que a população que representa -mesma distribuição granulométrica, mesma forma, mesma densidade, mesmas propriedades de superfície;

b) Deve ser capaz de ser medido em baixas concentrações;

c) A propriedade que o identifica (no caso, a radioatividade) deve estar firmemente associada à população que ele representa, sem desaparecer pela ação da água ou da abrasão;

d) Não deve constituir, nas quantidades em que for utilizado, perigo para o público em geral ou para a vida marinha.

TRAÇADORES RADIOATIVOS EM SUAPE

No estágio atual, um estudo com traçadores tem como finalidade fornecer informações, descrições ou valores de parâmetros, a serem utilizados para aumentar a precisão de um modelo geral da região em estudo, integrando, no tempo e no espaço, todos os processos que ocorreram durante a campanha de medida. O uso de traçadores pressupõe, então, a existência de um modelo da área em estudo. A partir desse modelo, os traçadores são um meio de

- . verificar hipóteses baseadas em informações hidráulicas;
- . quantificar alguns parâmetros do modelo;
- . descrever algum processo que ocorra na região estudada.

Os traçadores não são, pois, um remédio universal, como chegou a ser pensado logo após o início de sua utilização. Eles só apresentam interesse real se puderem ser incorporados em um estudo global, referente a um modelo físico, matemático ou hidráulico da área de interesse. Neste caso, os traçadores são uma ferramenta poderosa e podem fornecer informações que seriam extremamente difíceis de obter por outros métodos. Portanto, antes do início de um estudo, devem estar perfeitamente definidas as informações que se esperam conseguir com o uso de um traçador; em função delas, pode ser iniciada a preparação do trabalho.

1.3. Preparação de um estudo com traçadores.

Um estudo de movimentação de sedimentos de fundo com traçadores radioativos é sempre iniciado por análises em laboratório de amostras da região.

O trabalho preliminar divide-se em duas partes:

a) parte sedimentológica, que visa caracterizar o tipo de sedimento do fundo e quantificar parâmetros que influam em seu comportamento hidrodinâmico;

b) parte radioativa, que consta da definição do radioisótopo a ser empregado e do método de marcação a utilizar.

Quando se pretende a obtenção de resultados quantitativos, é necessário que a radioatividade contida em cada partícula de traçador seja proporcional à massa da partícula. Se isto o

correr, pode-se afirmar que a quantidade de radioatividade encontrada em um determinado ponto é proporcional à quantidade de material presente no mesmo ponto.

Se o sedimento de fundo for areia, o método mais usual de marcação é a sua simulação por um vidro moído especial, ao qual foi incorporado um elemento ativável, isto é, um elemento capaz de tornar-se radioativo ao ser introduzido num reator nuclear. Entre estes elementos, os mais comumente utilizados são ouro, o irídio, o escândio, o cromo e o tântalo. Em trabalhos de curta duração, usa-se geralmente o ouro-198, cuja meia-vida é de 2,7 dias. Define-se meia-vida de um radioisótopo como o tempo necessário para que a sua radioatividade inicial seja reduzida à metade. As meias-vidas dos outros elementos citados variam entre 27 dias e 111 dias; são, pois, utilizados em medidas de duração mais longa. Se o material de fundo for composto de finos (silte ou argila), há 2 técnicas possíveis. A primeira é marcá-lo superficialmente com ouro-198; a segunda é misturar, aos finos, vidro moído na granulometria adequada, de modo a "incorporá-lo" aos flocos naturais. Ambos os métodos foram testados em canais de laboratório e julgados eficazes e representativos (5).

1.4. O trabalho de campo com traçadores radioativos.

É evidente que o tipo de trabalho a ser realizado depende do método de análise que se pretende utilizar. Entre eles, o mais empregado, em função das informações que fornece, é o método da integração no espaço. Neste caso, um trabalho consiste basicamente em:

a) injetar o material marcado com traçador no ponto ou região a ser estudada;

b) determinar, em intervalos de tempo adequados, a sua distribuição pela área em estudo. Cada cobertura completa da nuvem radioativa é chamada de uma detecção.

O método de integração espacial é um método Lagrangeano, pois supõe-se que, durante uma detecção completa da nuvem radioativa, não há variações na distribuição espacial do traçador. Cada detecção representa, pois, um retrato quase instantâneo da distribuição do traçador na área em estudo.

O método de injeção utilizado depende do movimento esperado para o traçador. Quando se espera pequena movimentação do sedimento, procede-se a uma injeção distribuída; quando se prevê grande movimentação, prefere-se uma injeção concentrada. O equipamento de injeção varia conforme o caso, havendo, em geral, várias concepções que conduzem ao resultado desejado: cabe ao pesquisador selecionar a melhor. As detecções são realizadas arrastando-se, pelo fundo da área em estudo, um detector de radiação, preso a um trenó, arrastado por um barco. A posição do barco é determinada, em intervalos de tempo prefixados, por uma rede de teodolitos ou por radio-localização.

A fim de automatizar a análise dos resultados, é necessário que a nuvem radioativa seja coberta por trajetórias paralelas entre si e perpendiculares à direção principal de movimentação do sedimento. Para isto, a posição do barco é lançada em uma carta, durante a detecção, a intervalos de tempo constantes, procedendo-se às necessárias correções de rota. Os dados de contagem obtidos pelo detector de radiação são registrados graficamente em um registrador, digitalmente em uma impressora de dados ou em fita magnética, em casos mais sofisticados.

A frequência das detecções varia de acordo com a velocidade de movimentação observada, indo desde detecções diárias até detecções mensais.

Uma observação de grande importância: desde o dia da injeção até o dia da última detecção devem ser medidos os parâmetros hidráulicos e hidrodinâmicos da região em estudo. Estes parâmetros permitem o relacionamento dos dados de traçadores com o modelo geral da região de estudo e, portanto, a utilização completa dos dados obtidos. Em um caso de estudos em mar aberto, como o aqui apresentado, foram realizados registros de ondas e observação de suas direções de incidência, medidas de direção e velocidade de correntes, registro de ventos e registro de marés.

1.5. O método de análise.

No método de integração espacial, o transporte médio q_s , expresso em massa de areia por unidade de largura, pode ser deduzido do movimento de partículas de um traçador que, sob as mesmas ações hidrodinâmicas, se comporte como as partículas natu

rais do fundo. Pode ser demonstrado que a velocidade u_t do centroide da nuvem de traçador é igual à velocidade média das partículas do fundo. Sendo ρ a densidade do material de fundo, o transporte é obtido simplesmente por

$$q_s = \rho u_t \theta ,$$

onde θ é a espessura média do leito na qual estão dispersas as partículas do traçador. A velocidade do centróide é dada pela variação da posição do centróide das nuvens radioativas, entre sucessivas detecções, realizadas nos tempos t_1 e t_2 .

$$u_t = \left[\left(\frac{\int_0^{\infty} g \, dx \cdot X}{\int_0^{\infty} g \, dx} \right)_{t_2} - \left(\frac{\int_0^{\infty} g \, dx \cdot X}{\int_0^{\infty} g \, dx} \right)_{t_1} \right] \cdot \frac{1}{t_2 - t_1}$$

onde g é o peso de traçador por unidade de comprimento e X é a distância à origem.

A espessura de transporte θ pode ser determinada a partir do fato de que a profundidade em que se encontra uma partícula radioativa, sob a superfície do leito, determina a maior ou menor contagem observada pelo detector. Esta propriedade permite calcular a espessura média de transporte θ , desde que seja conhecida a lei de distribuição do traçador em profundidade e desde que se tenha conseguido detectar todo o material radioativo injetado.

Esta lei pode ser obtida através de amostragem do fundo ou a partir do tamanho e das taxas de propagações de características do fundo, tais como dunas e rugas; caso isto não seja possível, adota-se uma distribuição teórica que pareça fisicamente aceitável.

A vantagem do método de integração espacial é que ele pode ser aplicado tanto a transporte em regime permanente como a não permanente e tanto a escoamentos unidirecionais (rios) como a escoamentos bi-direcionais (regiões sujeitas a marés). A sua

maior dificuldade está na determinação da distribuição vertical de traçador, que nem sempre é fácil.

2. O TRABALHO DE CAMPO EM SUAPE.

2.1. Introdução.

A finalidade dos estudos realizados em Suape era a de terminação da taxa de transporte por arraste, ao largo do cordão de recifes que protege o futuro porto, em regime de verão e de inverno. Uma característica da topografia local é que as profun didades aumentam rapidamente, do recife para o largo. Assim, a cerca de 100m do cordão de recifes já se observam profundidades de 8m. Portanto, para que as detecções fossem exequíveis na prá tica, foi necessário realizar as injeções a profundidades iguais ou maiores que 10m. Em vista das características do sedimento de fundo, do regime de ondas e correntes e das profundidades en volvidas, era de se esperar uma movimentação pouco intensa do traçador. Por isto, optou-se pela utilização de um radioisótopo de meia-vida longa (74 dias), o irídio 192. A granulometria na tural do material de fundo foi simulada com vidro moído contendo 0,13% de irídio, em massas da ordem de 500g, irradiado em um reator nuclear.

Ainda levando em conta que se esperava uma movimenta ção moderada do material de fundo, optou-se por uma injeção con centrada.

2.2. A campanha de inverno. (6)

A campanha de inverno foi iniciada, como é sempre ne cessário, pelo levantamento da radioatividade natural do fundo, o que foi realizado na segunda quinzena de junho de 1974.

A injeção foi realizada no dia 28/07/74 e constou de 500g de vidro moído, na granulometria apresentada na Fig. 1, com uma atividade de 2400 milicuries e a profundidade de 13m. O apa relho de injeção utilizado é apresentado na Figura 2.

A primeira detecção somente foi realizada no dia 07/7, devido a condições de mar extremamente adversas. Mesmo com as intensas ações hidráulicas do período, o movimento observado foi pequeno. Outras detecções foram executadas em 22/08 e 23/08 e

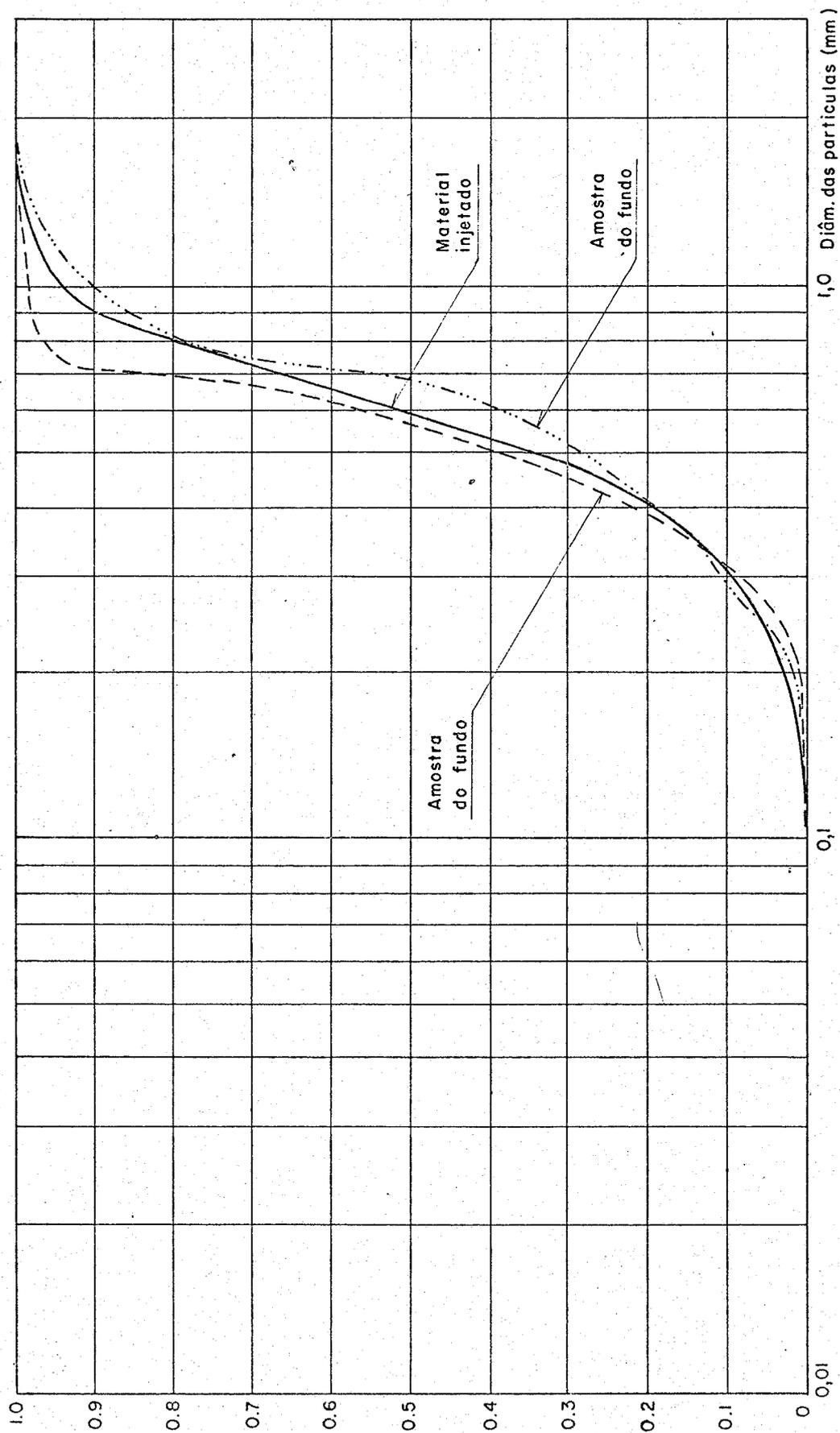


FIG. 1 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA REGIÃO DE INJEÇÃO E DO MATERIAL INJETADO.

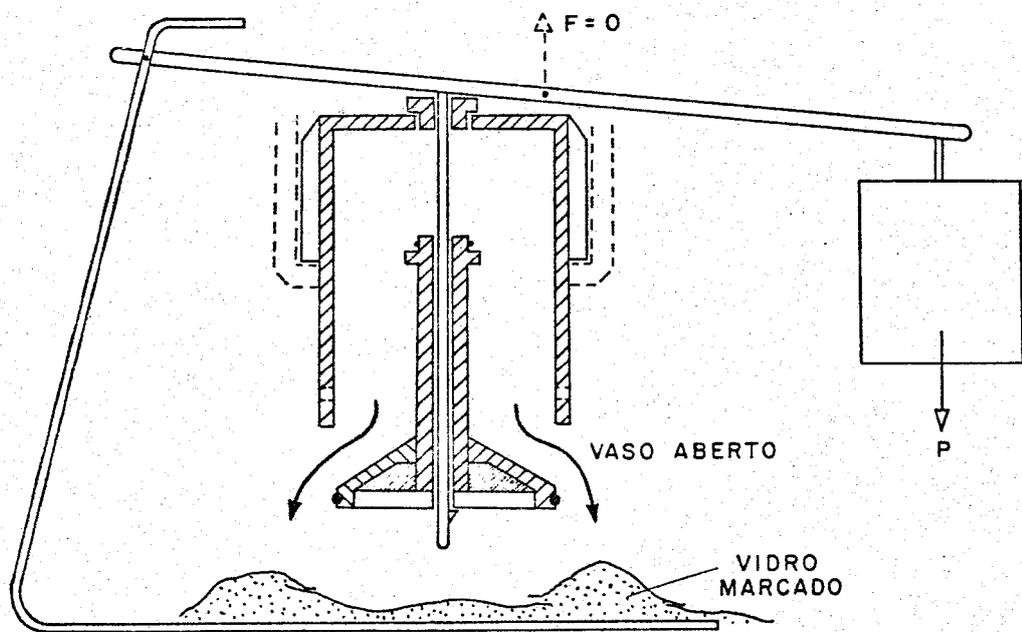
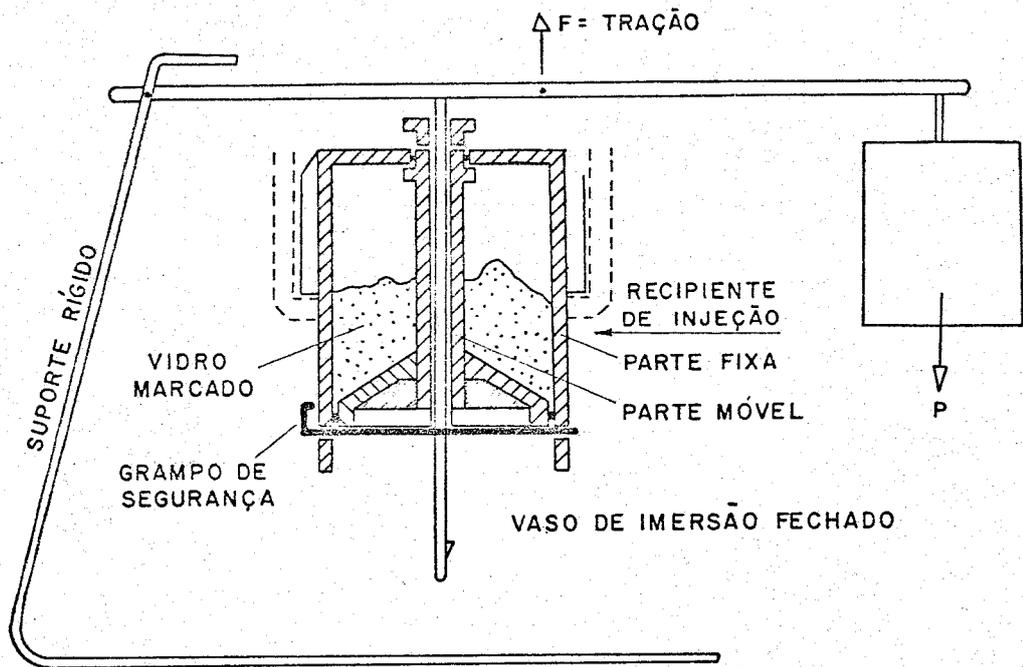


FIG. 2 - O EQUIPAMENTO DE INJEÇÃO.

TRAÇADORES RADIOATIVOS EM SUAPE

em 22/10, quase 3 meses após a injeção.

O equipamento utilizado nas detecções constou de de tectores de cintilação SRAT, registradores gráficos Moseley e u ma impressora Hewlett-Packard, sendo o conjunto alimentado por um gerador a gasolina Honda. O posicionamento do barco foi fei to por triangulação a vante, a partir de uma rede de teodolitos previamente estabelecida.

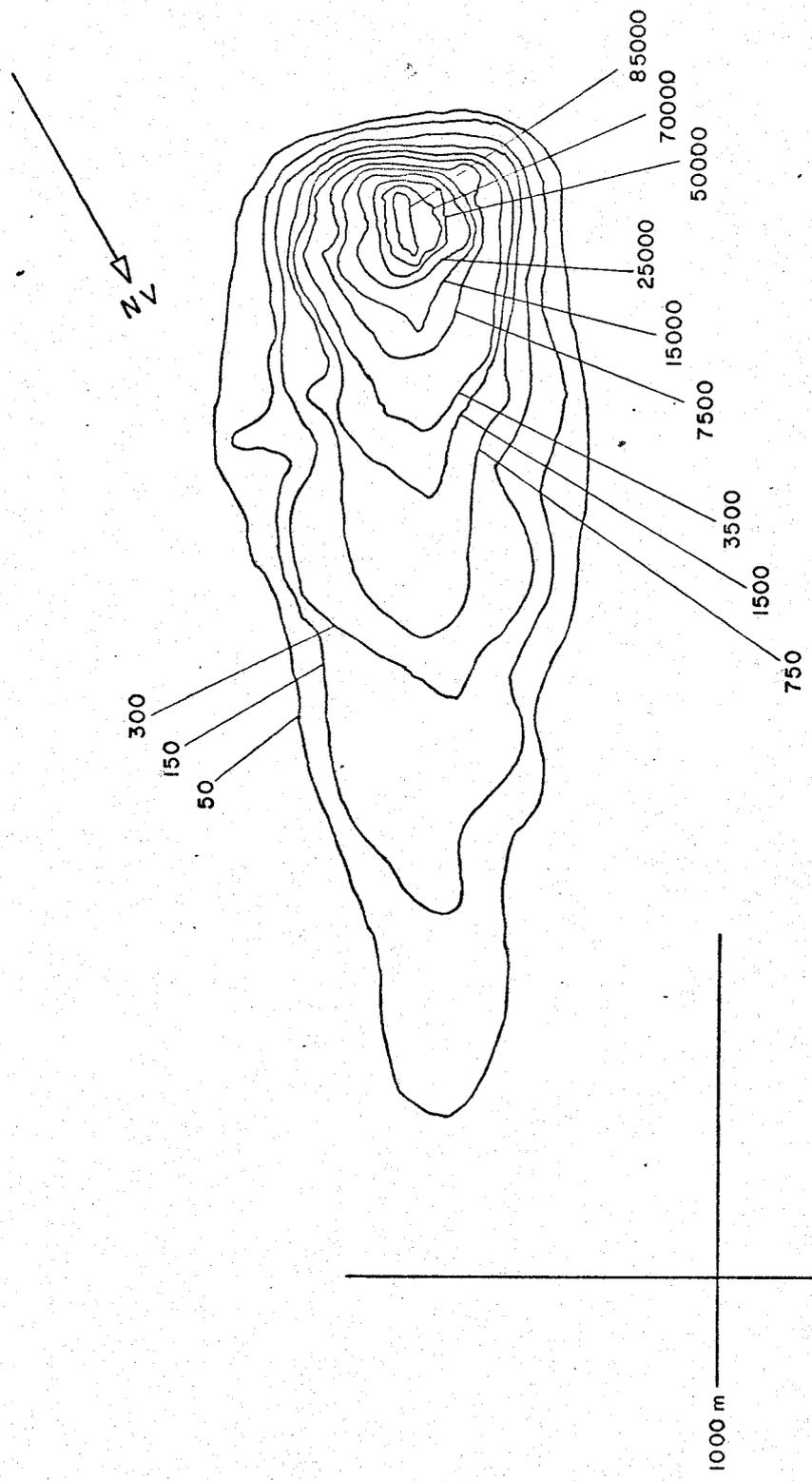
Os dados obtidos nas detecções, isto é, as taxas de contagem obtidas em cada ponto pelo detector, sofrem diversas correções antes de serem utilizadas. As mais importantes são:

- a) a correção do ruído de fundo natural, a partir dos dados previamente obtidos sobre a radiação natural do local;
- b) a correção do decaimento radioativo, feita a partir da meia-vida do radioisótopo;
- c) a correção da velocidade do barco, que varia duran te a detecção. Todas as taxas de contagem são cor rigidas para uma velocidade do barco de 1m/s.
- d) a correção do não paralelismo das trajetórias de de tecção.

Estas correções são executadas em calculadoras progra máveis Hewlett-Packard, alimentadas por dados contidos em fitas perfuradas. Lançando-se, em uma carta, as taxas de contagem ob tidas em cada ponto e unindo-se os pontos de mesma taxa por uma curva contínua, obtém-se um diagrama conhecido como o "diagrama das curvas de isocontagem". A Figura 3 apresenta as curvas de isocontagem correspondentes ao dia 22/10; a Figura 4 mostra o mesmo diagrama lançado na carta da região.

Pode-se observar que a dispersão do material foi peque na e que ocorreu na direção NE, paralelamente à linha de recifes.

Para proceder à análise quantitativa dos resultados, é construído o "diagrama de transporte", a partir dos dados de de tecção. Ele é obtido fazendo-se corresponder a contagem total obtida em cada trajetória descrita pelo barco de detecção à posi ção dada pela intercessão desta trajetória com a direção média de transporte. A partir da área do diagrama de transporte (que



(DADOS EM CONTAGENS POR SEGUNDO)

FIG. 3 - CURVAS DE ISOCONTAGEM RELATIVAS AO DIA 22-10-74.

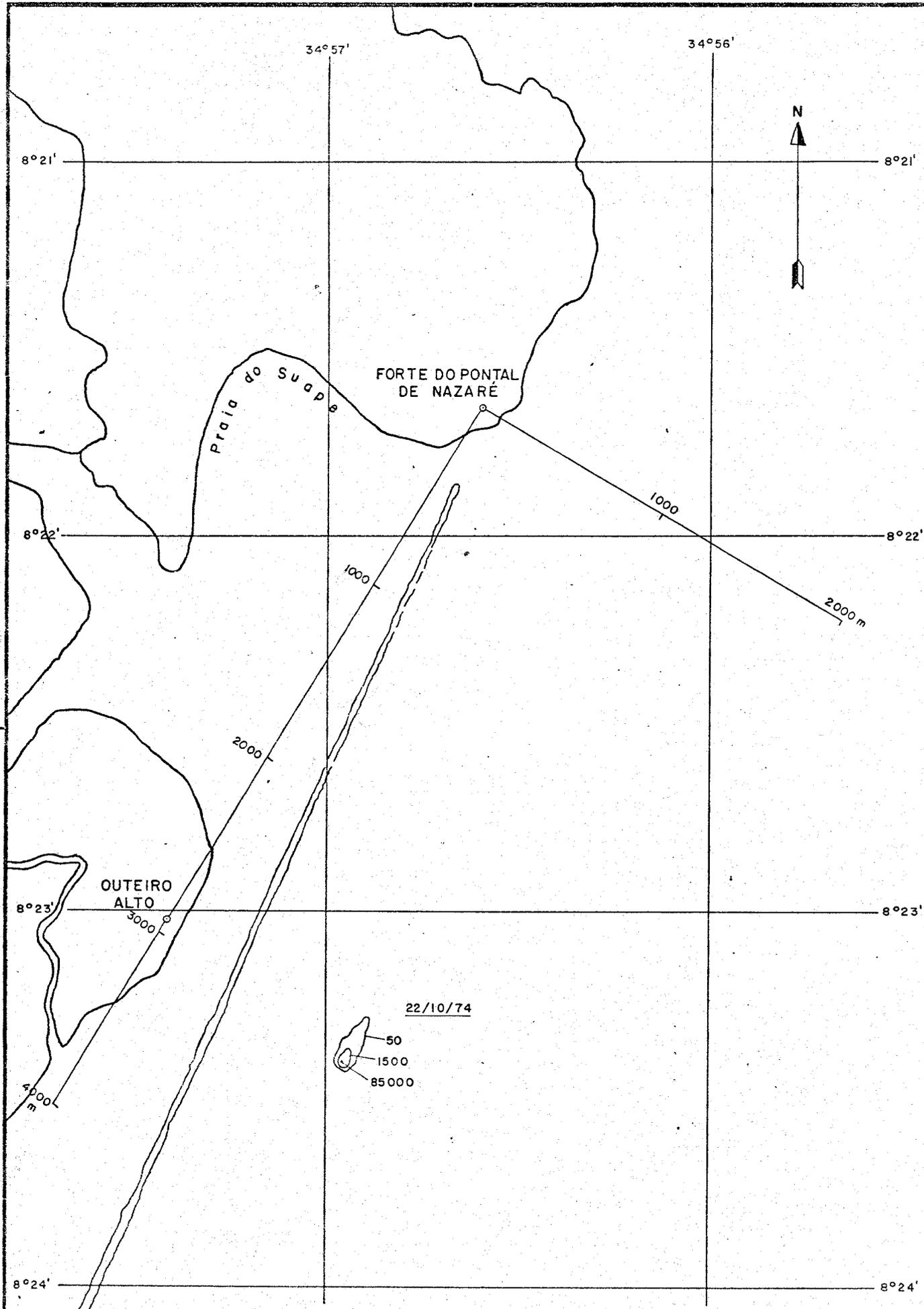


FIG. 4 - DISPERSÃO DO MATERIAL RADIOATIVO EM 22-10-74.

Escala 1:25.000

corresponde a uma integração do diagrama de curvas de isocontagem) é possível calcular-se a atividade total recuperada durante a detecção. Esta recuperação permite que se calcule, a partir de uma calibração da sonda utilizada na detecção e do conhecimento da lei de distribuição do traçador em profundidade, a espessura média de transporte θ . O diagrama de transporte mostra também, com clareza, a região de concentração de atividade. Isto pode ser visto na Fig. 5, que representa o diagrama de transporte correspondente à detecção de 22/10.

A velocidade média u_t do material é calculada a partir das posições sucessivas dos centroides das nuvens radioativas (Fig. 6). A análise do conjunto de detecções realizadas em regime de inverno permitiu concluir que o movimento de sedimentos de fundo à profundidade de 13m é pequeno, da ordem de 50kg/m linear.dia, sendo dirigido para NE, numa direção sensivelmente paralela ao recife.

2.3. A campanha de verão. (7)

A campanha de verão foi iniciada em Janeiro de 1975. Nela foram feitas 2 injeções de traçador, ambas com vidro moído marcado com irídio 192. A primeira injeção foi feita à profundidade de 10m, com a atividade de 680mCi, no dia 15/01/75. A segunda injeção fez-se no dia 16/01, correspondendo a uma atividade de 1100mCi.

As detecções foram realizadas nos dias 17/01, 21/01, 24/01, 15/03 e 19/03.

A técnica de trabalho e de análise foi a mesma adotada na campanha de inverno.

Os resultados indicaram que, a -10m, observou-se um pequeno movimento do material, da ordem de 50kg/m linear.dia, na direção NE. A -13m, o material não se moveu.

Os resultados da utilização de traçadores na região do futuro Porto de Suape mostraram, portanto, que o movimento de sedimento de fundo é pequeno, tanto em regime de verão, como em regime de inverno. Esta conclusão é favorável, do ponto de vista da implantação do Porto de Suape. Resta examinar o relacionamento entre os parâmetros hidráulicos medidos durante o trabalho

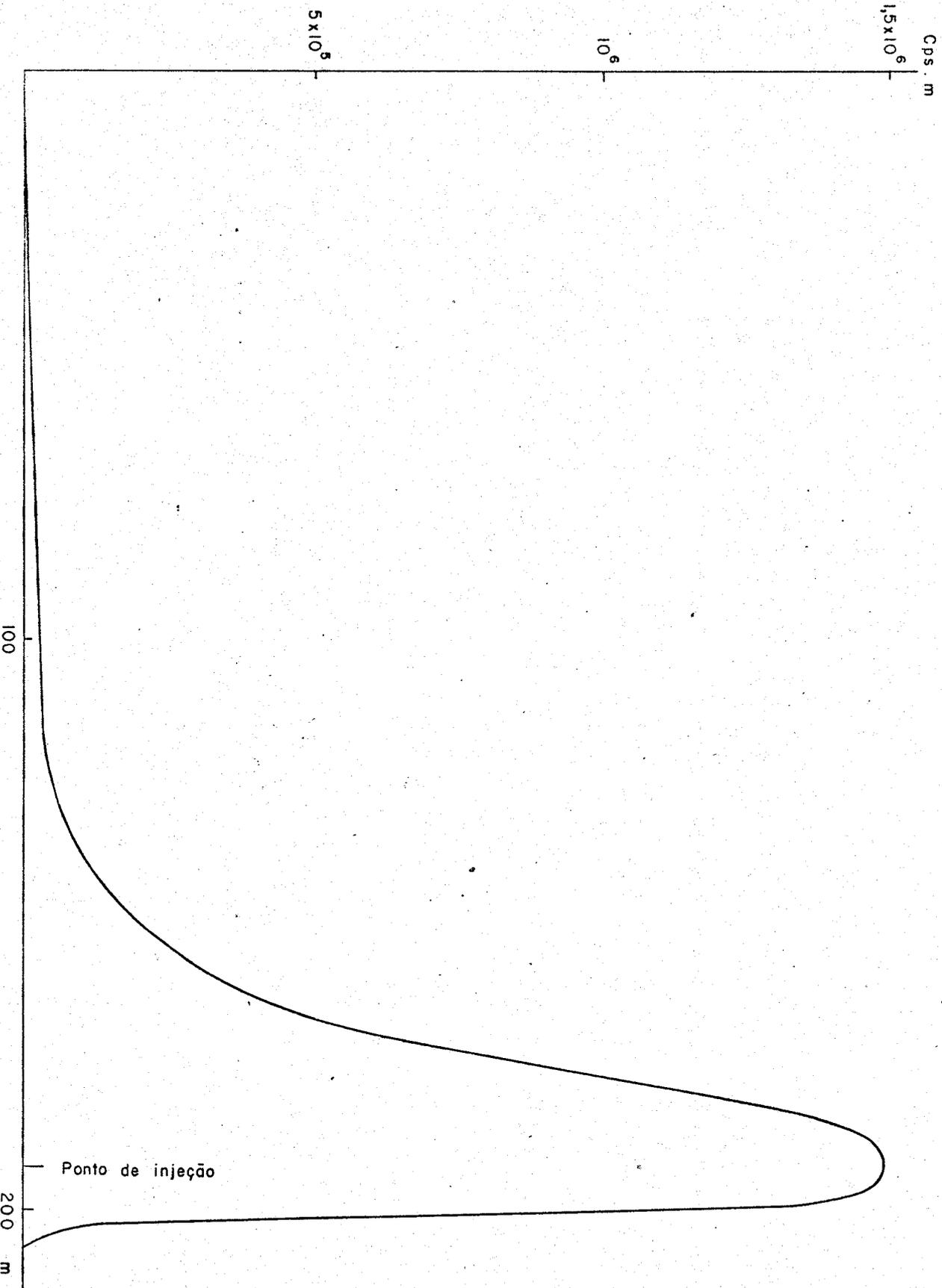


FIG. 5 - DIAGRAMA DE TRANSPORTE CORRESPONDENTE AO DIA 22-10-74.

TRAÇADORES RADIOATIVOS EM SUAPE

com os resultados obtidos com traçadores, o que é o objeto de um outro trabalho (1) também apresentado neste simpósio.

REFERENCIAS

1. BANDEIRA, J.V. - Estudos de hidráulica marítima na região costeira de Pernambuco e Sergipe. Simpósio sobre as Tendências Atuais no Projeto e Execução de Estruturas Marítimas. - 1977.
2. COURTOIS, G. et SAUZAY, G. - Les méthodes de bilan des taux de comptage de traceurs radioactifs appliquées à la mesure des débits massiques de charriage. Houille Blanche, 279 - 289, 1966.
3. CRICKMORE, M.J. and LEAN, G.H. - The measurement of sand transport by means of radioactive tracers. Proc. Roy.Soc. London, Ser A, 266, 402-421, 1962.
4. CRICKMORE, M.J. and LEAN, G.H. - The measurement of sand transport by the time integration method with radioactive tracers. Proc. Roy. Soc. London, Ser A, 270, 27-47, 1962.
5. WEAR PL and SMITH, D.B. - The selection of a radioactive tracer material for coastal silt movement studies. AERE Report R 6573, 1971.
6. AUN, P.E., BANDEIRA, J.V. e MONTEIRO DE CASTRO, J.O.N. - Porto de Suape: Medida da movimentação de sedimento de fundo ao largo da linha de recifes, em regime de inverno. 3 Vol. Relatórios do Inst. Pesq. Radioativas, 1974.
7. AUN, P.E., BANDEIRA, J.V. e MONTEIRO DE CASTRO, J.O.N. - Porto de Suape: Medida da movimentação de sedimento de fundo, ao largo da linha de recifes, em regime de verão. Relatório do Inst. Pesq. Radioativas, 1975.

TRAÇADORES RADIOATIVOS EM SUAPE

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1. - Composição granulométrica da região de injeção e do material injetado.
- Fig. 2. - O equipamento de injeção.
- Fig. 3. - Curvas de isocontagem relativas ao dia 22/10/74.
- Fig. 4. - Dispersão do material radioativo em 22/10/74.
- Fig. 5. - Diagrama de transporte correspondente ao dia 22/10/74.
- Fig. 6. - Posições dos centroides da nuvem radioativa, em regime de inverno.