

PORTO DE SUAPE: MEDIDA DA MOVIMENTAÇÃO DE
SEDIMENTO DE FUNDO, AO LARGO DA LINHA DE
RECIFES, EM REGIME DE VERÃO

agosto/1975

PORTO DE SUAPE: MEDIDA DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTO DE
FUNDO, AO LARGO DA LINHA DE RECIFES, EM REGIME DE VERÃO

1a. PARTE:

AS CAMPANHAS DE MEDIDAS COM TRAÇADORES RADIOATIVOS

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

Pedro Edmundo Aun
Jefferson Vianna Bandeira
José Olympio Nardelli M. de Castro

EQUIPE DE CAMPO

Pedro Edmundo Aun
Jefferson Vianna Bandeira
José Olympio Nardelli M. de Castro
Geraldo Godinho Pinto
Ricardo da Silva Gomes
Fábio Antônio da Silva
José Joaquim Lima de Campos

EQUIPE DE ANÁLISE

Pedro Edmundo Aun
Fábio Antonio da Silva
José Olympio Nardelli M. de Castro
Luiz Raphael Aun
José Joaquim Lima de Campos
Vera Lúcia Mendes Dias da Costa

Í N D I C E

	PÁGINA
RESUMO	
1. INTRODUÇÃO	1
2. OS TRAÇADORES EM ESTUDOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	13
3. A CAMPANHA DE VERÃO, AO LARGO DOS RECIFES	10
3.1. Informações Gerais	10
3.2. Análise da Injeção na Isóbata de -10m	13
3.3. Análise da Injeção na isóbata de -13m	38
REFERÊNCIAS	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
1.	- Curvas de isocontagem relativas ao ruído de fundo	12
2.	- Curva granulométrica do material injetado (-10m)	14
3.	- Curva granulométrica de amostra coletada nas proximidades do ponto de injeção(-10m)	15
4.	- Curvas de isocontagem, 17/01 (-10m)	17
5.	- Curvas de isocontagem, 21/01 (-10m)	18
6.	- Curvas de isocontagem, 24/01 (-10m)	19
7.	- Curvas de isocontagem, 15/03 (-10m)	20
8.	- Curvas de isocontagem, 19/03 (-10m)	21
9.	- Localização da nuvem radioativa 17/01(-10m)	22
10.	- Localização da nuvem radioativa 21/01(-10m)	23
11.	- Localização da nuvem radioativa 24/01(-10m)	24
12.	- Localização da nuvem radioativa 15/03(-10m)	25
13.	- Localização da nuvem radioativa 19/03(-10m)	26
14.	- Diagrama de transporte, 17/01, (-10m)	28
15.	- Diagrama de transporte, 21/01, (-10m)	29

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
16.	- Diagrama de transporte, 24/01 (-10m)	30
17.	- Diagrama de transporte, 15/03 (-10m)	31
18.	- Diagrama de transporte, 19/03 (-10m)	32
19.	- Posição do c.g da nuvem, à profundidade -10m	37
20.	- Curva granulométrica do material injetado (-13m)	39
21.	- Curva granulométrica do material coletado próximo ao ponto de injeção (-13m)	40
22.	- Curvas de isocontagem, 20/01, -13m	42
23.	- Curvas de isocontagem, 23/01, -13m	43
24.	- Curvas de isocontagem, 17/03, -13m	44
25.	- Curvas de isocontagem, 20/03, -13m	45
26.	- Localização geográfica da nuvem, 20/01, -13m	46
27.	- Localização geográfica da nuvem, 23/01, -13m	47
28.	- Localização geográfica da nuvem, 17/03, -13m	48
29.	- Localização geográfica da nuvem, 20/03, -13m	49
30.	- Diagrama de transporte, 20/01, -13m	51
31.	- Diagrama de transporte, 23/01, -13m	52

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
32. = -	Diagrama de transporte, 17/03, -13m	53
33. -	Diagrama de transporte, 20/03, -13m	54
34. -	Evolução do centro de gravidade da nuvem, -13m	57

RESUMO

A primeira parte deste relatório apresenta os resultados das campanhas de medidas, realizadas no período de verão, em Suape, Pernambuco, com a utilização de traçadores radioativos. Este trabalho faz parte do contrato estabelecido entre o Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas (Nuclebrás), a Transcon Consultoria Técnica S.A. e a Companhia de Desenvolvimento Industrial de Pernambuco. A finalidade destas medidas é a de terminação do transporte sólido por arraste, ao largo da barreira de recifes, em condições de verão.

Foram realizadas 2 injeções de vidro marcado com irídio 192:

i. Uma injeção na isóbata de -10m, no dia 15 de Janeiro de 1975, na estofa de preamar de uma maré de sizígia, com 680mCi

ii. Uma injeção na isóbata de -13m, no dia 16 de Janeiro de 1975, 30 minutos antes da estofa de preamar de uma maré de sizígia, com 1100mCi.

As detecções das nuvens radioativas foram executadas na segunda quinzena de Janeiro e na segunda quinzena de Março.

A análise dos resultados empregou o "método do balanço de traçadores", fornecendo as informações seguintes:

i. O transporte sólido de fundo na isóbata de

-10m, em condições de verão, é muito pequena, sendo da ordem de 60kg de material por metro linear e por dia. O pequeno movimento observado fez-se do sul para o norte.

ii. O transporte sólido de fundo na isóbata de -13m, em condições de verão, é desprezível, sendo quantificado em 10kg por metro linear e por dia, com a orientação de SW para NE. O ponto estudado localiza-se quase em frente à Barreta.

Durante a campanha de medidas com traçadores radioativos, a equipe do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias do DNPVN realizou medidas sobre características de ondas e correntes. A sua análise é apresentada na segunda parte deste relatório.

PORTO DO SUAPE: MEDIDA DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTO DE FUNDO, AO LARGO DA LINHA DE RECIFES, EM REGIME DE VERÃO

1. INTRODUÇÃO.

Para a elaboração do Plano Diretor do Complexo Industrial do Suape e dos projetos específicos para sua implantação foi estabelecido, em Novembro de 1973, um contrato entre a Transcon S.A. - Consultoria Técnica (TRANSCON) e a Companhia de Desenvolvimento Industrial de Pernambuco (DIPER). O contrato explicita que a Transcon poderá consultar outros órgãos ou empresas para o estudo, o equacionamento e a solução de problemas especiais que sejam levantados no decorrer do trabalho.

Um destes problemas é o levantamento de dados sobre a movimentação de sedimento de fundo, na região destinada à implantação do grande porto de Suape. Para a execução deste serviço, a Transcon celebrou um contrato com a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (atualmente, Nuclebrás), do qual a DIPER participou como interveniente pagadora e principal interessada.

Os trabalhos nele previstos incluem:

- a. a medida do transporte de sedimento de fundo, ao largo do cordão de recifes, em regime de inverno;

- b. o mesmo estudo do item (a), em regime de ve
rão;
- c. o estudo da movimentação de sedimentos no in
terior da baía de Suape;
- d. a coleta, análise e interpretação de dados
sobre as características de ondas e corren
tes na região.

O Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas, Belo Horizonte, ficou encarregado da execução dos itens (a), (b) e (c), que envolvem a utiliza
ção de traçadores radioativos, bem como da análise e inter
pretação dos dados hidráulicos referidos no item (d).

A coleta de dados hidráulicos foi contratada, pe
la CBTN, com o Instituto Nacional de Pesquisas Hidrovi
árias (INPH), do Departamento Nacional de Portos e Vias Na
vegáveis.

Fazem parte deste relatório os trabalhos realiza
dos ao largo do cordão de recifes, em regime de verão, e a análise dos dados hidráulicos obtidos no mesmo período.

2. OS TRAÇADORES EM ESTUDOS DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.

Os engenheiros hidráulicos e os sedimentologistas dispõem de vários métodos para o estudo de uma costa ou de uma estrutura implantada no mar.

Os mais comuns são:

- a. hidrográficos, incluindo batimetrias, levantamentos periódicos de perfis e de áreas de comparação, etc;
- b. oceanográficos, ou seja, observação e análise do regime ondulatório, medidas de marés e de correntes, etc;
- c. informações meteorológicas sobre velocidade, direção e frequência de ventos, ocorrência de tempestades, etc;
- d. informações sedimentológicas, tais como a distribuição granulométrica do sedimento, análises mineralógicas e químicas, etc.

Nos últimos anos, os traçadores - radioativos e fluorescentes - começaram a ser crescentemente utilizados na complementação dos métodos anteriores. A vantagem principal das técnicas de traçadores é fornecerem a direção, a trajetória, a dispersão e, eventualmente, a taxa de transporte de sedimentos em condições naturais, o que não é con

seguido com os métodos convencionais.

Os traçadores permitem estudar o mecanismo de transporte de sedimentos em pequenas áreas, definidas previamente, e durante períodos de tempo não excessivamente longos.

O conhecimento desse mecanismo conduz à obtenção de soluções melhores e mais seguras, para as obras a serem realizadas no local estudado.

Nos últimos anos, as técnicas de traçadores passaram também a ser importantes quando usadas em combinação com modelos hidráulicos - a informação obtida com os traçadores é utilizada na calibração do modelo.

As condições hidrográficas e oceanográficas nas quais o estudo com traçadores foi realizado são reproduzidas no modelo onde o transporte de sedimento está sendo estudado. A comparação dos resultados na natureza com os resultados em modelo permite determinar a sua validade, aumentando a confiabilidade em seus dados.

A utilização de traçadores radioativos no estudo do movimento de sedimentos foi descrita inicialmente por Sauzay (1) e Courtois (2).

A técnica envolve a preparação de areia marcada com um radioisótopo (ou a utilização de um simulador radioativo), sua deposição no fundo e o posterior mapeamento da atividade distribuída no fundo, em função do tempo.

O levantamento da atividade é feito arrastando-se um detector de radiação (cintilador) por um barco, cuja posição é monitorada precisamente, cobrindo-se toda a nu

vem radioativa. A detecção é feita, tanto quanto possível, seguindo linhas perpendiculares à direção de movimento. A integração da atividade total recuperada em cada linha é o dado básico para o cálculo da movimentação do sedimento.

Como os traçadores radioativos são detectados com alta sensibilidade, as massas de material a utilizar são pe quenas, entre 500g e 1kg.

A atividade utilizada, o tipo e a energia do ra di oisótopo escolhido dependem das previsões que se possam fazer sobre a intensidade do movimento. É possível execu tar detecções por períodos de até 6 meses, dependendo da dispersão e do transporte observados.

O método de tratamento dos dados foi descrito em (1) e (2). A primeira correção a ser feita é a relativa ao ruído de fundo natural e ao decaimento radioativo. Deter mina-se então a posição da sonda em cada intervalo de con tagem (corrigindo-se o comprimento do cabo de arraste). A taxa de contagem obtida em cada intervalo é lançada em um mapa. Os pontos de mesma taxa de contagem são unidos por uma linha contínua, obtendo-se as curvas de isocontagem cor res pondentes àquela detecção. Estas curvas indicam a dis persão do traçador e a direção de movimento.

A obtenção de resultados quantitativos é feita a partir do "diagrama de transporte". Este é constituído fa zendo-se corresponder a contagem total recuperada em cada linha de detecção com a posição definida pela intercessão da linha com a direção de transporte.

Unindo-se os pontos correspondentes a todas as li nhas de detecção, obtêm-se o "diagrama de transporte".

Para integrar as contagens de cada linha, é antes necessário corrigi-las das variações de velocidade do barco. Isso é feito multiplicando-se a contagem integrada em cada trecho (definido por duas leituras do sistema de localização do barco) pela velocidade correspondente ao trecho.

As unidades dos eixos de coordenadas que definem o "diagrama de transporte" são, em ordenadas, o número de contagens multiplicado pela velocidade (contagem $\times \frac{m}{s}$) e, em abcissas, distâncias (m).

Este diagrama representa a distribuição em frequência dos comprimentos de deslocamento dos grãos radioativos, projetados no eixo de transporte. Ele é utilizado para a determinação da espessura média do material de fundo que participa no transporte, a qual, por sua vez, é um dado necessário ao cálculo das vazões sólidas de fundo.

Para determinar a espessura de transporte, é necessário calibrar inicialmente as sondas utilizadas nas detecções. Para isto, determina-se a resposta de cada sonda a uma fonte plana infinita, com a atividade específica de $1\mu Ci/m^2$, coberta por uma camada de areia inativa de espessura z . As curvas de calibração tem, de modo geral, a forma

$$f(z) = f_0 e^{-\alpha z} \quad (2.1)$$

onde

$f(z)$, em $\frac{c}{s} / \frac{\mu Ci}{m^2}$ é a resposta da sonda para a

fonte de calibração situada a profundidade z ;

f_0 , em $\frac{c}{s} / \frac{\mu Ci}{m^2}$, é a resposta da sonda para uma distribuição superficial de atividade.

$\alpha(\text{cm}^{-1})$ é um coeficiente de absorção, que depende do material entre a sonda e a fonte de calibração.

A integração da área do diagrama de transporte fornece um valor N , dado em $\frac{c}{s} \times m^2$. Dividindo-se N por $f_0 A$, onde A é a atividade injetada, obtém-se a atividade recuperada (ou o balanço do traçador). Se todo o traçador estivesse distribuído superficialmente, o balanço deveria corresponder à atividade injetada.

Entretanto, como os grãos se apresentam, em geral, distribuídos até uma certa profundidade, o valor do balanço, devido à absorção da radiação pela camada na qual está distribuído o traçador, é menor. É este fato que permite calcular-se a espessura média de transporte E , já que existe lei ligando a diminuição do valor do balanço à profundidade na qual se distribuem os grãos em movimento. (1) (2). Neste cálculo, adota-se a hipótese de que os grãos estão distribuídos uniformemente na camada que participa do transporte.

Finalmente, para o cálculo da vazão sólida, é necessário determinar-se a velocidade média V_m de movimentação da nuvem radioativa entre duas detecções. Essa velocidade é determinada pelas posições sucessivas do centro de massa da nuvem, calculado a partir das contagens obtidas em um determinado ponto e das coordenadas que definem a posi

ção do ponto.

Normalmente, calcula-se a vazão sólida por unidade de largura \underline{L} , na área estudada. Sendo $\underline{\rho}$ a densidade do material que compõe o fundo, a vazão sólida \underline{Q} é dada por uma expressão do tipo

$$Q = \rho V_m L E \quad (2.2)$$

Em resumo:

- i. O diagrama de transporte fornece o valor de N e permite determinar a atividade recuperada.
- ii. O método do balanço, desenvolvido nas referências (1) e (2), permite obter-se, a partir de N , o valor da espessura média de transporte \underline{E} .
- iii. As posições sucessivas do centro de massa da nuvem radioativa fornecem a velocidade média de movimentação da nuvem V_m .
- iv. A vazão sólida por arraste é calculada, para uma faixa de largura \underline{L} , pela expressão

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

onde ρ é a densidade do material de fundo.

É muito difícil generalizar-se a precisão com a qual se pode obter o valor de Q , já que ela depende essencialmente das condições experimentais. Entretanto, é geralmente aceito que, no caso de medidas cuidadosamente controladas, a precisão é da ordem de algumas dezenas de por cento. (3).

3. A CAMPANHA DE VERÃO, AO LARGO DOS RECIFES.

3.1. INFORMAÇÕES GERAIS.

A campanha de verão foi iniciada, em Suape, no dia 8 de Janeiro de 1975. Entre as providências iniciais, foi estabelecida uma nova linha de base para a rede de triangulação destinada a localizar o barco que executa a detecção. As bases, distantes de 2.262m, estavam localizadas no Outeiro Alto e na proximidade da antiga base de Banquinhos.

Como o trabalho deveria ser executado em uma nova área, localizada na região ao largo da Barreta, foi necessário um novo levantamento do ruído de fundo natural, executado nos dias 11, 12, 13 e 14 de Janeiro. O resultado deste levantamento é apresentado na Figura 1.

Neste levantamento, e em todas as medidas posteriores, foi utilizado o barco "Suape I", com 10m de comprimento e 2,5m de boca. Durante todo o período o mar esteve calmo (exceto por 2 dias) e o tempo bom, o que, somado à beleza da região, tornou o trabalho extremamente agradável.

Durante a campanha de janeiro, a equipe do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias realizou medidas de altura e direção de ondas e medidas de velocidade e direção da corrente. Detalhes sobre estas medidas e a análise dos resultados são apresentados posteriormente.

A equipe da Transcon, sediada em Suape, forneceu apoio ao trabalho, sob a forma de transporte de pessoal pa

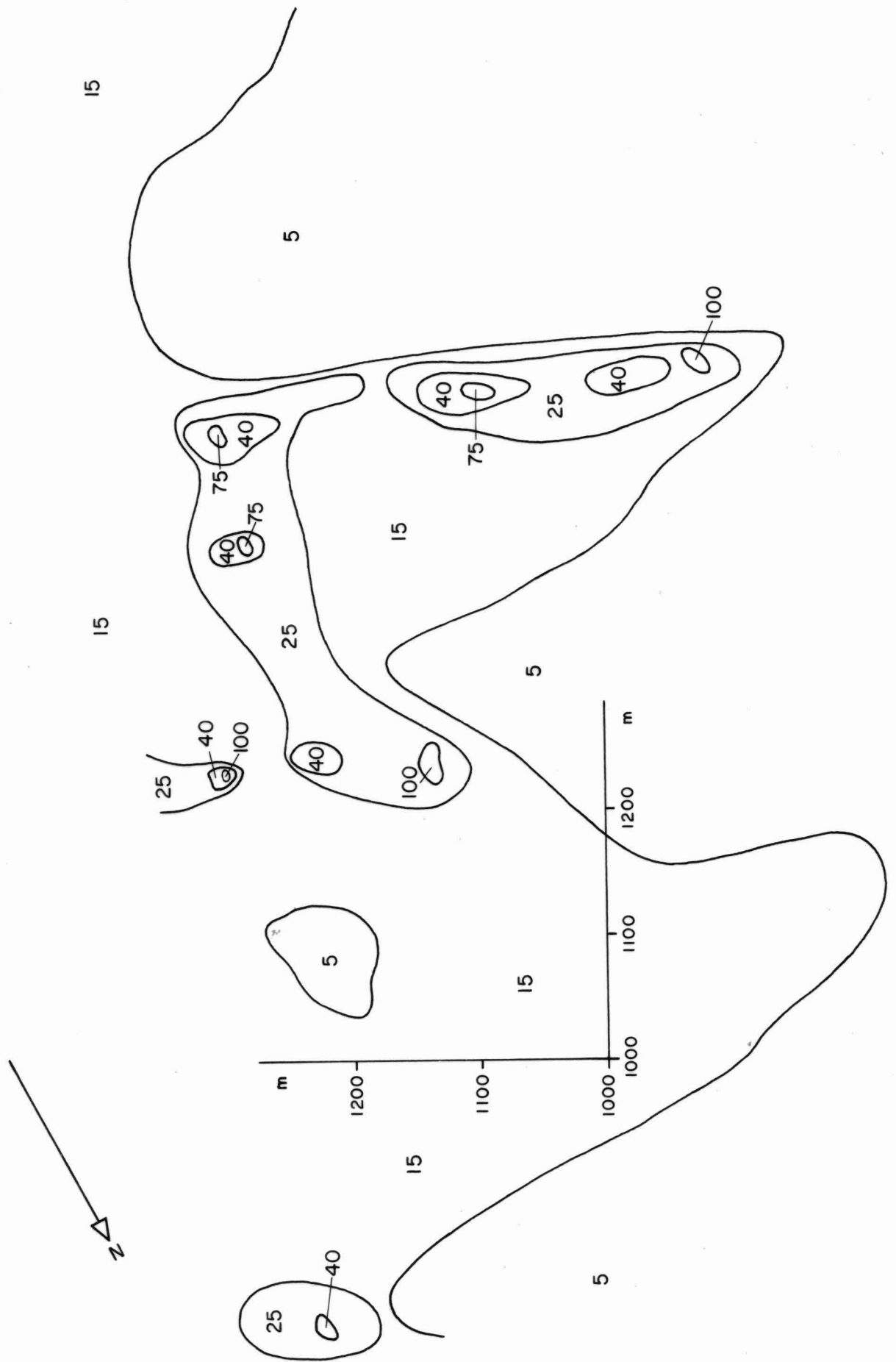
ra as bases de triangulação - feito por lanchas - e para o local de medidas de direção de ondas, no Forte de Nazaré - por via terrestre. Além disso, o escritório da Transcon foi utilizado como base da equipe, durante todo o período.

Foram realizadas 2 injeções de material radioativo nesta campanha, ambas utilizando vidro moído, marcado com irídio, como simulador do material de fundo. Uma delas foi executada na mesma profundidade da campanha de inverno (13m), para comparar o comportamento do material nos dois períodos. A outra foi realizada à profundidade de 10m, para verificar se a movimentação, nesta cota, era mais intensa.

O equipamento empregado nas detecções foi o habitual, constando de sondas de cintilação SRAT (Tipo SPP3), contadores de pulsos Hewlett Packard, registradores Moseley, impressora mecânica Hewlett Packard e radio-transmissores portáteis Tokay; o equipamento funcionou brilhantemente.

A análise dos resultados obtidos em janeiro demonstrou a necessidade de uma nova campanha de medidas, pois o movimento encontrado foi pequeno. A segunda campanha, autorizada pela Transcon e pela DIPER, foi realizada em Março de 1975, entre os dias 12 e 25; seus resultados também constam deste relatório.

A análise dos dados foi realizada, como habitualmente, em uma calculadora programável Hewlett Packard 9820, utilizando os programas desenvolvidos pelo Laboratório de Radioisótopos.



Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C. Postal 1941 - BH	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Curvas de isocontagem relativas ao ruído de fundo				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 01

3.2. ANÁLISE DA INJEÇÃO NA ISÓBATA DE -10m.

A injeção na isóbata de -10m foi realizada no dia 15 de Janeiro, às 17 horas, na estufa de preamar de uma ma rê de sizígia, com amplitude de 2,1m. O ponto de injeção situava-se a cerca de 700m ao sul da Barreta. O material injetado constou de 350g de vidro moído, com a granulometria apresentada na Figura 2.

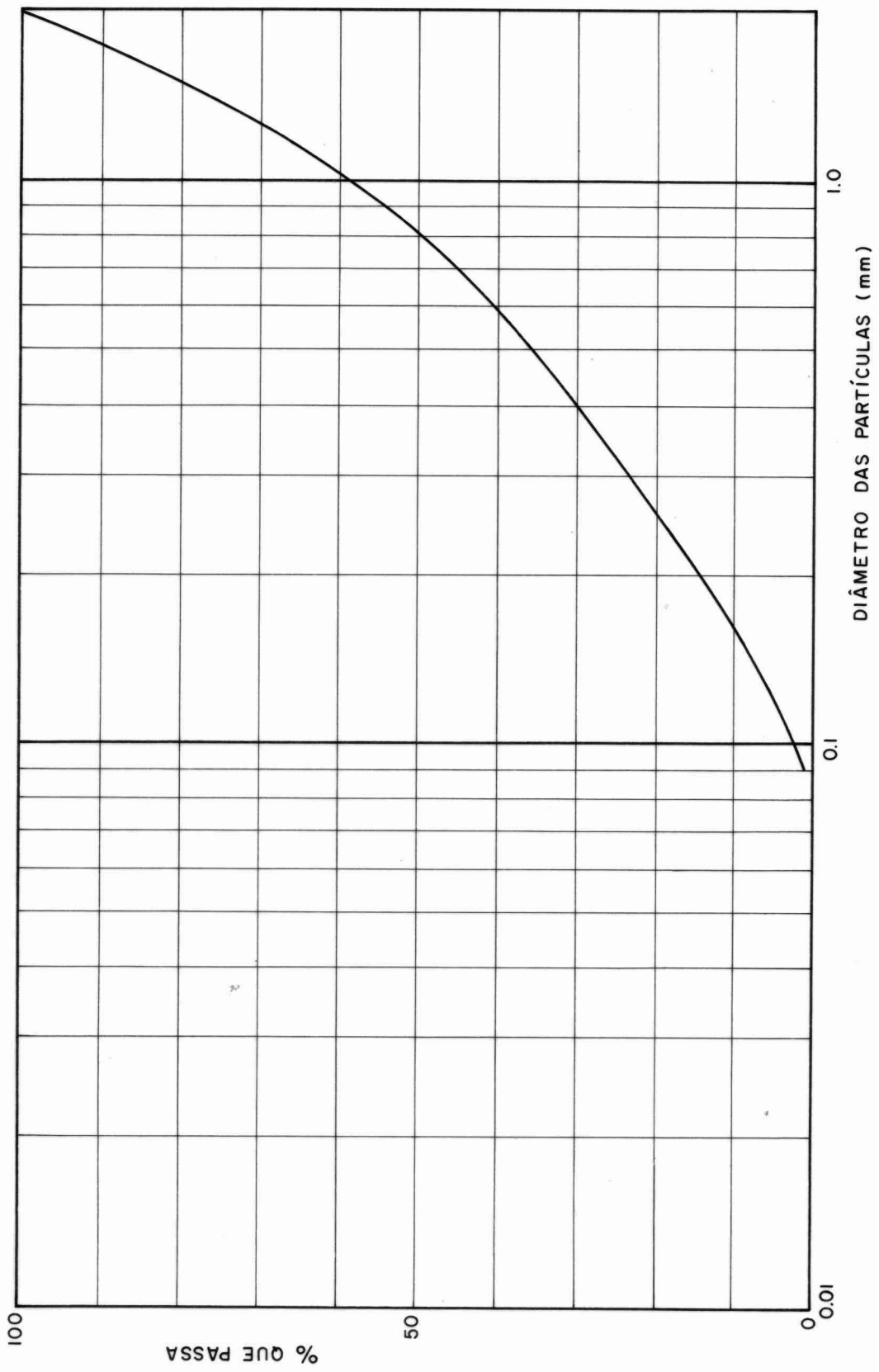
A granulometria foi escolhida com base em uma an l i s e granulométrica do material da região, constante do re l a t ó r i o do Setor Portuário/Marítimo da Transcon (4).

A amostra considerada, por ser próxima ao local de injeção, foi a de registro R-5 -A, reproduzida por vidro moído (Fig. 2). A Figura 3 apresenta a curva granulométrica do material de fundo, nas proximidades do ponto de injeção. Esta amostra, recolhida pela equipe do L.RI., ap a p r e s e n t a maior quantidade de material grosso que a amostra i n j e t a d a. Enquanto o d_{50} da amostra radioativa era de 0,82mm, o da amostra era de 0,90mm.

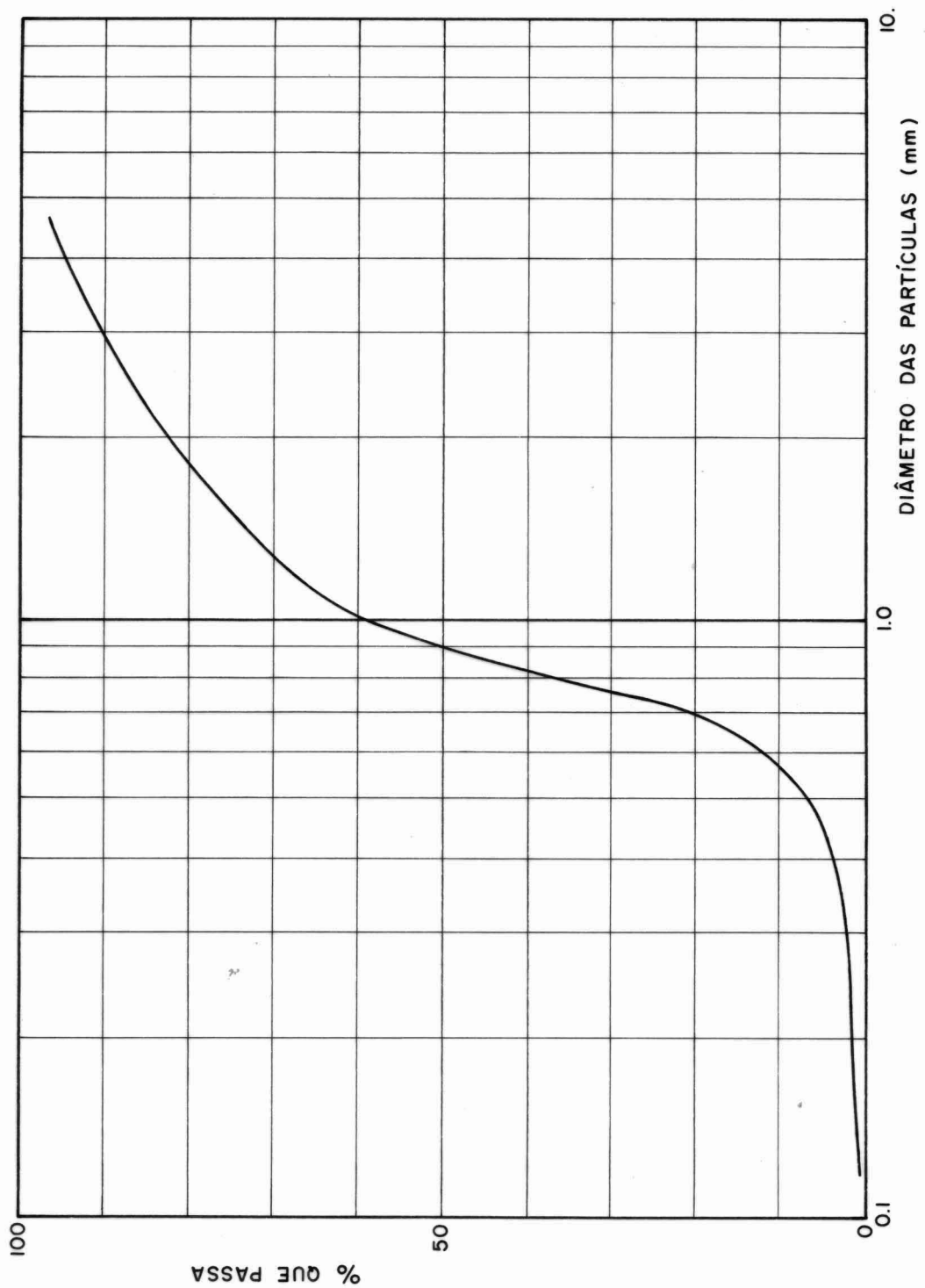
A amostra do fundo apresentava, além disso, cerca de 15% de material de diâmetro superior a 2mm, que não ap a r e c i a no material irradiado.

Como, a amostra injetada é mais fina que a amos tra natural, ela favorece a movimentação do sedimento. Os resultados apresentados se constituem, portanto num valor máximo do transporte sólido por arraste.

Foram realizadas 5 detecções desta nuvem, além da detecção de mise-en-place, realizada no dia seguinte ao da



Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C.Postal 1941-BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Curva granulométrica do material injetado (-10m)				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 02



Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C.Postal 1941 - BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Curva granulométrica do material coletado próximo ao ponto de injeção (- 10 m)				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 03

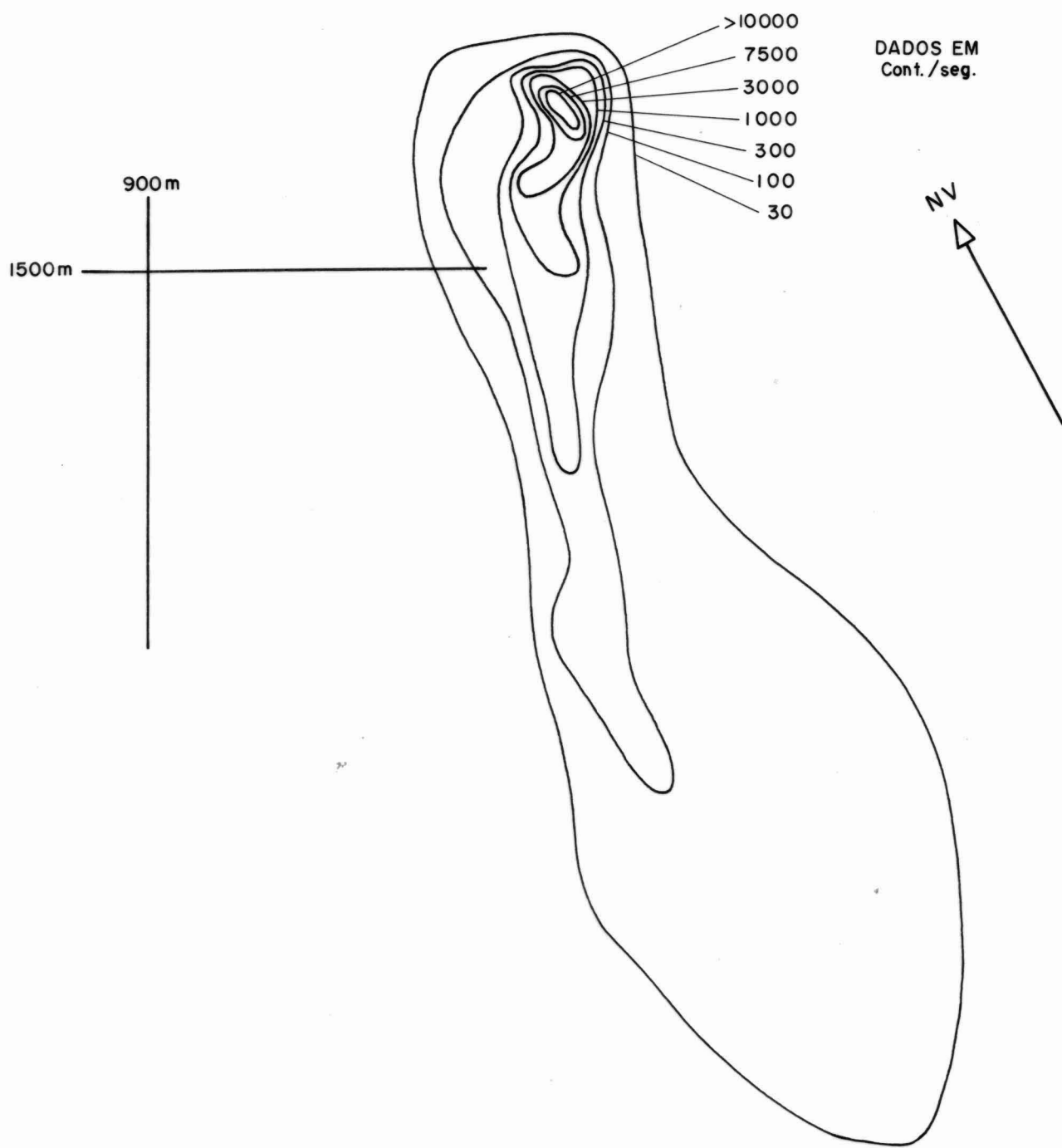
injeção. As datas de detecção foram 17, 21 e 24 de Janeiro e 15 e 19 de Março, com um intervalo de cerca de 50 dias entre as duas campanhas. Este tempo é suficiente para afirmar-se que os resultados são representativos das condições hidráulicas reinantes durante o verão.

As curvas de isocontagem referentes a estas detecções são apresentadas nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8, que mostram claramente a região na qual se distribuiu o material radioativo. Na Figura 4, correspondente ao dia 17 de Janeiro, pode-se observar que o material, logo após a injeção, deslocou-se para o sul, distribuindo-se até uma distância de cerca de 350m do ponto de injeção. A largura da nuvem é da ordem de 80m. Entretanto, esse deslocamento inicial não pode ser considerado como representativo do movimento do material de fundo já que, logo após a injeção, o material tem grande mobilidade, não estando ainda integrado ao sedimento natural. Portanto, considera-se a primeira detecção, no dia 17/01, como a origem, no tempo e no espaço, do estudo de movimentação, em lugar de se utilizar a data da injeção e o ponto de injeção.

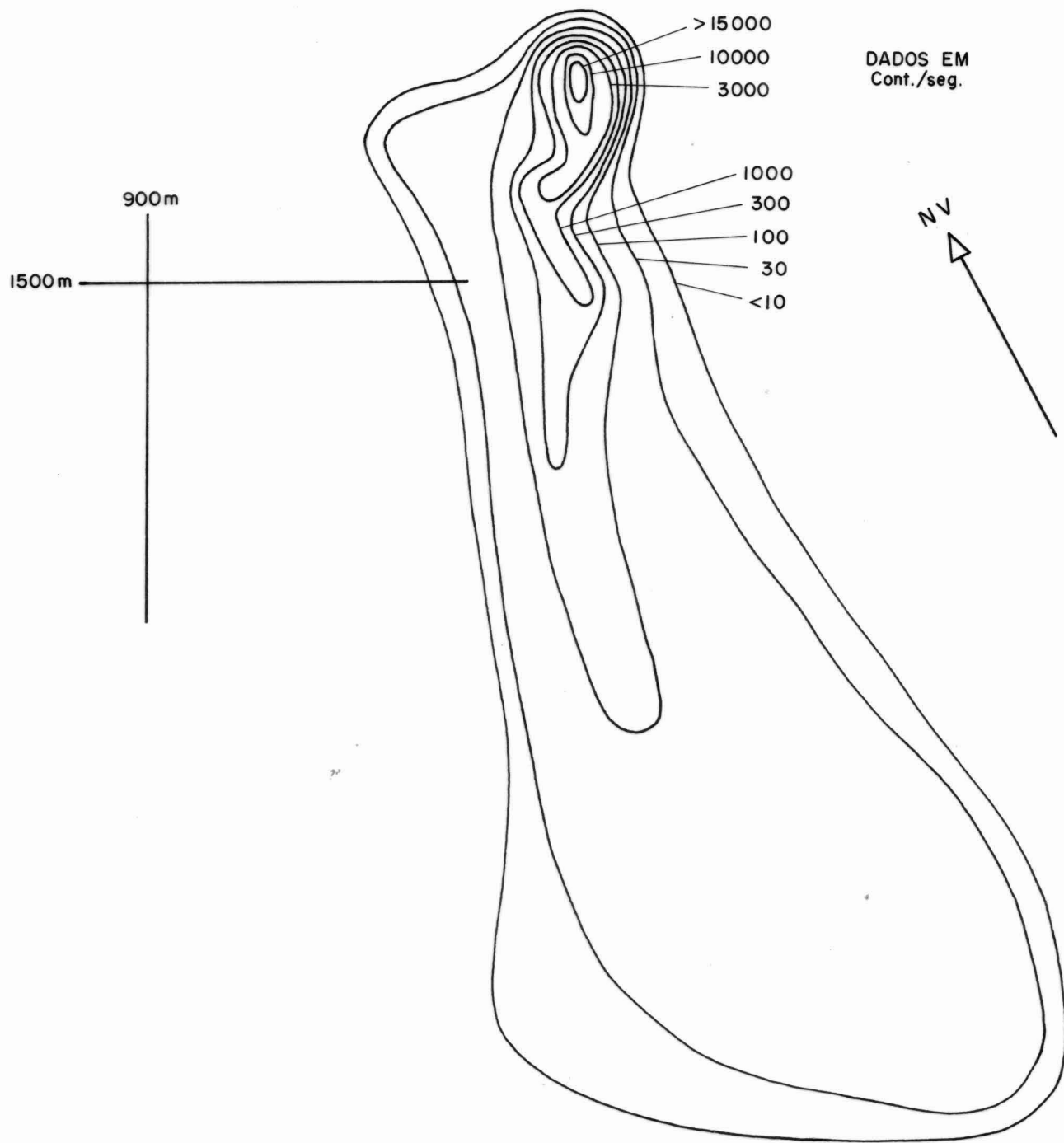
As curvas correspondentes ao mês de março mostram um aspecto semelhante ao de janeiro, com um pequeno deslocamento, para o norte, da região de maior atividade. A constância de forma durante todo o período de detecção indica uma movimentação pequena do material de fundo.

A localização geográfica das nuvens é apresentada nas Figuras 9, 10, 11, 12 e 13.

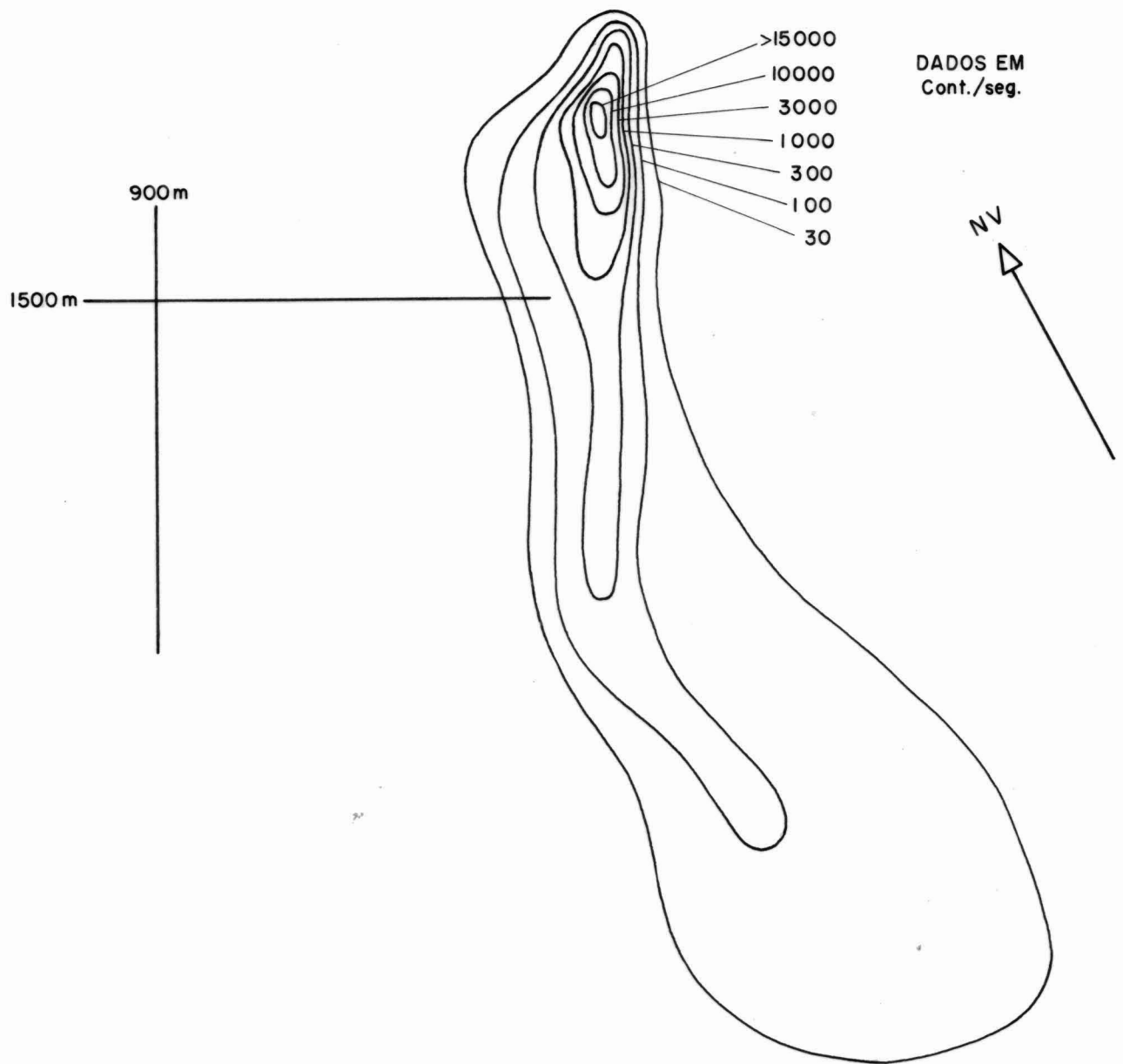
Para a obtenção de resultados quantitativos, utilizam-se os diagramas de transporte das detecções, apresentados nas Figuras 14, 15, 16, 17 e 18. A sua área fornece



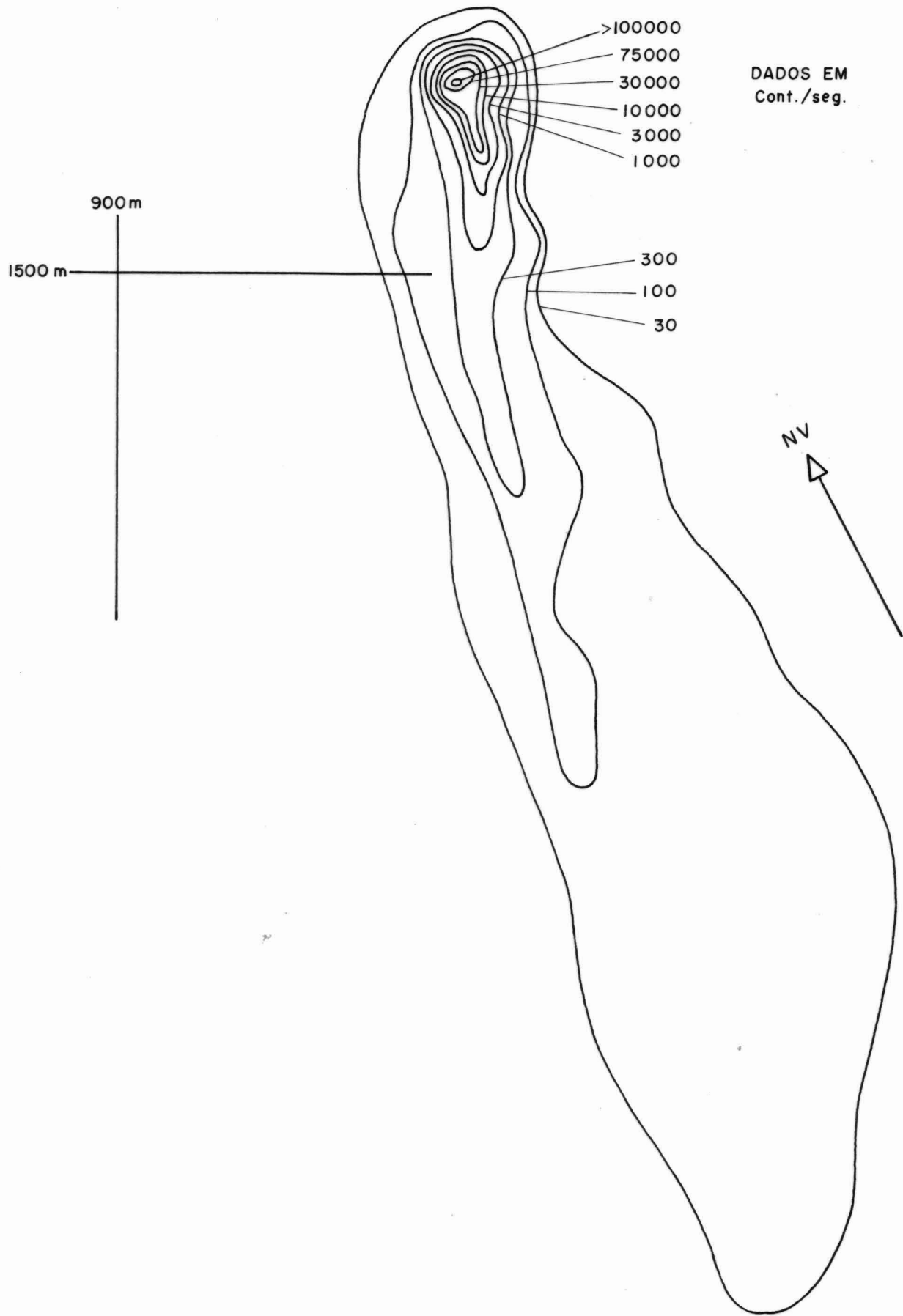
Laboratório de Radioisótopos IPR-NUCLEBRAS C.Postal 1941-BH	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO-SUAPE				
	Curvas de isocontagem. Detecção de 17/01/75				
	Data	Escala 1:2000	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 04



Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C.Postal 1941 - BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO-SUAPE				
	Curvas de isocontagem. Detecção de 21/01/75				
	Data	Escala 1:2000	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 05

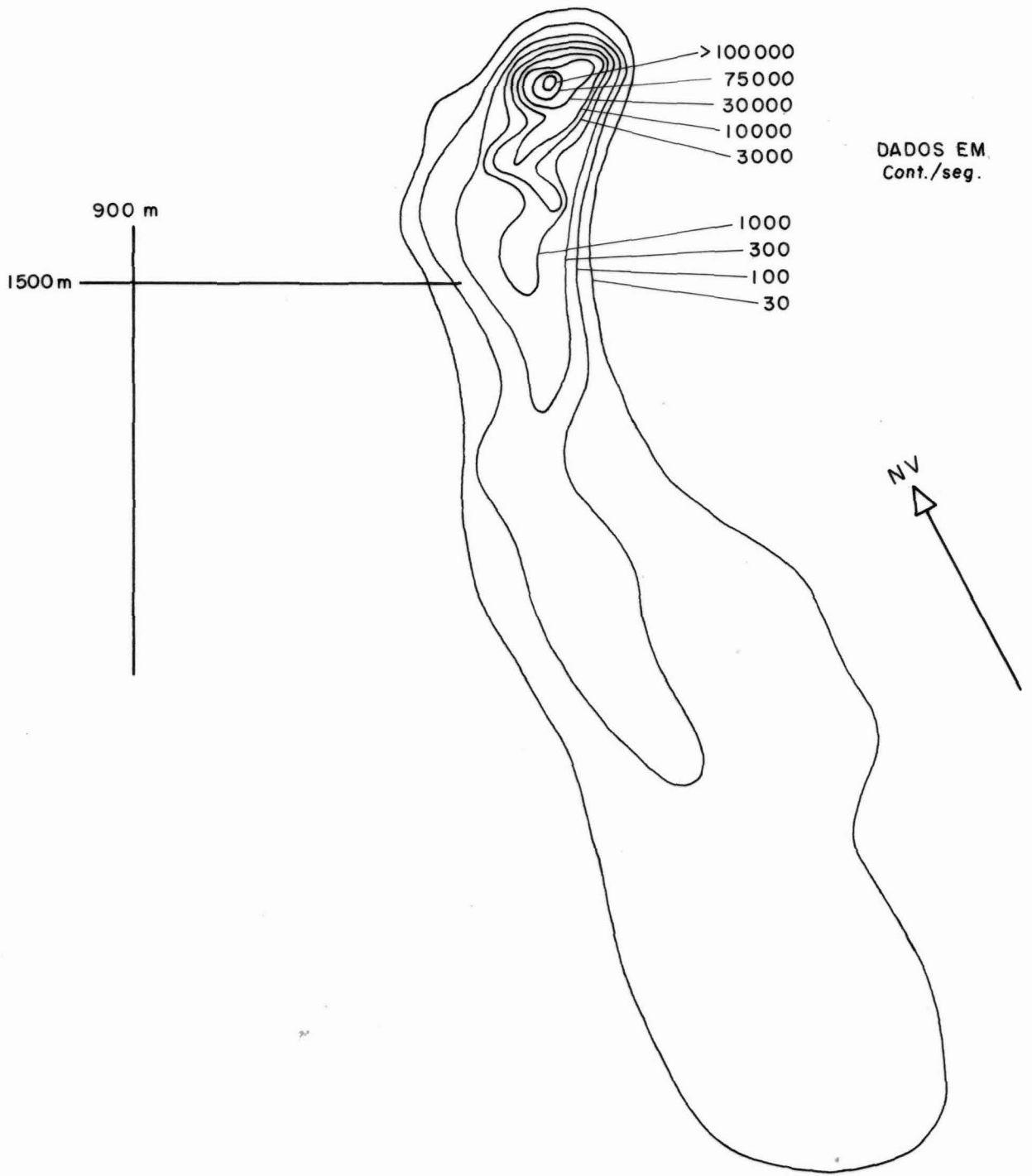


Laboratório de Radioisótopos IPR-NUCLEBRAS C.Postal 1941-BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO-SUAPE				
	Curvas de isocontagem. Detecção de 24/01/75				
	Data	Escala 1:2000	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 06

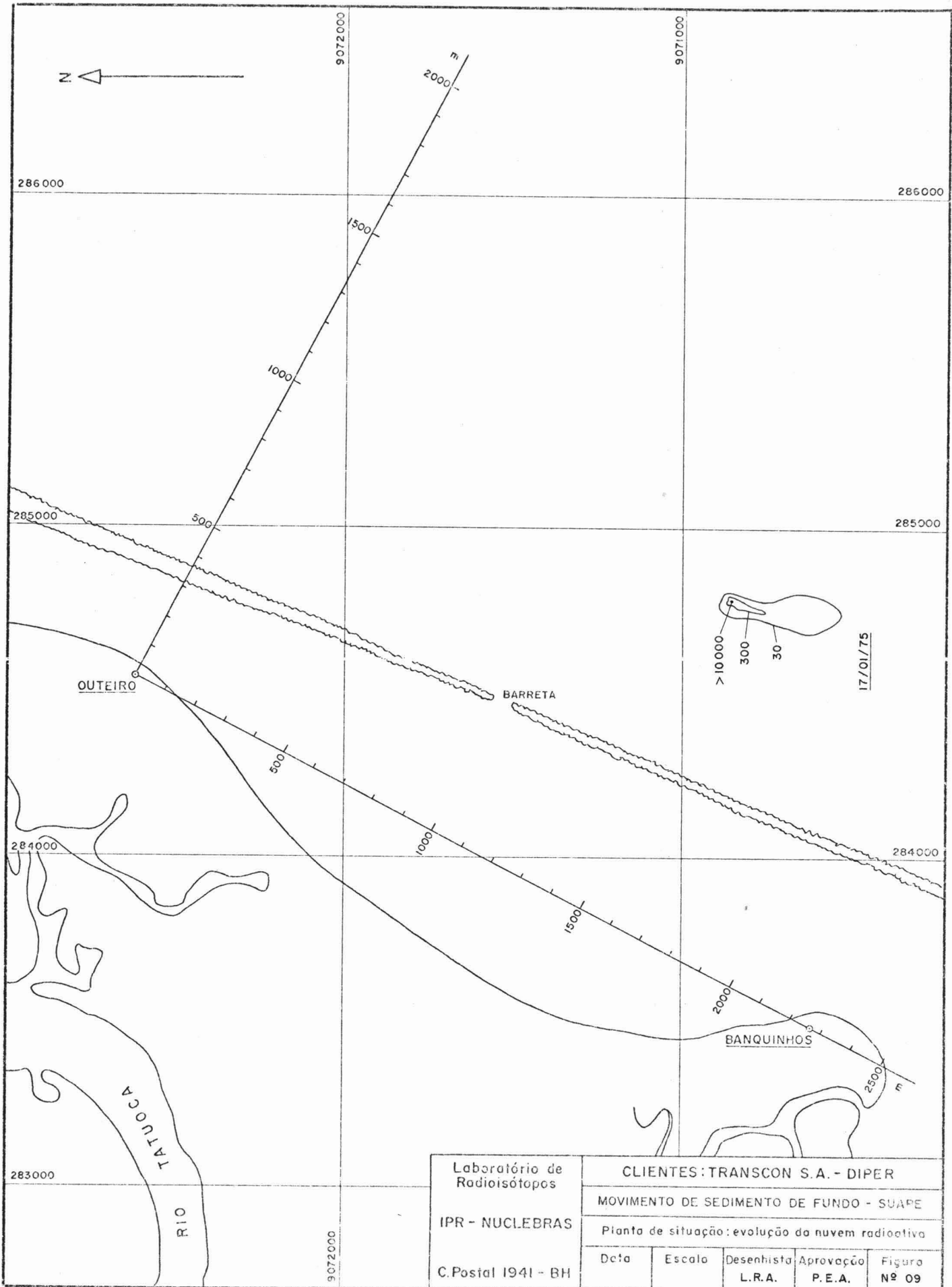


DADOS EM
Cont./seg.

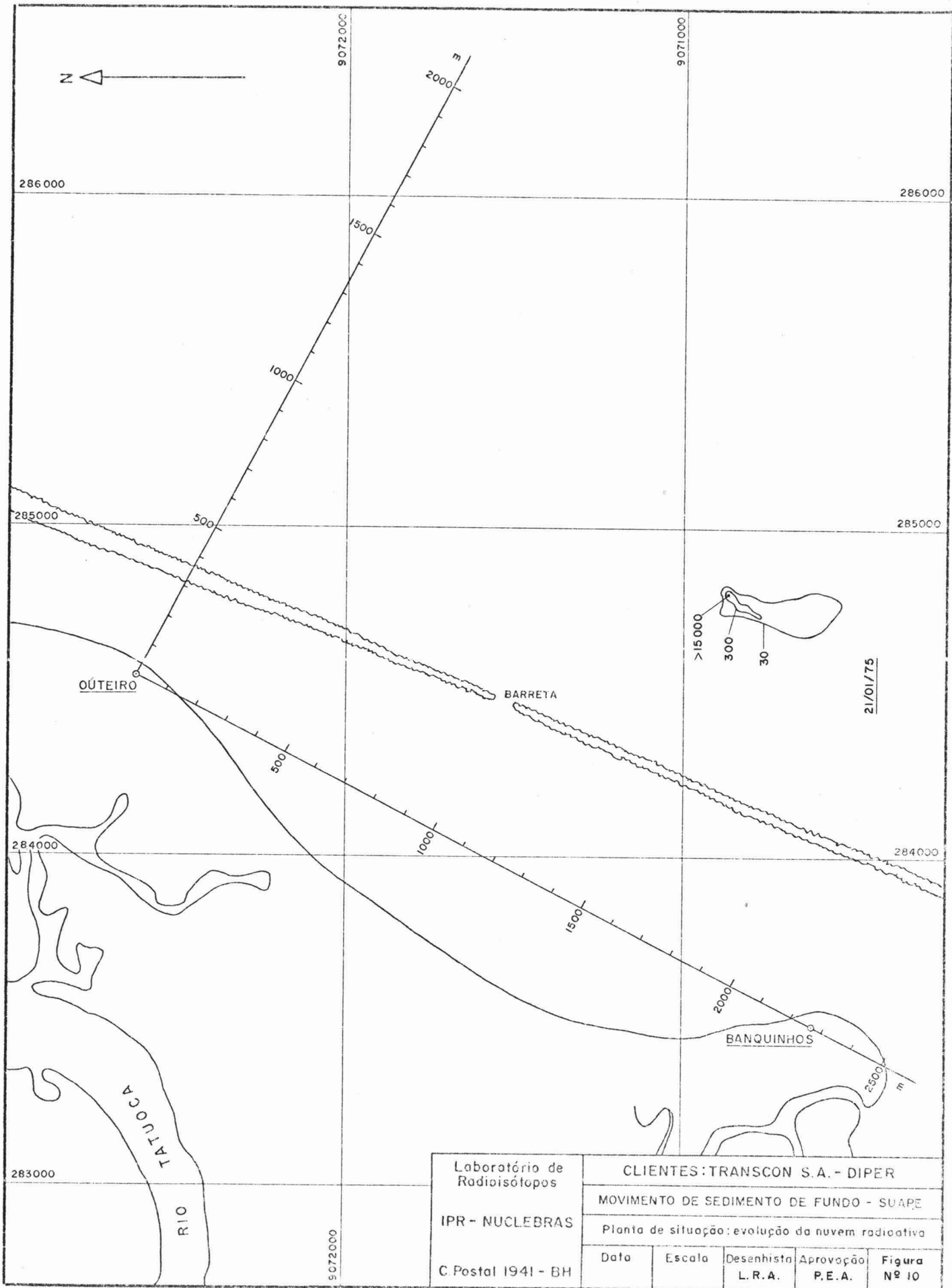
Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C. Postal 1941 - BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Curvas de isocontagem. Detecção de 15/03/75				
	Data	Escala	Desenhista	Aprovação	Figura
	1:2000	L.R.A.	P.E.A.	Nº 07	



Laboratório de Radioisótopos IPR-NUCLEBRAS C. Postal 1941-BH	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Curvas de isocontagem. Detecção de 19/03/75				
	Data	Escala	Desenhista	Aprovação	Figura
	1:2000	L.R.A.	P.E.A.	Nº 08	



Laboratório de Radioisótopos	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER			
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE			
IPR - NUCLEBRAS	Planta de situação: evolução da nuvem radioativa			
C. Postal 1941 - BH	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A. Figura Nº 09

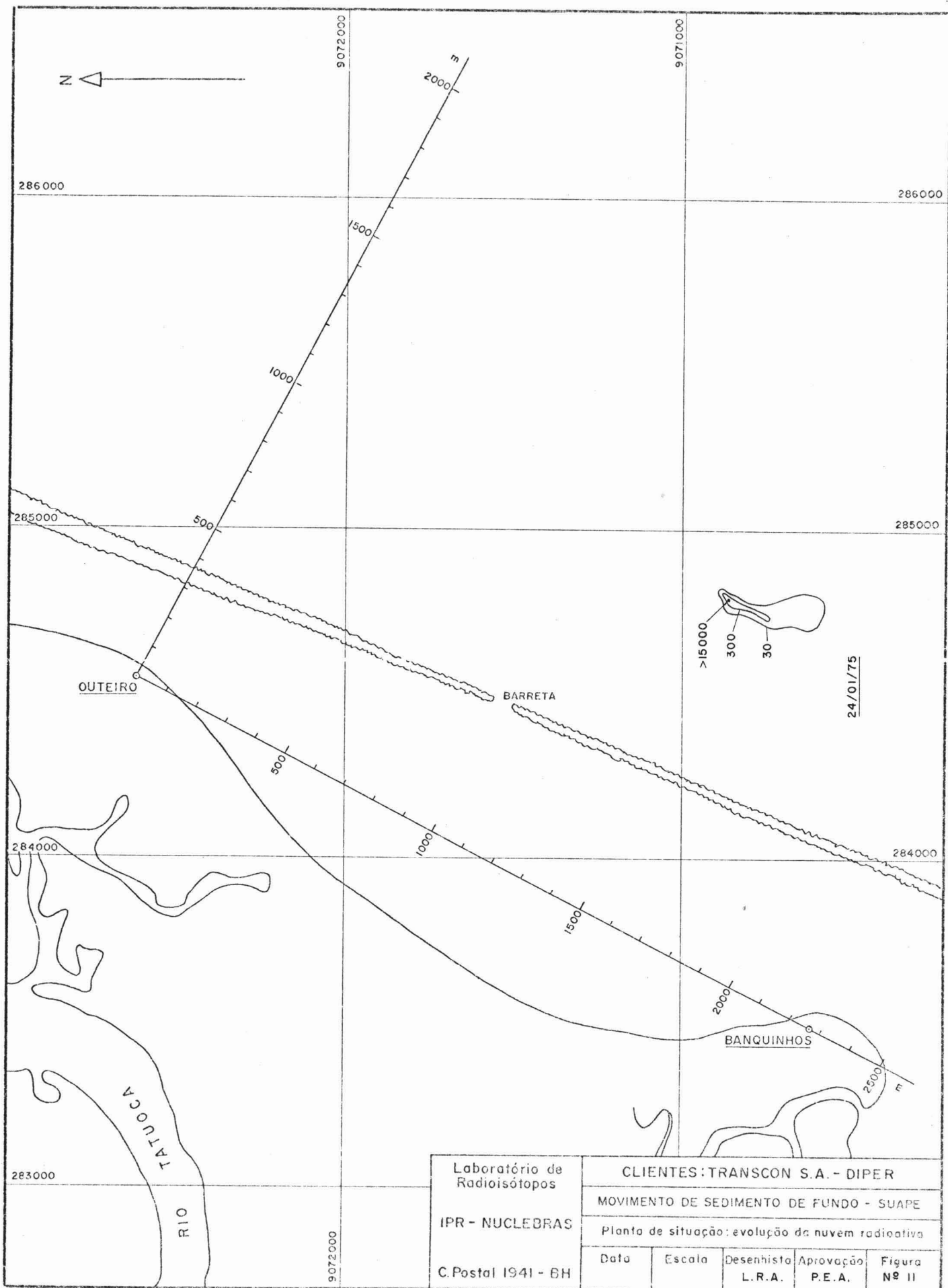


Laboratório de
Radioisótopos

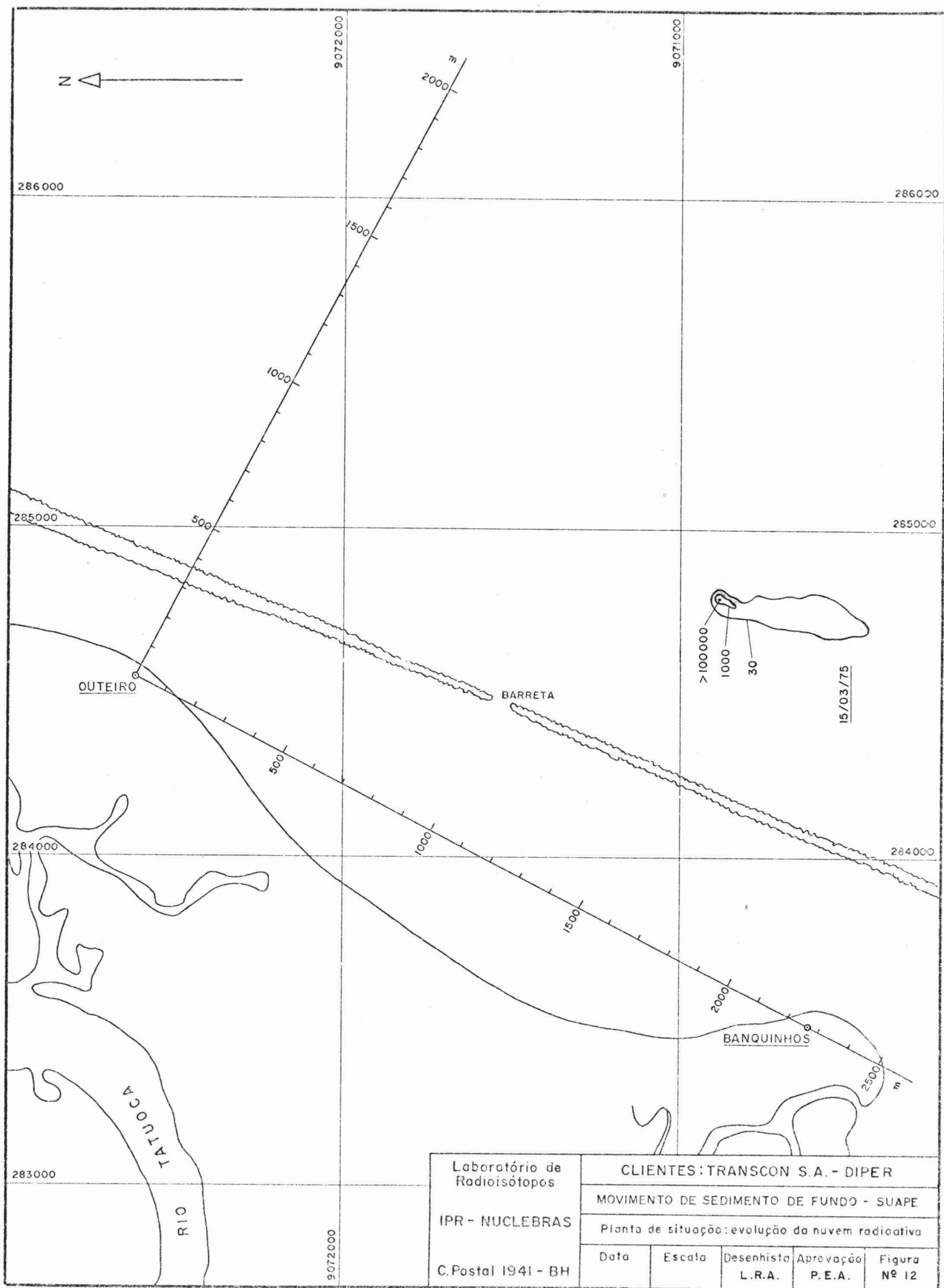
IPR - NUCLEBRAS

C Postal 1941 - BH

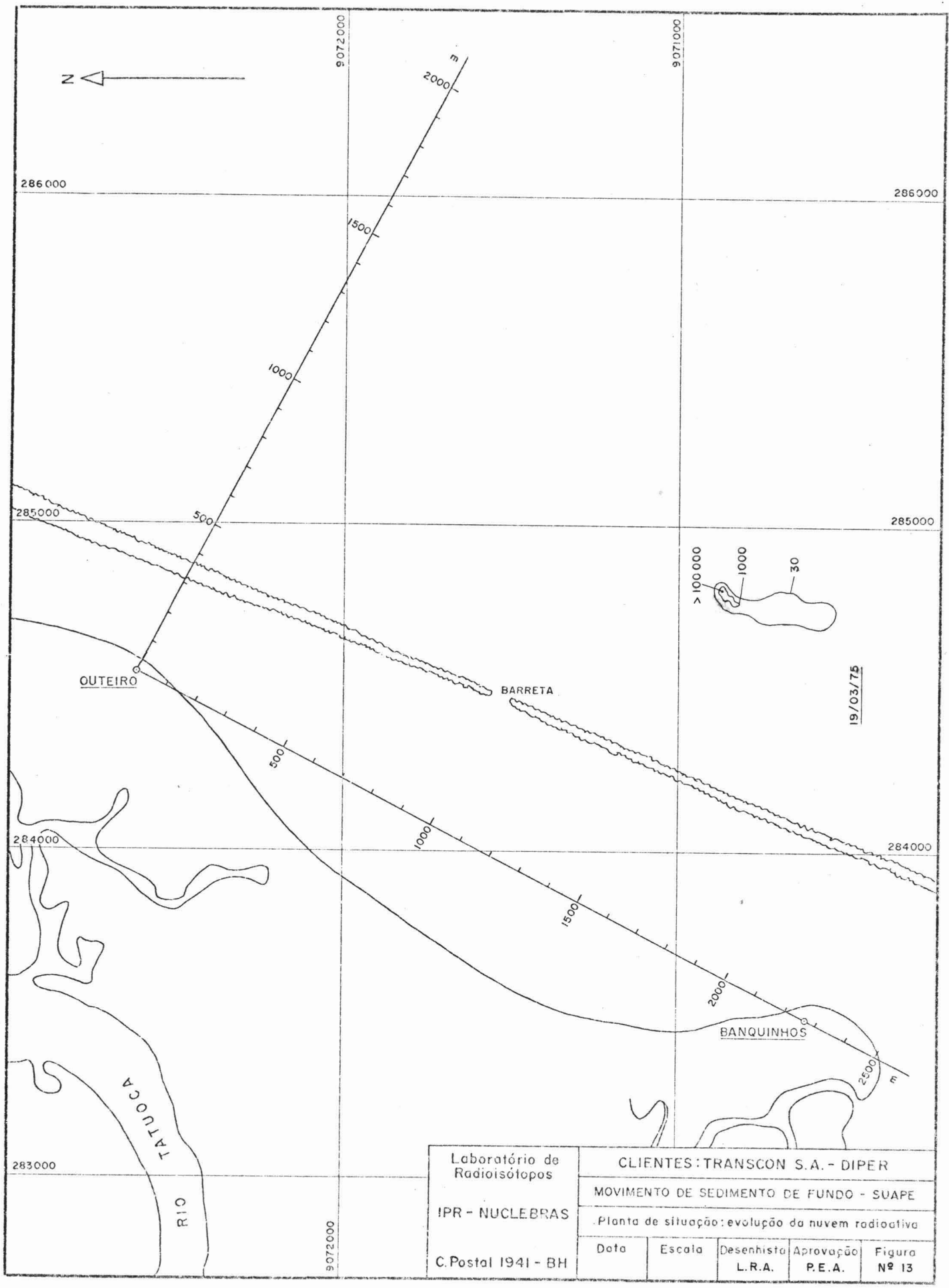
CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER				
MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
Planta de situação: evolução da nuvem radioativa				
Data	Escala	Desenhista	Aprovação	Figura
		L.R.A.	P.E.A.	Nº 10



Laboratório de Radioisótopos		CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER			
IPR - NUCLEBRAS		MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPER			
C. Postal 1941 - BH		Planta de situação: evolução da nuvem radioativa			
Data	Escala	Desenhista	Aprovação	Figura	
		L.R.A.	P.E.A.	Nº II	



Laboratório de Radioisótopos	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Planta de situação: evolução da nuvem radioativa				
IPR - NUCLEBRAS	Data	Escala	Desenhista	Aprovação	Figura
C.Postal 1941 - BH			L.R.A.	P.E.A.	Nº 12



Laboratório de Radioisótopos	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER			
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE			
	Planta de situação: evolução da nuvem radioativa			
C. Postal 1941 - BH	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.
				Figura Nº 13

um valor N , em $\frac{c}{s} \times m^2$, que é utilizado para o cálculo da espessura média de transporte \underline{E} .

A expressão utilizada para determinar \underline{E} tem a forma (1.2)

$$\frac{\alpha N}{\beta f_0 A} = \frac{1 - e^{-\alpha E}}{E} \quad (3.2.1)$$

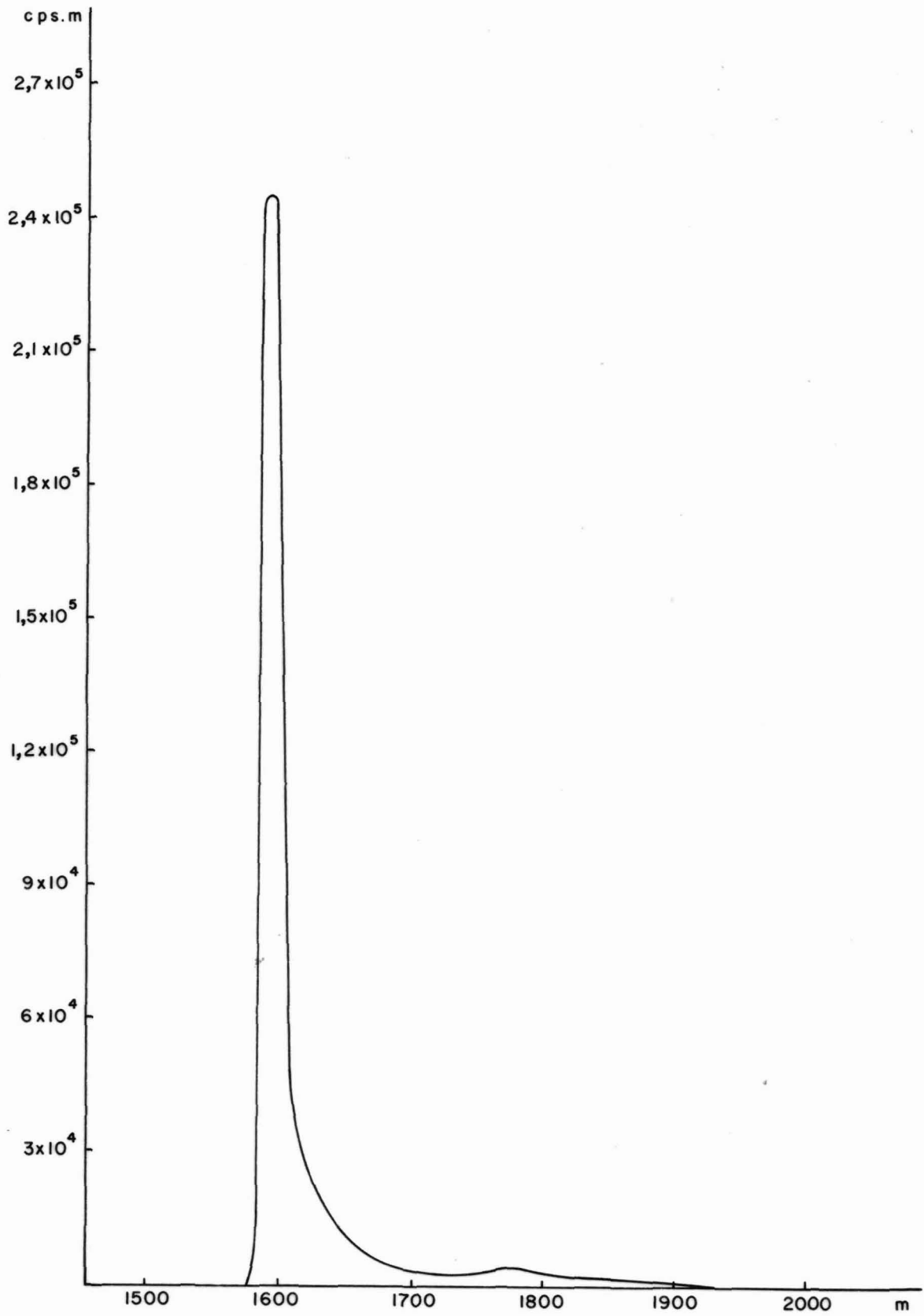
onde

α é um coeficiente de absorção de radiação, que depende das características do material de fundo, situado entre a sonda e o material radioativo, dado em cm^{-1} ;

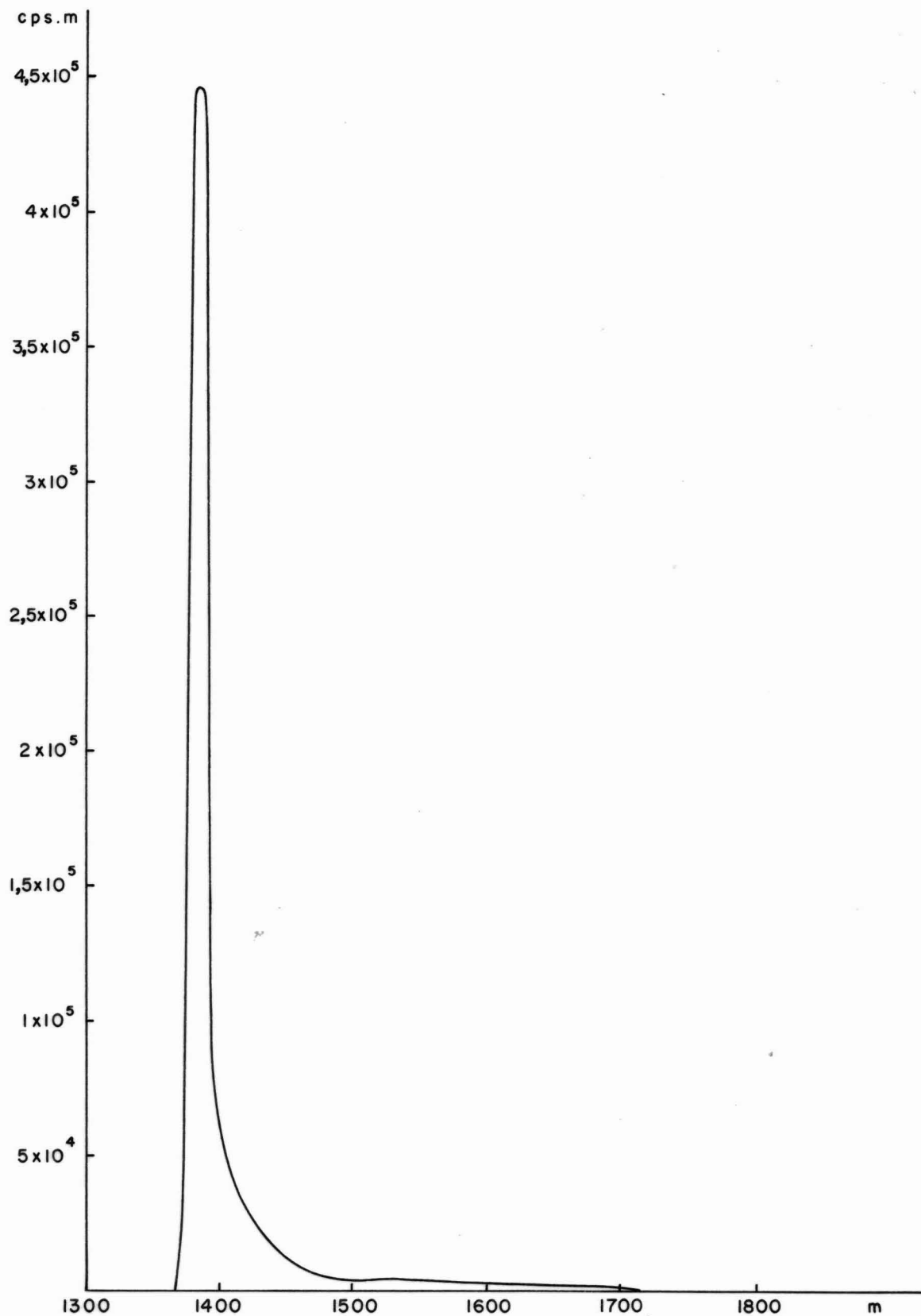
N representa a atividade total recuperada, dado em $\frac{c}{s} \times m^2$;

β é um coeficiente que depende da distribuição do material radioativo em profundidade. Na hipótese de uma distribuição uniforme do material radioativo na camada em movimento, $\beta = 1$; esta hipótese é adotada neste trabalho;

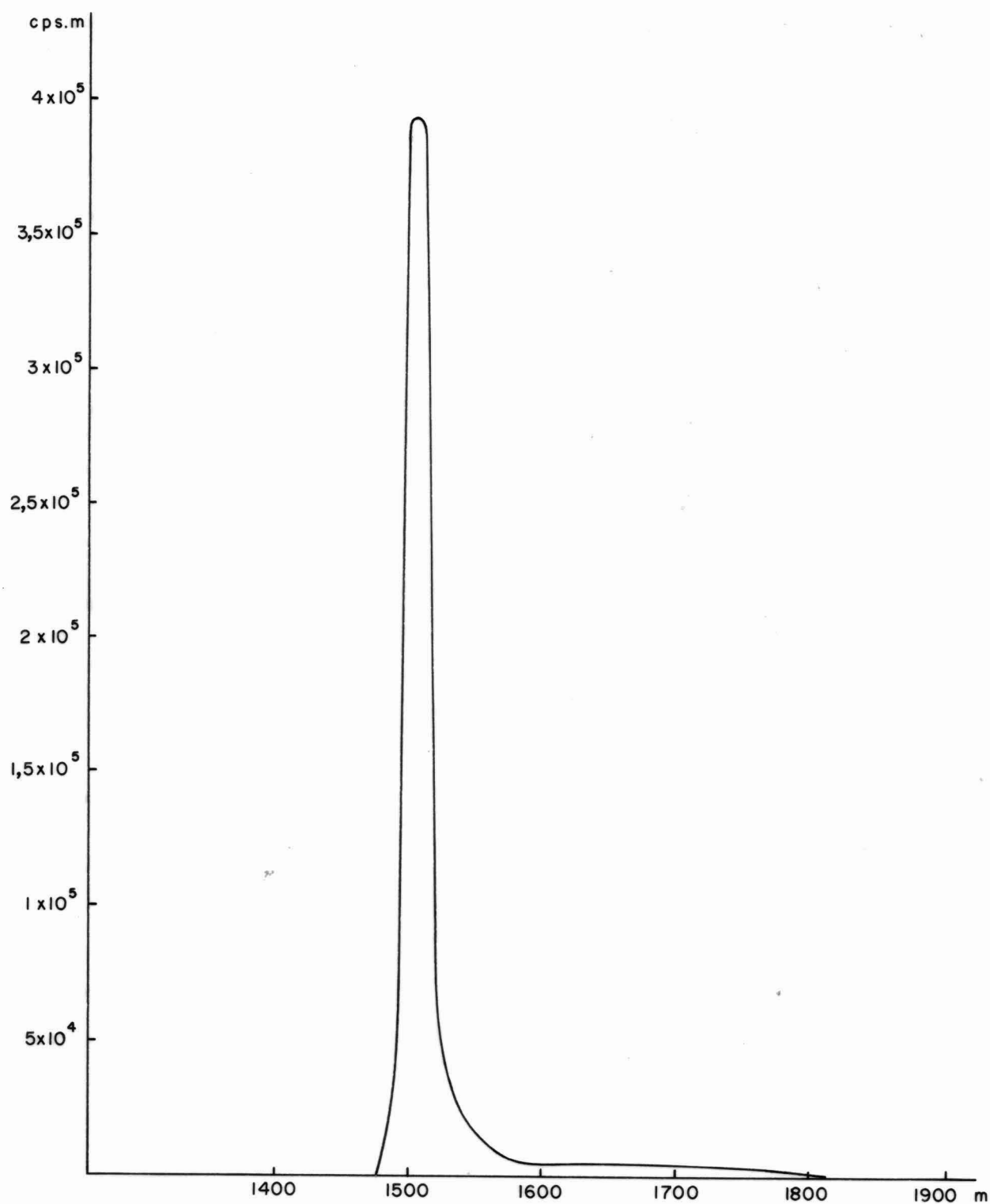
f_0 é a resposta da sonda para uma atividade de $1 \frac{\mu Ci}{m^2}$, distribuída superficialmente e de modo uniforme no fundo a estudar, dado em $c/s / \mu Ci/m^2$;



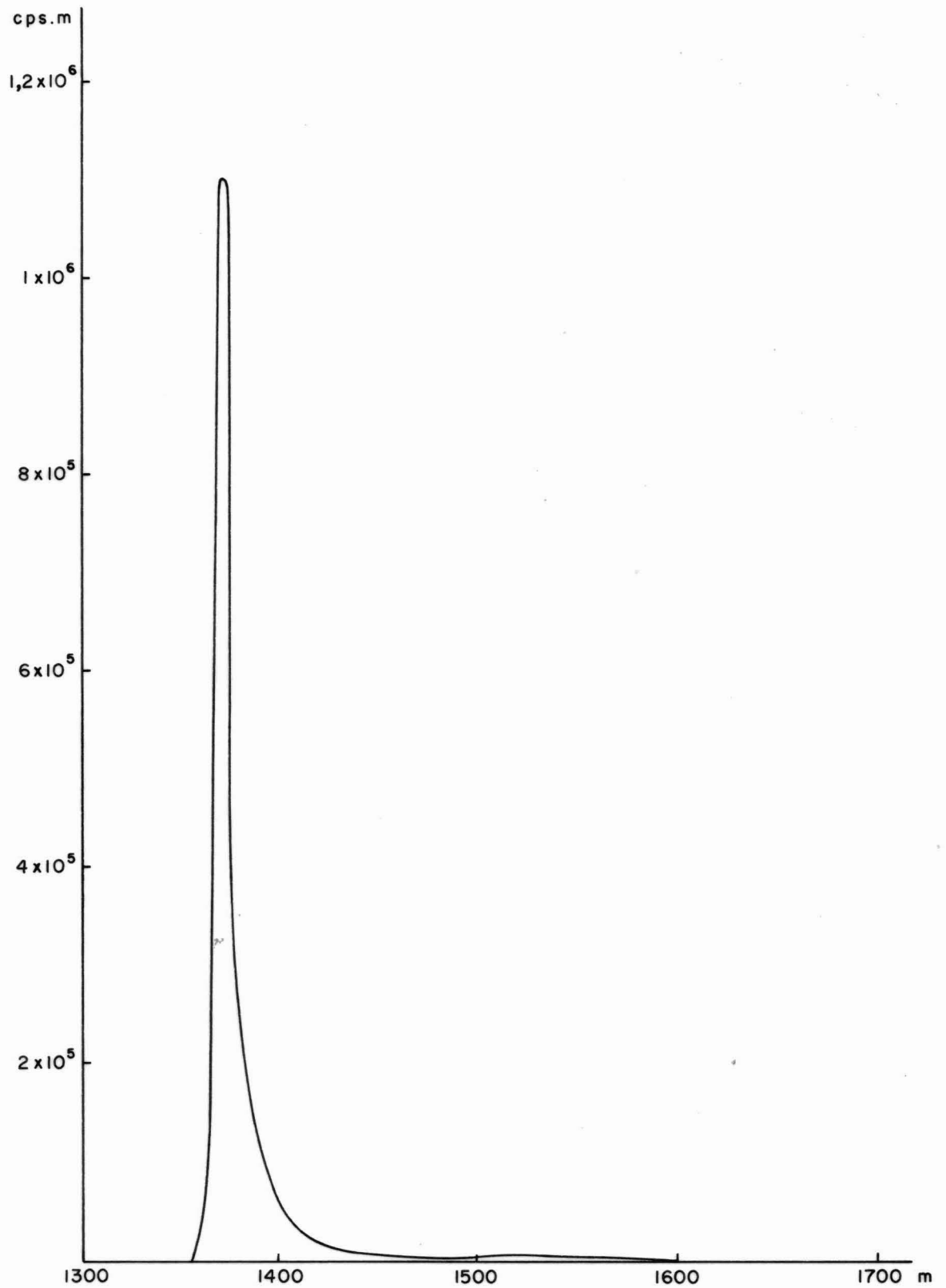
Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C.Postal 1941 - BH	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Diagrama de Transporte . Detecção de 17/01/75				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 14



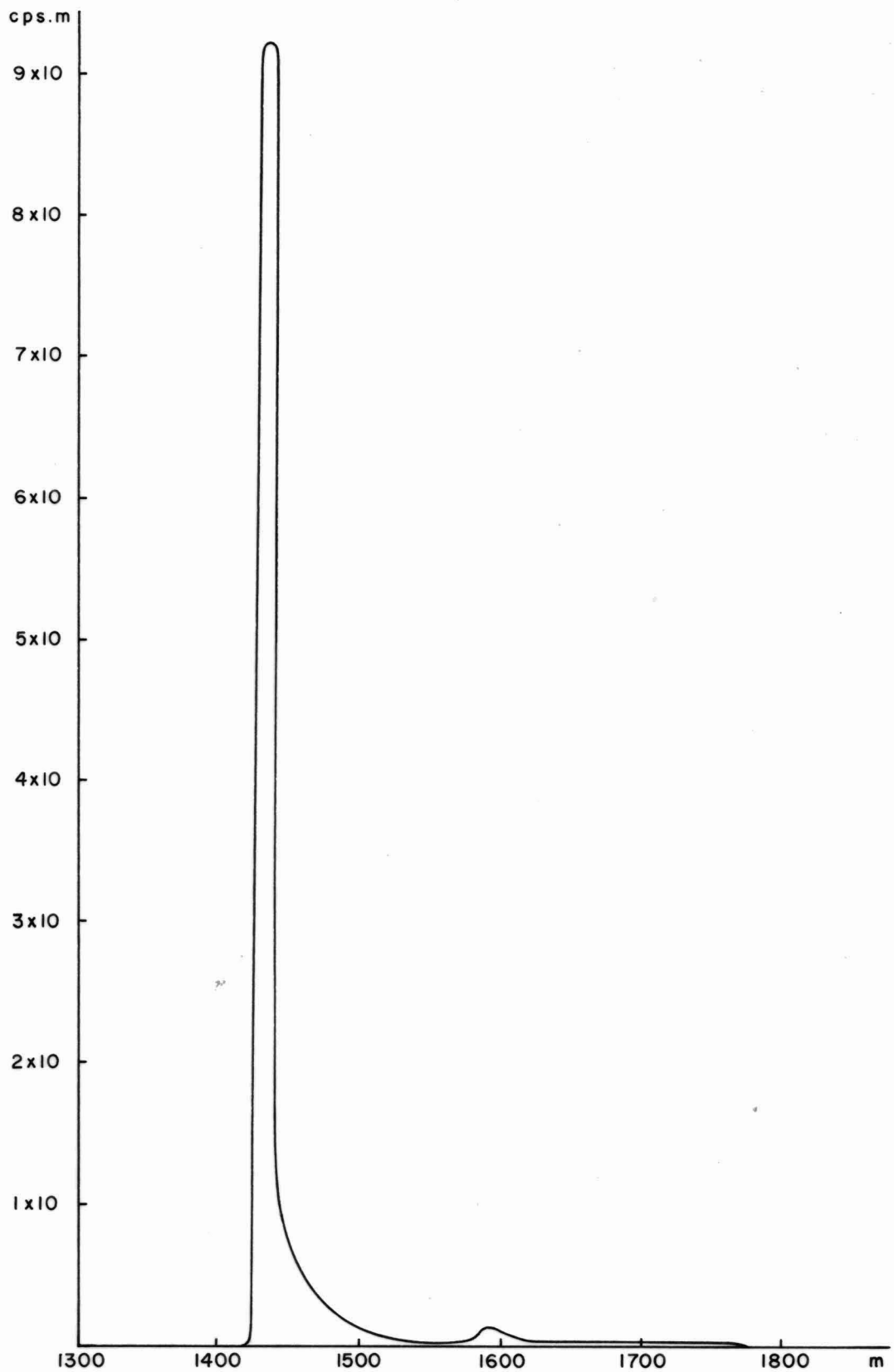
Laboratório de Radioisótopos IPR-NUCLEBRAS C.Postal 1941-BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Diagrama de Transporte. Detecção de 21/01/75				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 15



Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C.Postal 1941-BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Diagrama de Transporte. Detecção de 24/01/75				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 16



Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C. Postal 1941-BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Diagrama de Transporte . Detecção de 15/03/75				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 17



Laboratório de Radioisótopos IPR-NUCLEBRAS C.Postal 1941-BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Diagrama de Transporte . Detecção de 19/03/75				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 18

A é a atividade injetada, em μCi .

No caso em estudo, a sonda utilizada apresentou os seguintes valores de calibração:

$$f_0 = 50 \quad \frac{\text{c}}{\text{s}} / \frac{\mu\text{Ci}}{\text{m}^2}$$

$$\alpha = 0,15 \text{ cm}^{-1}$$

A atividade injetada tinha o valor

$$A = 6,8 \times 10^5 \mu\text{Ci}$$

O valor da recuperação é obtido dividindo-se o valor de N por $f_0 A$; este valor, é também conhecido como "balanço do material radioativo".

Se todo o material injetado estivesse distribuído superficialmente e se a detecção cobrisse toda a superfície ativa, a recuperação obtida seria 100%. Em uma detecção perfeita, a diminuição do valor da recuperação é causada pelo fato do radioisótopo mover-se em uma camada de espessura E; portanto, parte da radiação por ele emitida é absorvida pelo material de fundo. É esta propriedade que permite o cálculo da espessura média de transporte.

Em nosso caso, a simples observação dos diagramas de transporte mostra que um pico de atividade muito alta permaneceu na área de injeção. Esta característica apare

ce no caso de transporte superficial, isto é, no caso do transporte realizar-se apenas em uma camada fina. Os valores de N e da recuperação obtidos são apresentados na Tabela 1.

Data	N(c/s x m ²)	Recuperação (%)
17/01	6,4 x 10 ⁶	19
21/01	8,9 x 10 ⁶	26
24/01	1,1 x 10 ⁷	32
15/03	1,44x 10 ⁷	42
19/01	1,64x 10 ⁷	48

Observa-se, neste quadro, que os valores da recuperação do material radioativo crescem do início para o fim do trabalho.

Como praticamente todo o radioisótopo está situado na região do pico, o crescimento do valor de N indicaria um aumento na área sob o pico, ou seja, que, com o decorrer do tempo, mais material radioativo se concentrou na aquela região. Isto não é fisicamente possível, pois não há nenhum mecanismo capaz de concentrar novamente os grãos radioativos que tenham abandonado a área.

A tabela indica, portanto, que a região do pico, nas detecções de janeiro, foi coberta com precisão insuficiente. Este fato é comum em casos de pequena movimentação

ção do material, quando o radioisótopo fica concentrado em uma área muito pequena. Nas detecções de março, as recuperações foram bastante próximas uma da outra; a melhoria nos resultados deve-se, principalmente, ao estado do mar neste período, muito calmo, permitindo que a navegação fosse feita com maior precisão.

Considerando que as detecções apresentaram as mesmas características, era necessário corrigir a área sob o pico, nas detecções de janeiro, para os valores obtidos em março. No caso geral, isto alteraria a posição do centro de gravidade das nuvens radioativas de janeiro, pois teríamos aumentado a quantidade de material radioativo na região do pico. No caso presente, a posição do centro de gravidade, praticamente não se altera, já que ele está muito próximo da região de atividade mais alta, na qual está concentrado todo o material injetado.

Assim, as posições dos centros de gravidade foram calculados sem que se incluísse, nas detecções de janeiro, os máximos de atividade detectados em março.

Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Data	X_G	Y_G
17/01	1459	1040
21/01	1449	1038
24/01	1455	1036
15/03	1436	1028
19/03	1438	1034

Para o cálculo final, englobamos as 2 últimas de tecções de Janeiro em uma só, tomando a média dos valores das coordenadas do centro de gravidade como representativo da posição da nuvem.

O mesmo foi feito para as detecções de Março. Neste caso, temos

Data	N	X _G	Y _G
22/01	1.6 x 10 ⁷	1454	1039
17/03	1.6 x 10 ⁷	1437	1031

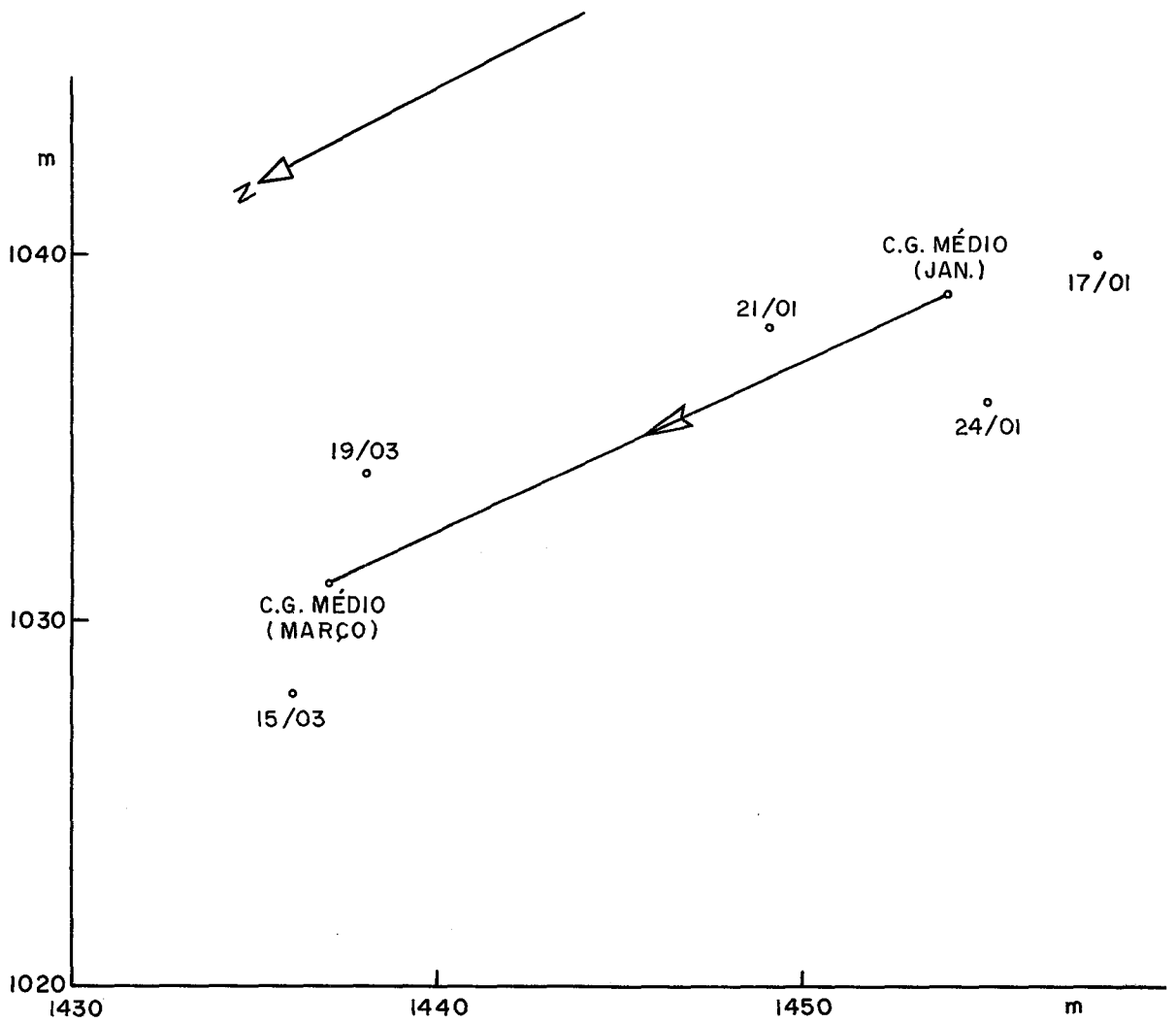
A distância percorrida entre 22/01 e 17/03 - portanto, em 54 dias - foi de 18,8m. Isso corresponde a uma velocidade média

$$V_m = 0,35\text{m/dia}$$

Para o valor de N utilizado, a espessura de transporte \bar{e} deduzida de (3.2.1), obtendo-se

$$\frac{1 - e^{-\alpha E}}{E} = 0,071$$

ou seja, $E = 0,11\text{m}$.



Laboratório de Radioisótopos	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO-SUAPE				
IPR-NUCLEBRAS	Posições do centro de gravidade da nuvem (-10 m)				
	Data	Escala	Desenhista	Aprovação	Figura
C.Postal 1941-BH			L.R.A.	P.E.A.	Nº 19

Logo, aplicando-se a expressão (2.),

$$Q = \rho V_m L E$$

para, $L = 1\text{m}$, obtem-se $Q = 0,06\text{t/m.dia} = 60 \frac{\text{kg}}{\text{m.dia}}$.

Isto corresponde a um volume de $0,04\text{m}^3$ por metro linear e por dia, o que é desprezível.

A Figura 19 mostra as posições sucessivas dos centros de gravidade da nuvem, e indica que o movimento existente é feito para o norte.

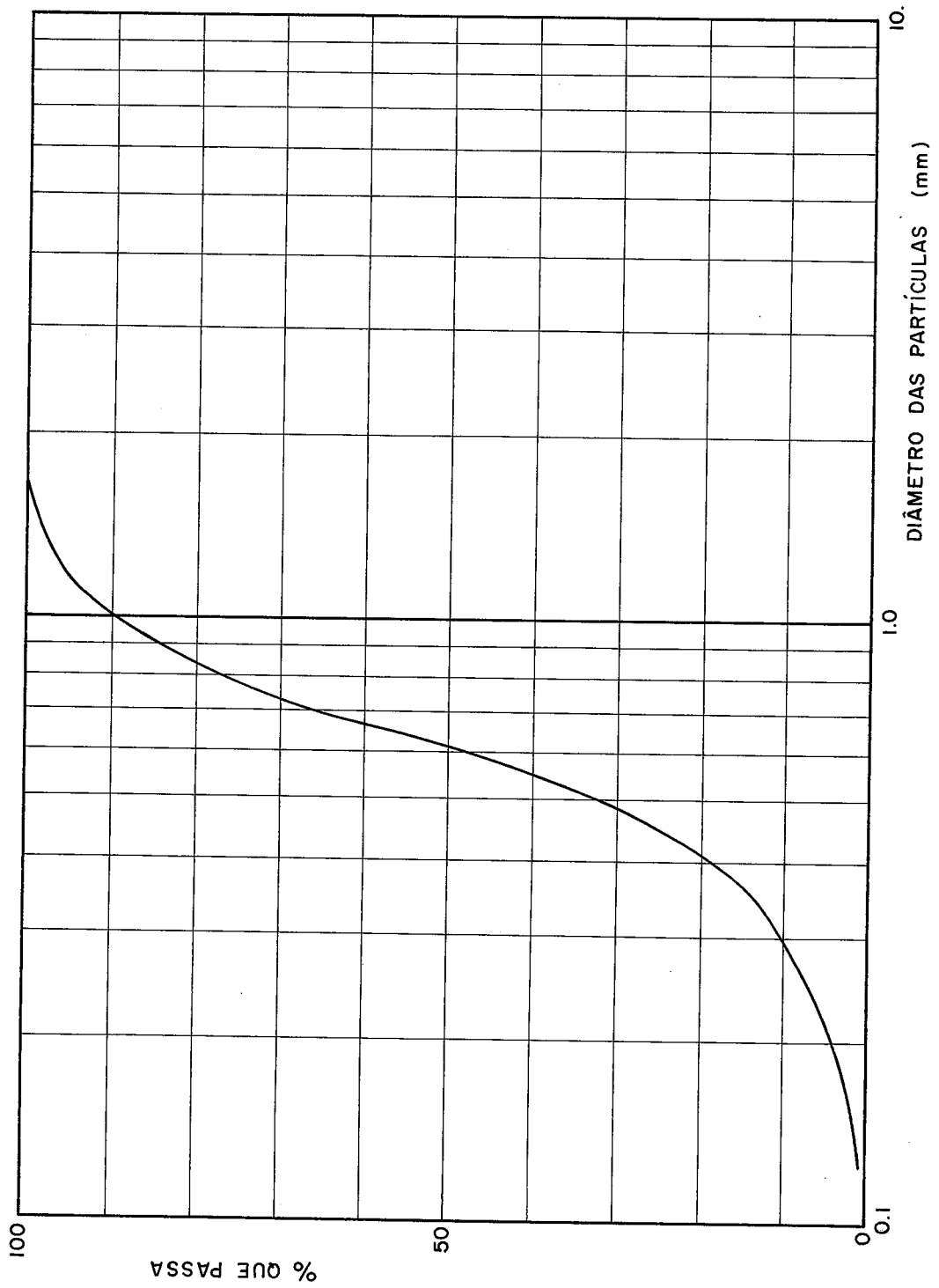
Conclui-se, portanto, que, na profundidade de 10m e em condições de verão, o material ao largo da barreira de recifes, em Suape, praticamente não se movimenta.

O pequeno movimento observado se faz para o norte.

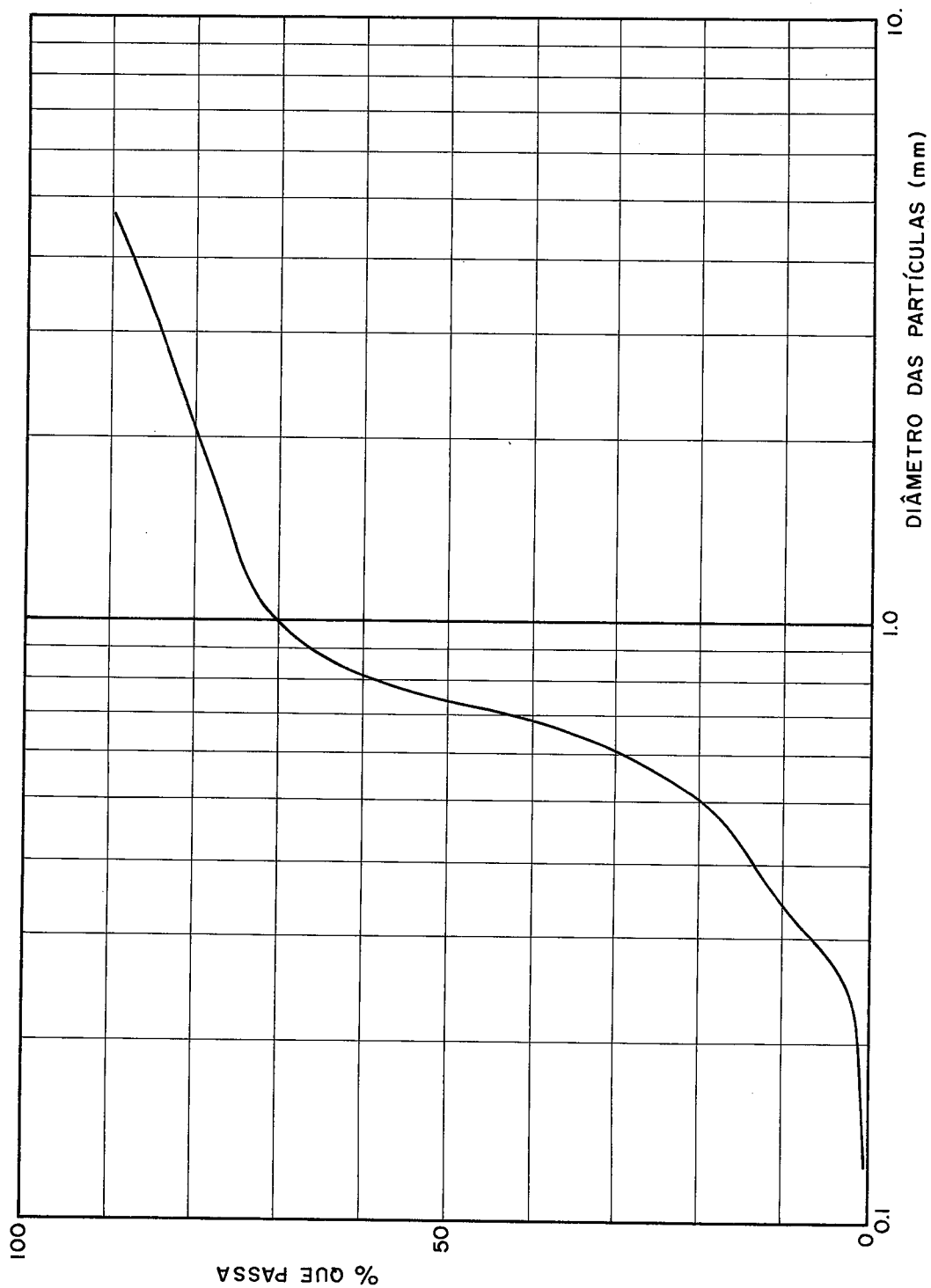
3.3. ANÁLISE DA INJEÇÃO NA ISÓBATA DE -13m.

A injeção na isóbata de -13m foi realizada no dia 16 de janeiro, às 17:40 horas, cerca de 30 minutos antes da estofa de preamar de uma maré de sizígia com amplitude de 2,1m.

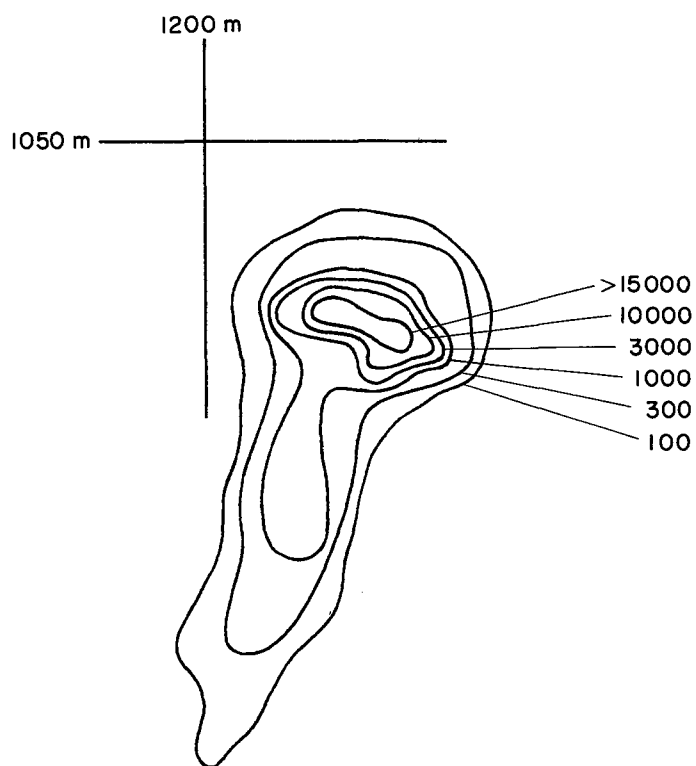
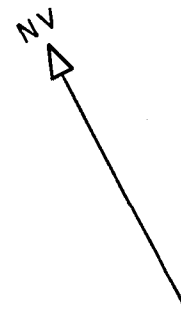
O ponto de injeção situava-se quase em frente à Barreta. O material injetado constou de 300g de vidro moído, marcado com irídio, com a granulometria apresentada na Figura 20. Esta curva havia sido utilizada anteriormente, na injeção de inverno. A Figura 21 apresenta a análise



Laboratório de Radioisótopos IPR-NUCLEBRAS C.Postal 1941-BH	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Curva granulométrica do material injetado (-13m)				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 20



Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C. Postal 1941 - BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Curva granulométrica do material coletado próximo ao ponto de injeção (-13 m)				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 21



Laboratório de Radioisótopos IPR-NUCLEBRAS C. Postal 1941 - BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER			
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO-SUAPE			
	Curvas de isocontagem. Detecção de 20/01/75			
Data	Escala 1:1000	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 22

granulométrica do material de fundo, coletado nas proximidades do ponto de injeção pela equipe do L.RI.

O valor de d_{50} para a amostra injetada era de 0,60mm e o da amostra real era 0,74mm.

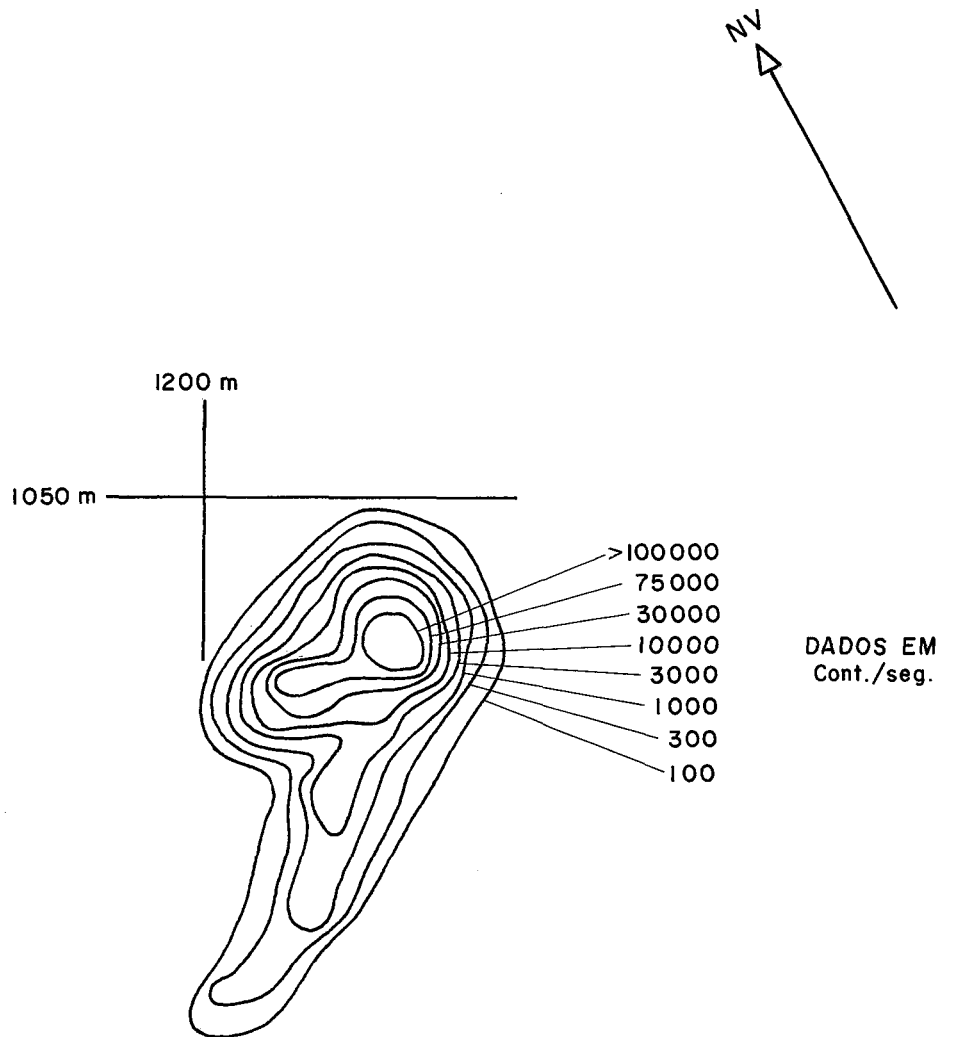
O fundo apresentava, como no caso da injeção a -10m, grande quantidade de pequenas pedras, sendo bastante consistente. De um modo geral, o material de fundo é mais grosso que o material injetado; isto quer dizer que os resultados experimentais são um valor por excesso do transporte sólido por arraste.

Foram realizadas quatro detecções, além da detecção de mise-en-place, nas datas de 20 a 23 de Janeiro e 17 e 20 de Março.

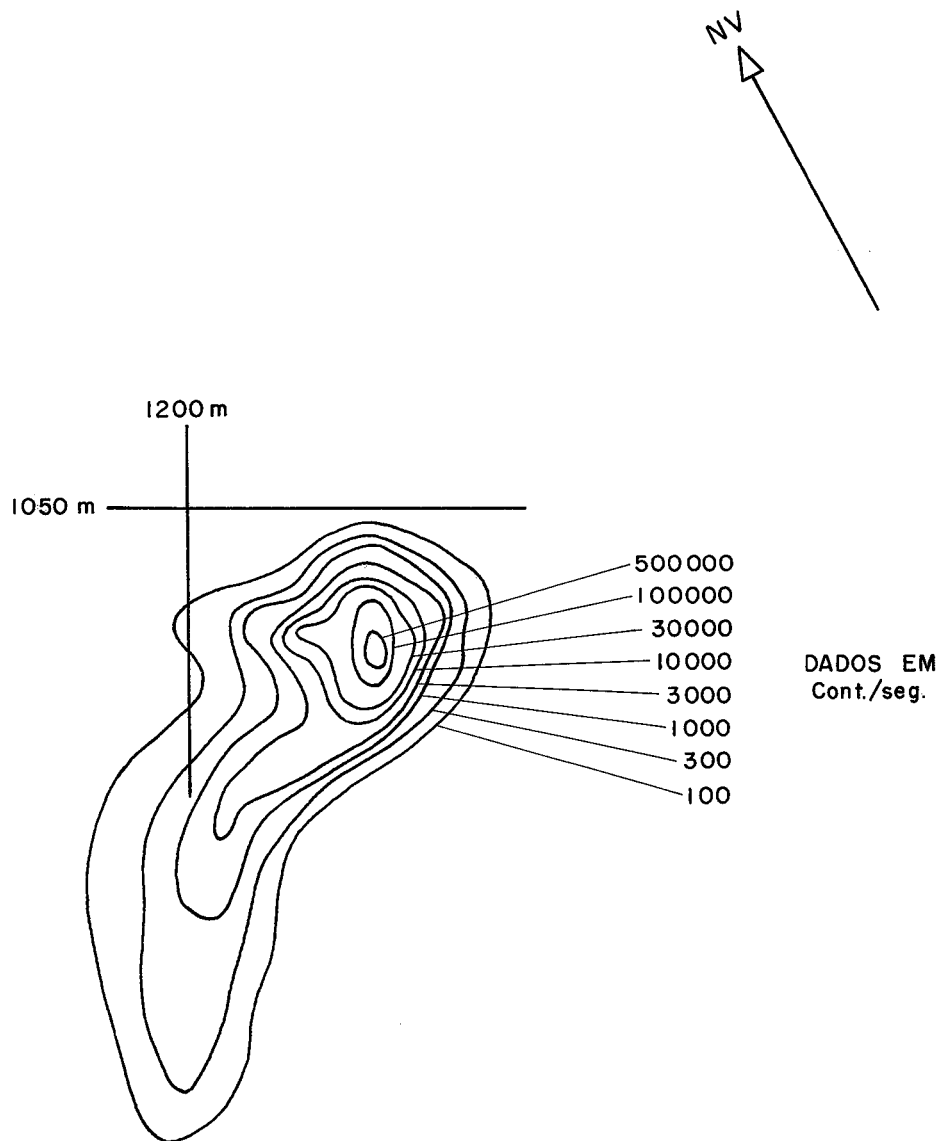
As curvas de isocontagem referentes a estas detecções são apresentadas nas Figuras 22, 23, 24 e 25. Como na profundidade anterior, houve um espalhamento inicial do traçador para o sul (Fig. 22), logo após a injeção. Ele foi menor, neste caso, tendo a nuvem inicial um comprimento de 80m e a largura de 20 a 30m. Esta detecção é tomada como origem, tanto para o tempo, como para a configuração do material radioativo. A comparação das Figuras 22, 23, 24 e 25 mostra que a forma das nuvens variou pouco entre as várias detecções, o que indica pequena movimentação do material.

As detecções de Março mostram um pequeno deslocamento da região mais ativa para o norte.

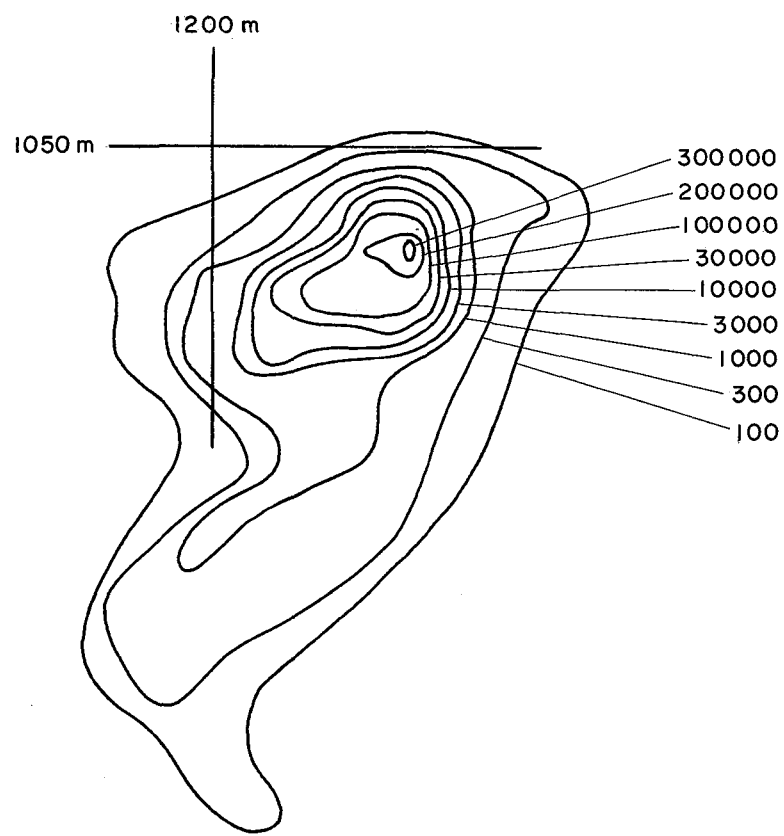
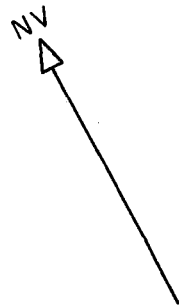
A localização geográfica das nuvens é mostrada nas Figuras 26, 27, 28 e 29. Os resultados quantitativos são baseados nos diagramas de transporte, apresentados nas Fi



Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C. Postal 1941 - BH	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO-SUAPE				
	Curvas de isocontagem. Detecção de 23/01/75				
	Data	Escala 1:1000	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 23

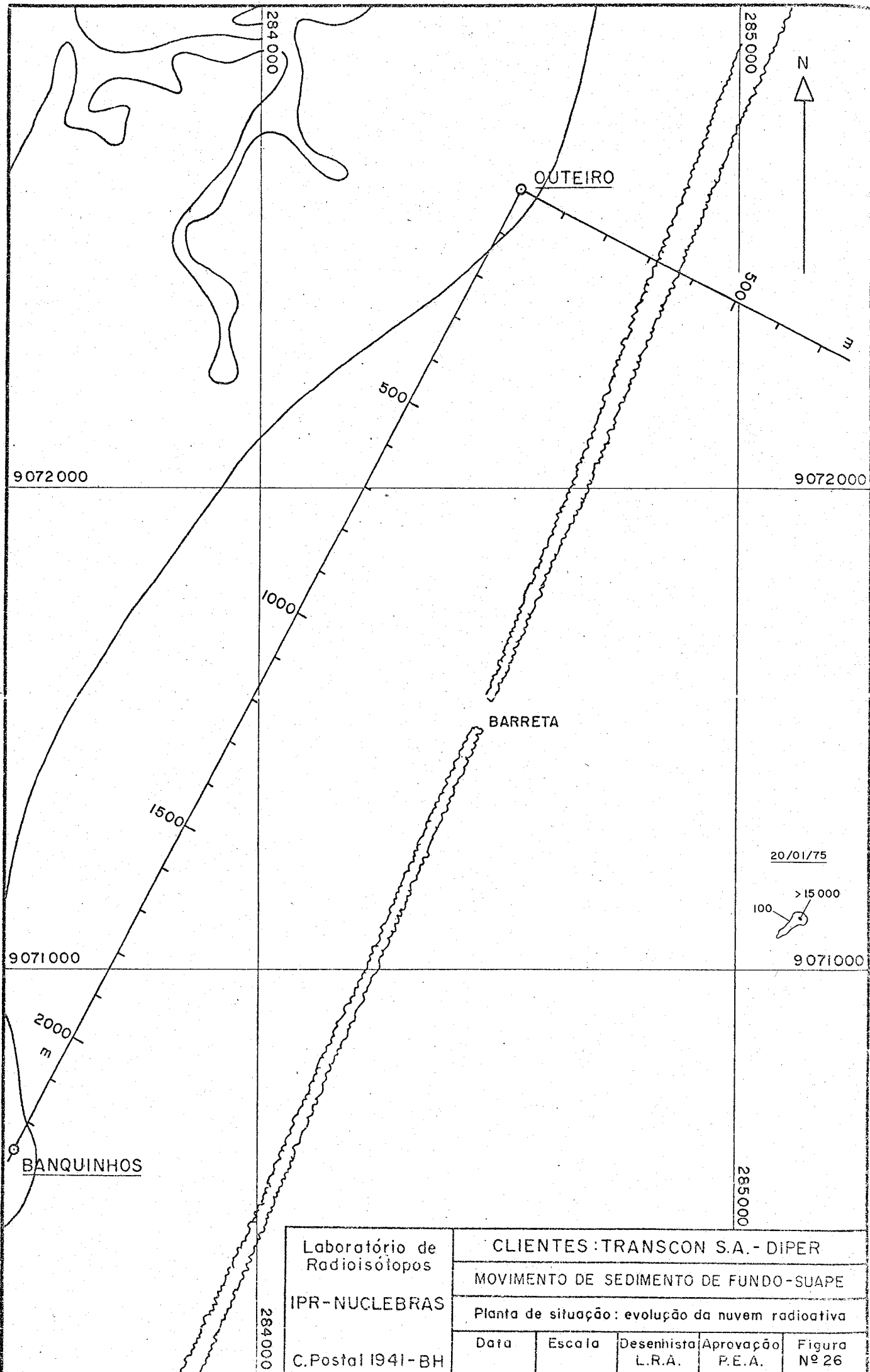


Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C.Postal 1941 - BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Curvas de isocontagem. Detecção de 17-18/03/75				
	Data	Escala 1:1000	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 24



DADOS EM
Cont/seg.

Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C. Postal 1941 - BH	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Curvas de isocontagem. Detecção de 20/03/75				
	Data	Escala 1:1000	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 25



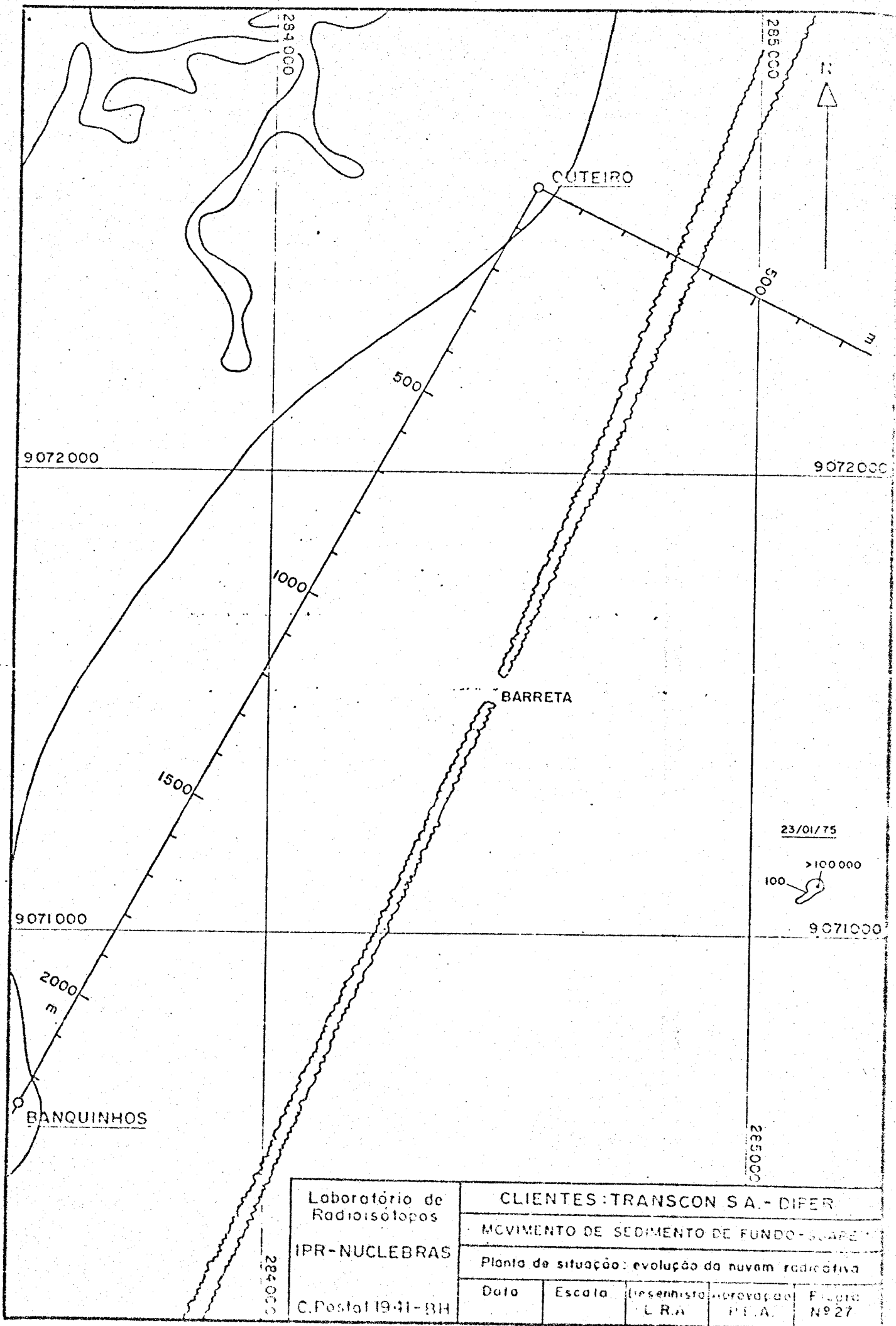
Laboratório de
Radioisótopos

IPR-NUCLEBRAS

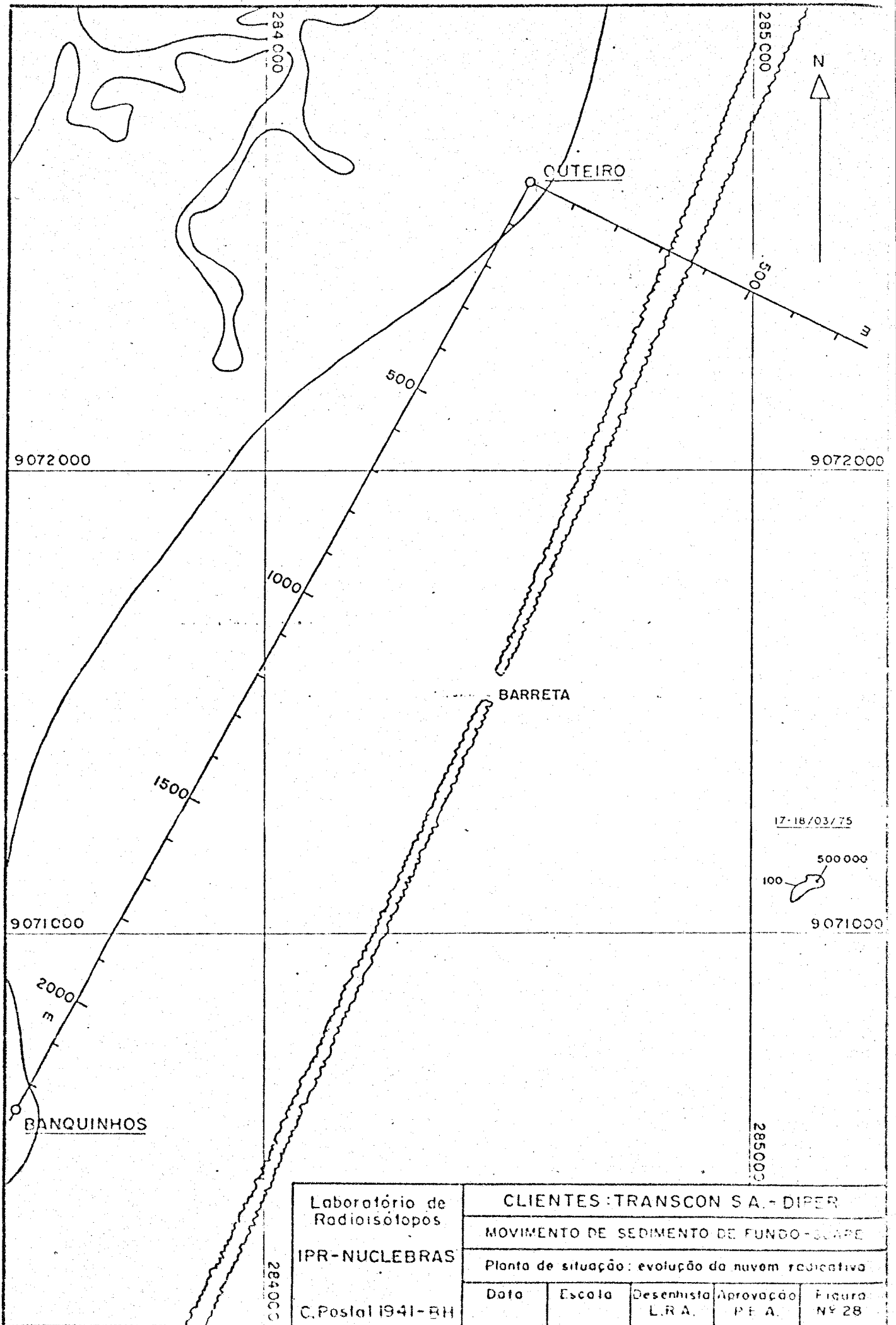
C.Postal 1941-BH

CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIPER
 MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO-SUAPE
 Planta de situação: evolução da nuvem radioativa

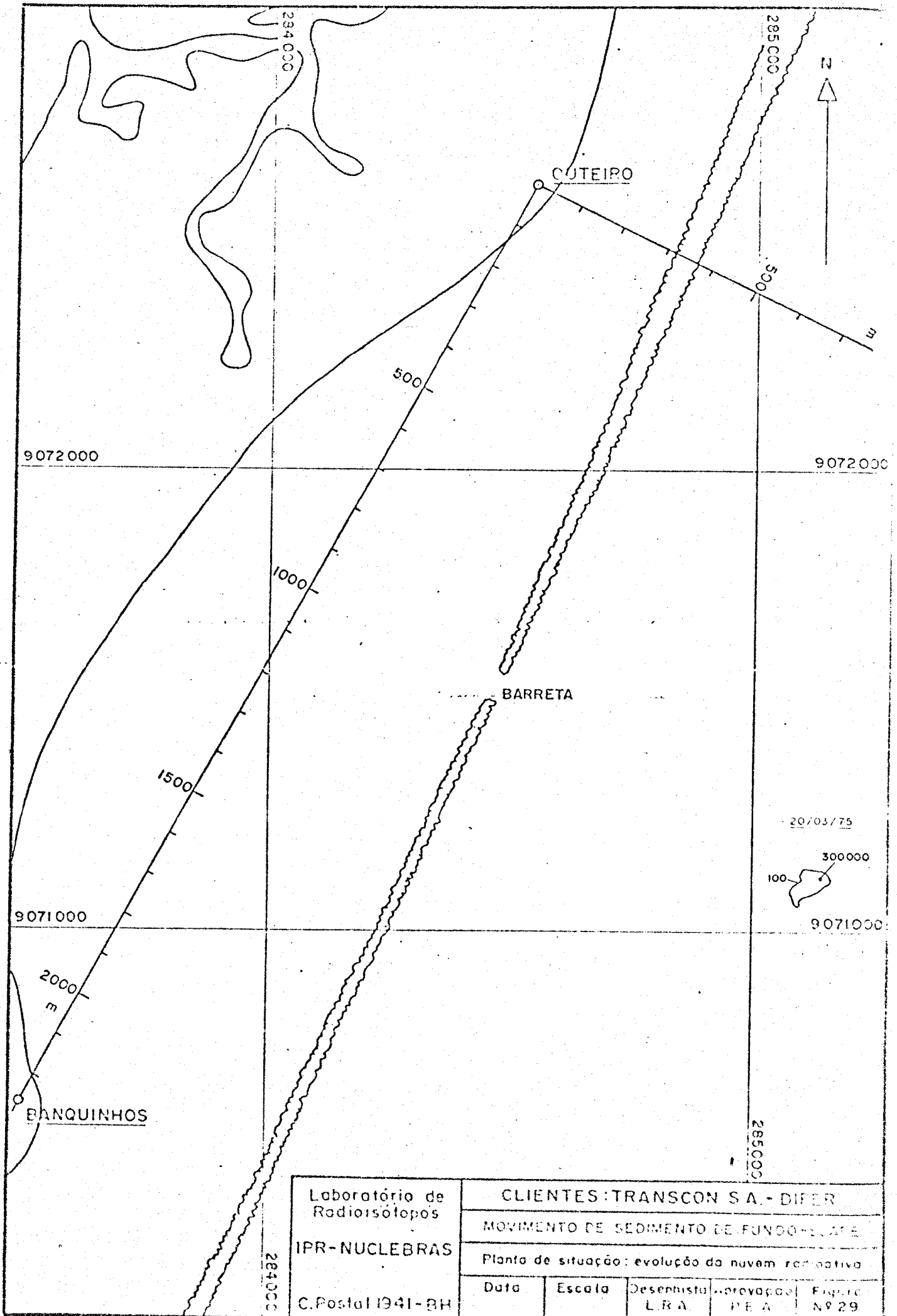
Data	Escala	Desenhista	Aprovação	Figura
		L.R.A.	P.E.A.	Nº 26



Laboratório de Radioisótopos	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIFER			
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO-SUAPE			
IPR-NUCLEBRAS	Planta de situação: evolução da nuvem radioativa			
	Data	Escala	Desenhista	Provação
C. Postal 1941-BH		L.R.A.	P.E.A.	Folha Nº 27



Laboratório de Radioisótopos	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNGO-SCAPE				
IPR-NUCLEBRAS	Planta de situação: evolução da nuvem radioativa				
	Data	Escala	Desenhista	Aprovação	Figura
C. Postal 1941-BH			L.R.A.	P.E.A.	Nº 28



Laboratório de Radiosótopos IPR-NUCLEBRAS C. Postal 1941-BH	CLIENTES: TRANSCON S.A. - DIFER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO-LAKE				
	Planta de situação: evolução da nuvem radioativa				
	Data	Escala	Desenhista	Aprovação	Fig. nº
		L.R.A.	P.E.A.	Nº 29	

guras 30, 31, 32 e 33.

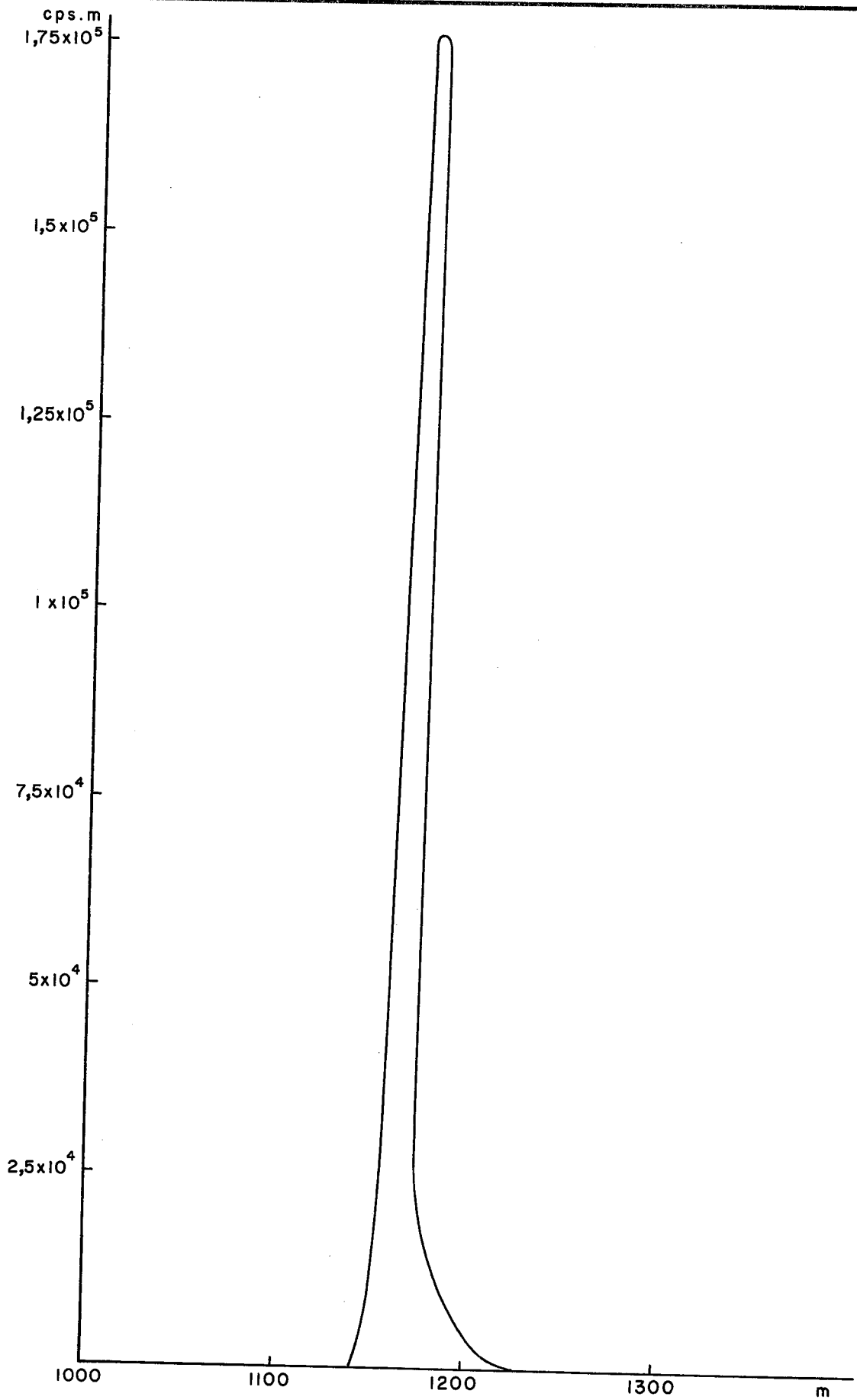
A observação dos diagramas mostra que a quase totalidade do material radioativo manteve-se nas proximidades do ponto de injeção, o que indica transporte superficial. Os valores da área N dos diagramas e das recuperações, para uma atividade injetada de $A = 1,1 \times 10^6 \mu\text{Ci}$, são mostrados na Tabela 3.

Data	N(c/s x m ²)	Recuperação (%)
20/01	$3,0 \times 10^6$	5
23/01	$2,7 \times 10^7$	49
17/03	$4,2 \times 10^7$	76
20/03	$4,6 \times 10^7$	84

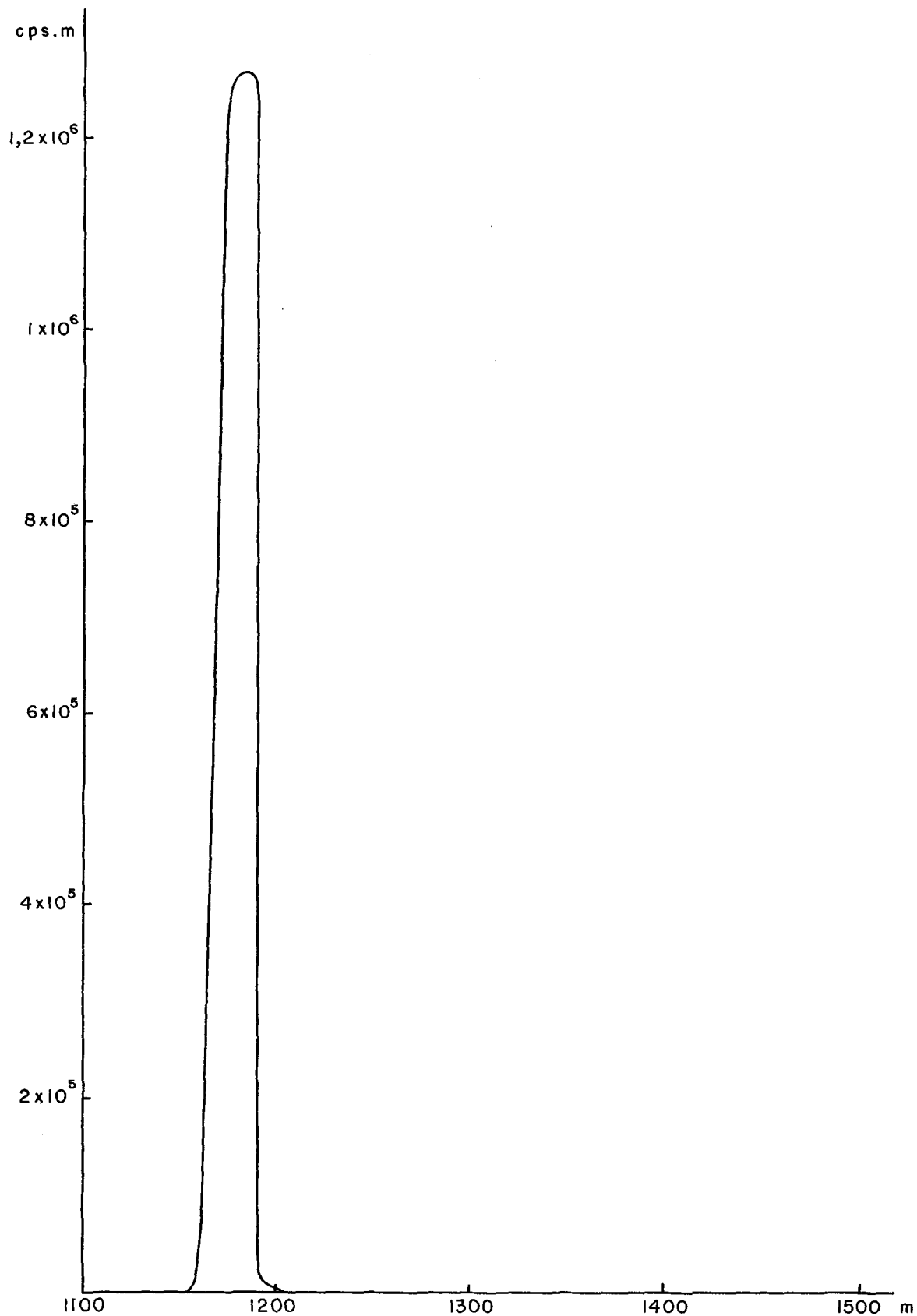
A detecção de 20/01 foi executada apenas para for necer os primeiros dados sobre a distribuição espacial do traçador e não será utilizada nos cálculos posteriores.

O valor da recuperação de 23/01 é baixo, mostrando que o pico, onde está concentrado quase todo o radioisótopo, foi coberto com precisão insuficiente. O seu valor de ve ser corrigido para igualar os obtidos em 17 e 20 de Março.

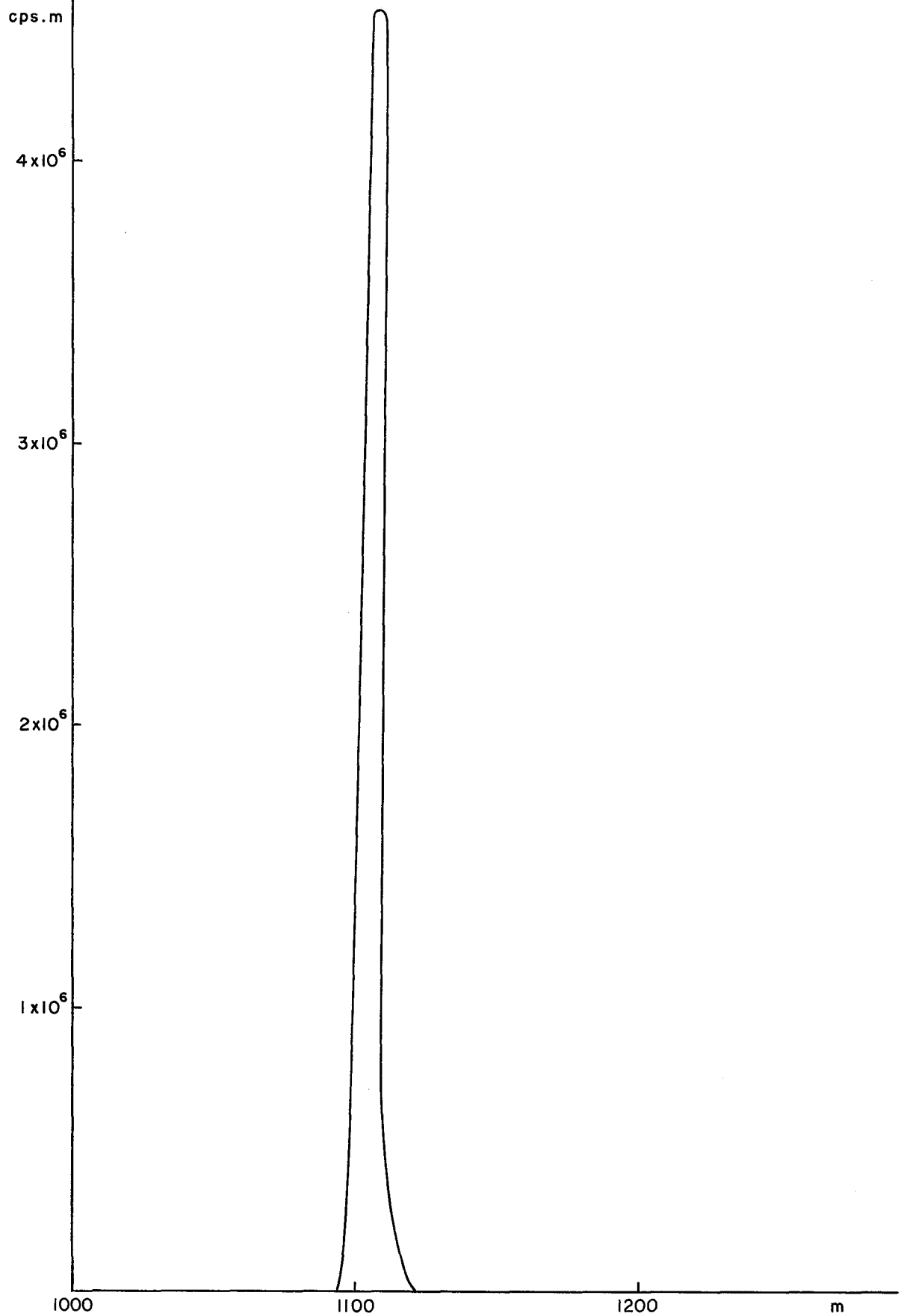
Entretanto, estando o centro de gravidade das nuvens bem próximo da região mais ativa, esta correção não acarreta modificações na posição dos centros de gravidade



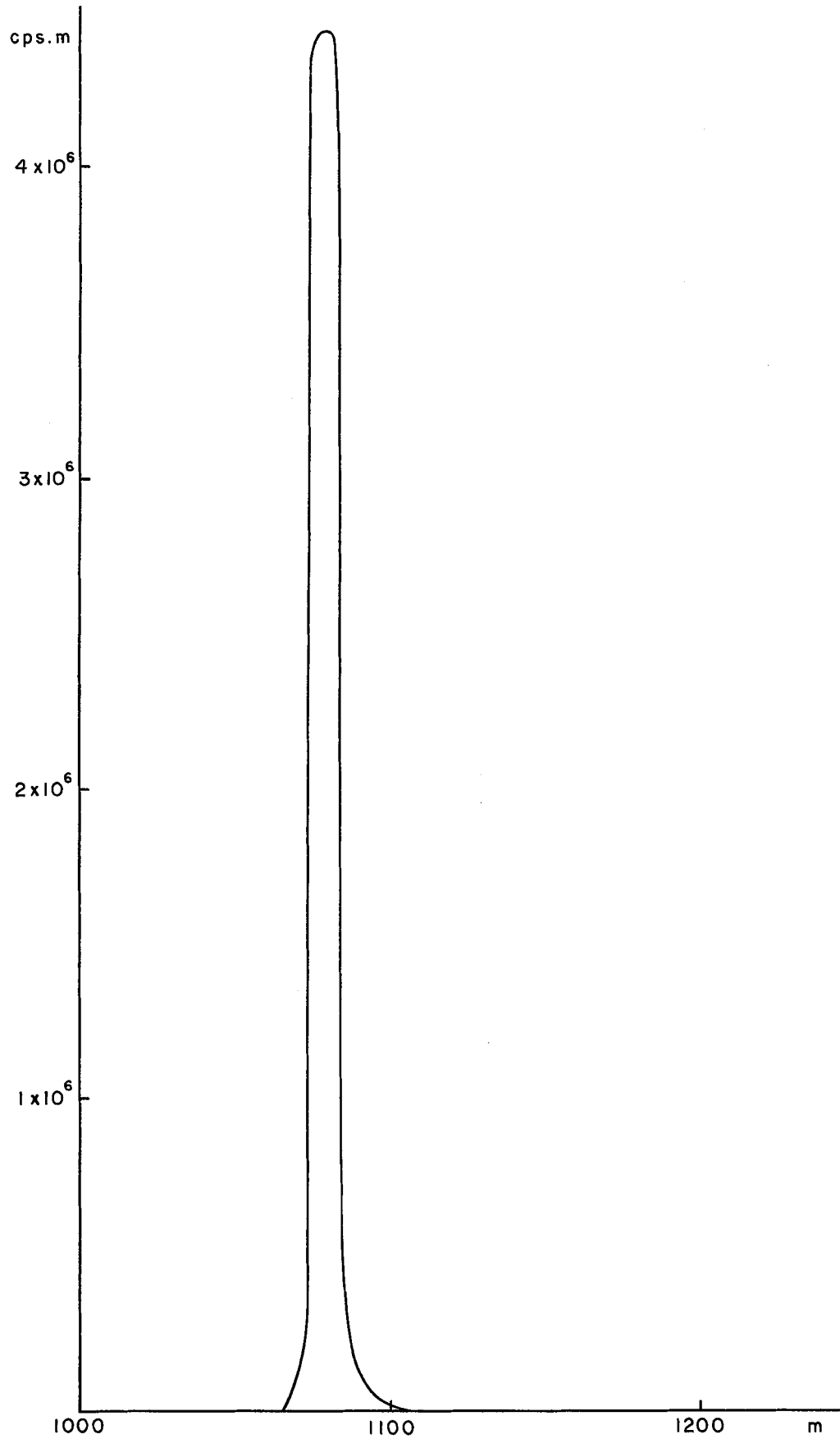
Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C.Postal 1941-BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Diagrama de Transporte. Detecção de 20/01/75				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 30



Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C.Postal 1941-BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Diagrama de Transporte . Detecção de 23/01/75				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 31



Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C.Postal 1941-BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Diagrama de Transporte . Detecção de 17/03/75				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 32



Laboratório de Radioisótopos IPR-NUCLEBRAS C.Postal 1941-BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Diagrama de Transporte. Detecção de 20/03/75				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 33

determinados para Janeiro.

Os resultados do cálculo são mostrados na Tabela 4.

Data	X_G	Y_G
20/01	1080	1219
23/01	1082	1221
17/03	1070	1218
20/03	1067	1220

A observação feita sobre a não modificação da posição do centro de gravidade pela melhor detecção do pico é confirmada pelo exame dos valores das coordenadas do centro de massa, para os dias 20 e 23 de Janeiro. Apesar da detecção de 23/01 ter sido muito mais precisa, a posição do centro de gravidade manteve-se praticamente a mesma que em 20/01.

Para o cálculo, englobamos as duas detecções de Março em uma única, utilizando um valor médio para as coordenadas do centro de gravidade.

Temos, então

Data	N	X_G	Y_G
23/01	4.4×10^7	1082	1221
19/03	4.4×10^7	1068	1219

A distância percorrida pelo c.g. entre 23/01 e 19/03 - portanto, em 55,5 dias - foi de 13,65m. Isso corresponde a uma velocidade média

$$V_m = 0,25\text{m/dia.}$$

Para o valor de N constante da tabela acima, a espesura de transporte \bar{e} deduzida da expressão 3.2.1, obtendo-se

$$\frac{1 - e^{-\alpha E}}{E} = 0,120$$

ou seja,

$$E = 0,03\text{m}$$

Aplicando-se agora a expressão 2.2,

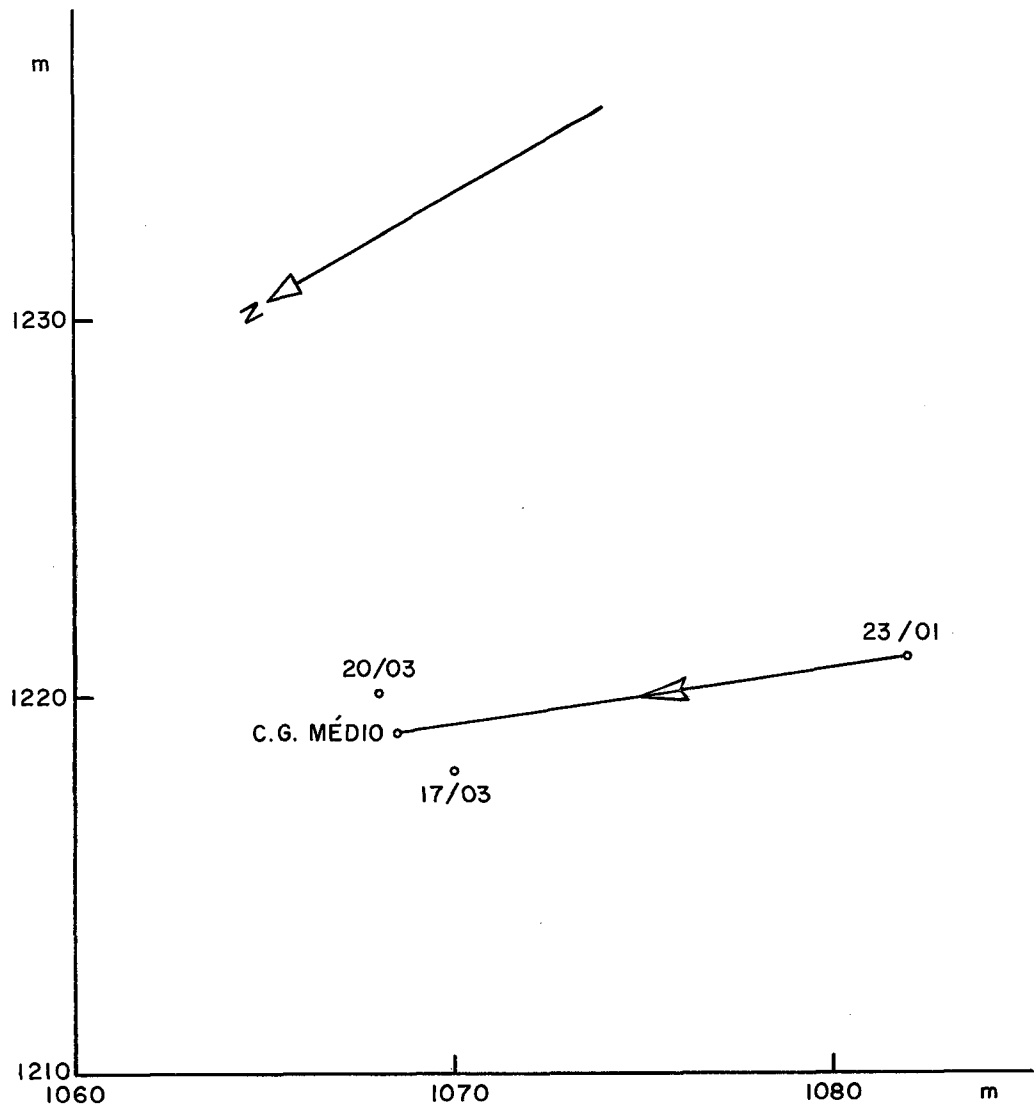
$$Q = \rho V_m L E$$

obtêm-se, para $L = 1\text{m}$,

$$Q = 0,01\text{t/m.dia}$$

O valor do transporte sólido de fundo \bar{e} , portanto, desprezível.

A Figura 34 mostra a evolução dos centros de gra



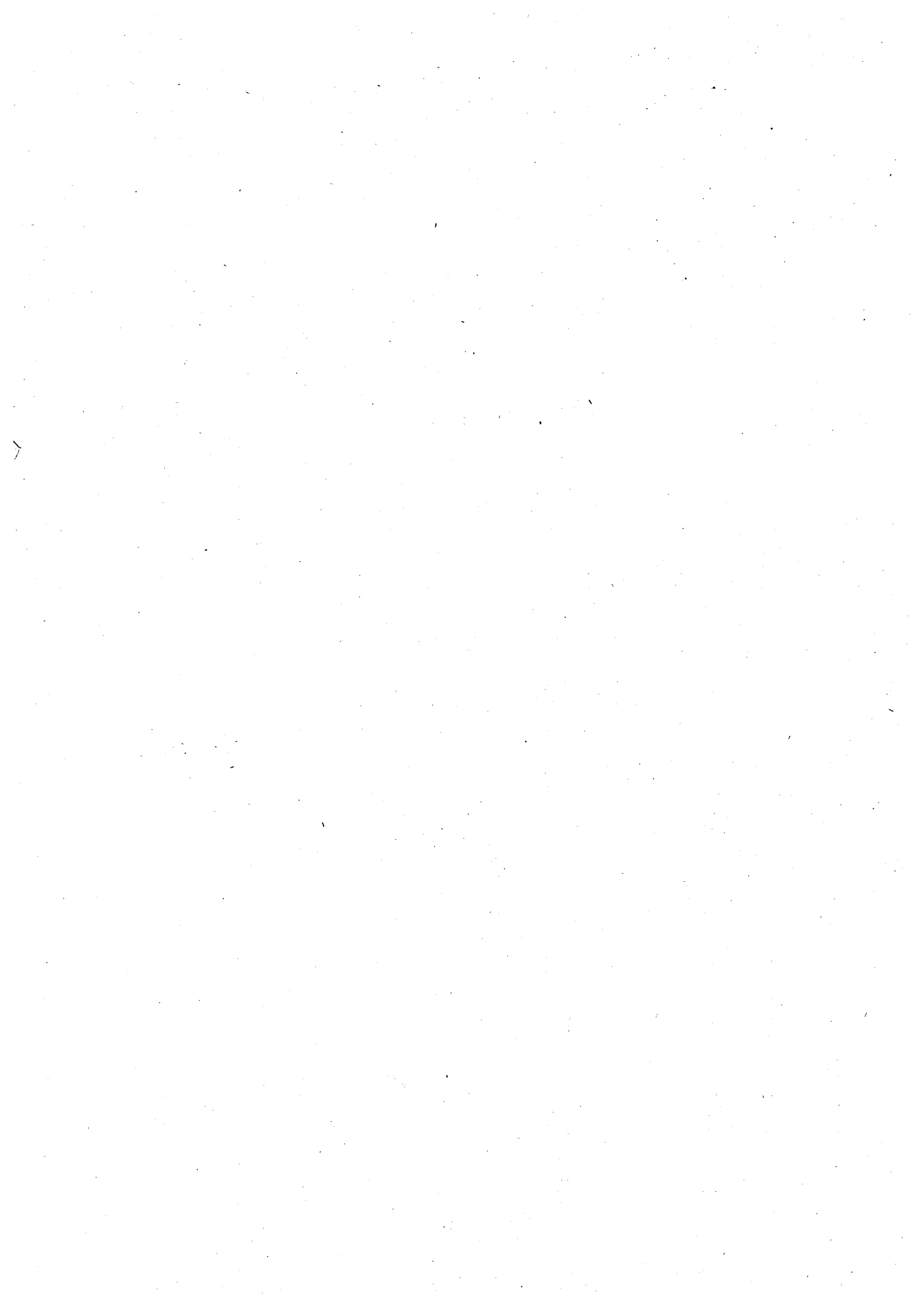
Laboratório de Radioisótopos IPR - NUCLEBRAS C.Postal 1941-BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Evolução do centro de gravidade da nuvem (-13m)				
	Data	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 34

vidade da nuvem radioativa com o tempo. Ela demonstra que o pequeno movimento observado é feito para o nordeste.

Conclui-se, pois, que, à profundidade de -13m, o movimento do material de fundo, ao largo da barreira de recifes que protege o porto de Suape, é desprezível.

REFERENCIAS

1. SAUZAY, G. - Méthode du bilan des taux de comptage d'indicateurs radioactifs pour la détermination du débit de charriage des lits sableux. CEA R 34 31.
2. COURTOIS, G. - La dynamique sédimentaire et les traceurs radioactifs. Point de la situation en France. Houille Blanche 7 (1970).
3. SAUZAY, G.; GILATH, CH. et al - Study of sediment transport on the sea bed and on the beach at the site of the Hedera Power Plant. Report to the Israel Electric Corp. (1974).
4. Estudos hidráulicos sedimentológicos preliminares.
Anexo 1.2 Setor Portuário Marítimo, Transcon S.A.



PORTO DE SUAPE: MEDIDA DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTO DE FUNDO, AO LARGO DA LINHA DE RECIFES, EM REGIME DE VERÃO

2a. PARTE:

ANÁLISE DAS MEDIÇÕES HIDRÁULICAS EFETUADAS EM SUAPE, AO LARGO DO CORDÃO DE RECIFES, EM REGIME DE VERÃO.

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Jefferson Vianna Bandeira

EQUIPE DE CAMPO

Pedro Edmundo Aun
Jefferson Vianna Bandeira
José Olympio Nardelli M. de Castro
Geraldo Godinho Pinto
Ricardo da Silva Gomes
Fábio Antonio da Silva
José Joaquim Lima de Campos

EQUIPE DE ANÁLISE

Jefferson Vianna Bandeira
José Joaquim Lima de Campos
Fábio Antonio da Silva
Luiz Raphael Aun

I N D I C E

RESUMO	PÁGINA
I. CONDIÇÕES HIDROGRÁFICAS - CAMPANHA DE MEDIÇÕES HIDRÁULICAS	1
II. ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDAS	4
2.1. Campanha de Registros de Ondas - Método de Análise	4
2.2. Resultados da Análise	5
2.3. Características Ondulatórias ao Largo de Suape em Janeiro e Fevereiro de 1975	8
2.4. Resumo das Características Ondulatórias	15
2.5. Comparação entre os Parâmetros Ondulatórios do Regime de Inverno e do Regime de Verão em Suape	15
2.6. Comparação entre os Regimes Ondulatórios de Suape-PE e de Aracaju-SE	17
III. VENTOS REGISTRADOS EM SUAPE EM JANEIRO E FEVEREIRO DE 1975	20
IV. ANÁLISE DOS REGISTROS DE CORRENTE	22
4.1. Campanha de Medições	22
4.2. Análise dos Registros - Resultados das Medições	22
4.2.1. Metodologia	22
4.2.2. Resultados das Medições de Corrente	23
4.3. Conclusões	30

	PÁGINA
V. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA INFLUÊNCIA DAS ONDAS E CORRENTES REGISTRADAS EM SUAPE, EM REGIME DE VERÃO, NA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS NO FUNDO	31
5.1. Generalidades	31
5.2. Aplicação de Critérios de Início de Movimento de Sedimentos sob a Ação de Ondas ao Problema de Suape, em Regime de Verão	33
5.2.1. Antecedentes	33
5.2.2. Aplicação de Critérios	34
5.3. Conclusão	38
VI. CONCLUSÕES GERAIS	41
APÊNDICE I	
Rotina de Análise de Registros Ondulatórios pela Sistemática de Tucker-Draper	
APÊNDICE II	
Cálculos Relativos a Correntes de Deriva e Correntes de Transporte de Massa	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
1.1	- Situação dos aparelhos de medições hidráulicas - Batimetria ao largo do cordão de recifes em Suape	3
2.1	- Distribuição dos períodos T_z	10
2.2	- Distribuição das alturas máximas ($H_1 = H_{m\bar{x}}$)	11
2.3	- Distribuição das alturas significativas (H_s)	12
2.4	- Distribuição do parâmetro de largura do espectro (ϵ)	13
2.5	- Frequência de ocorrência de direções de onda a profundidade de 17 m, independentemente de períodos e alturas	14
5.1	- Início de movimento de sedimentos sob a ação da onda	35

R E S U M O

O presente relatório apresenta os resultados obtidos com a análise, interpretação e comparação das medições hidráulicas de ondas e correntes efetuadas ao largo do cordão de recifes em Suape-PE, em janeiro e fevereiro de 1975.

Tais medições hidráulicas foram realizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias da Portobrás (antigo D.N.P.V.N.), durante o estudo da movimentação de sedimentos de fundo com a utilização de traçadores radioativos, executado pelo Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas da Nuclebrás (antiga CBTN), como parte do trabalho contratado com a Transcon S/A e a Companhia de Distritos Industriais de Pernambuco (DIPER).

É feito um relacionamento entre as ações hidrodinâmicas de ondas e correntes e o comportamento dos sedimentos no fundo.

A movimentação desprezível de sedimentos de fundo ao largo do cordão de recifes, nas profundidades de 10 e 13 metros, constatada com o emprego de traçadores radioativos, em regime de verão, está de acordo com as fracas ações hidrodinâmicas produzidas pelas ondas e correntes junto ao fundo.

I. CONDIÇÕES HIDROGRÁFICAS - CAMPANHA DE MEDIÇÕES HIDRÁULICAS

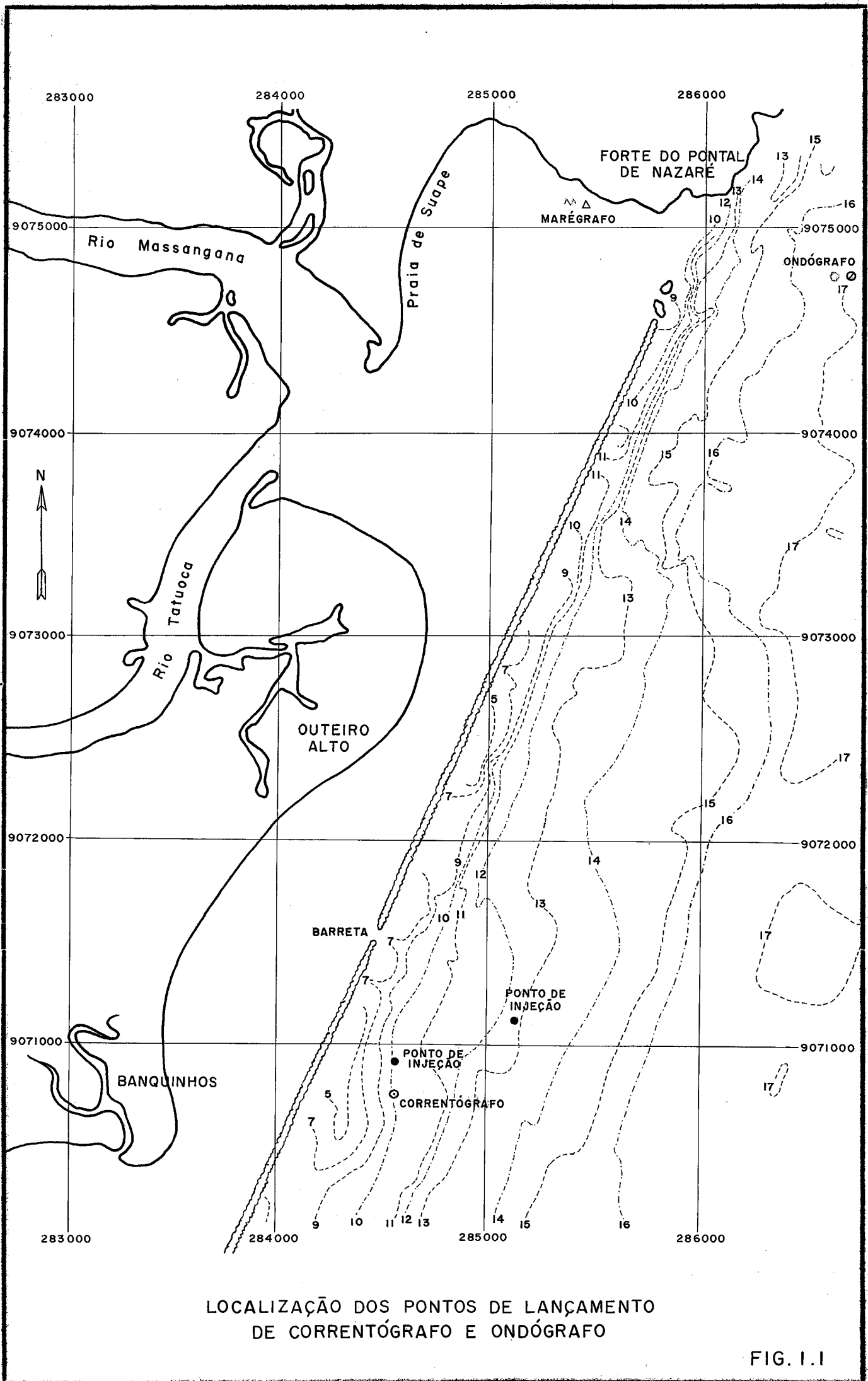
A linha de recifes em Suape se estende na direção SSW-NNE em uma extensão de aproximadamente 10 Km, fazendo com o norte verdadeiro um ângulo de 240° (Fig. 2.1). A face externa da barreira de recifes possui uma declividade bastante acentuada. As profundidades aumentam rapidamente em direção ao largo, sendo que a cerca de 100 metros do alinhamento dos recifes são encontradas profundidades de 8 a 10 metros. As isóbatas de -9m a -16m na região da Barreta (2 Km ao norte e 2 Km ao sul), seguem uma orientação geral paralela à barreira de recifes. Na região ao sul da Barreta, entre as isóbatas de -10m e -13m, foi efetuado o estudo da movimentação de sedimentos e a maioria dos trabalhos hidráulicos da campanha de verão.

A campanha de medições hidráulicas foi executada por técnicos do INPH, no período de 9/1/75 a 12/2/75, e constou de:

- a. registro de ondas com a utilização de um ondógrafo autônomo à ultra som da marca Neyrpic, duas vezes por dia, com o aparelho fundeado à profundidade de 17 metros, no ponto assinalado na Figura 1.1. Observação de direção de ondas duas vezes por dia, nos momentos de registro de onda.
- b. medições de corrente nas proximidades do ponto de injeção do traçador radioativo injetado na profundidade de 10 metros (Fig. 1.1).

- i. As medições foram realizadas entre 17/1 e 12/2 em um ponto fixo situado a 0.4p da profundidade local, contada a partir do fundo. Para estas medições foi utilizado um correntômetro de registro fotográfico Mecabolier.
- c. medições de velocidade e direção de vento duas vezes por dia, através de um anemômetro portátil instalado no Forte de Nazaré, nos momentos de observação de direção de ondas.

Na análise e interpretação das medições de corrente foram utilizados os registros de maré de janeiro e fevereiro de 1975, registrados pelo marégrafo instalado na Baía do Suape (Fig. 1.1).



LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE LANÇAMENTO DE CORRENTÓGRAFO E ONDÓGRAFO

FIG. I.1

II. ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDAS

2.1. CAMPANHA DE REGISTROS DE ONDAS - MÉTODO DE ANÁLISE

Os registros de ondas foram efetuados por intermédio de um ondógrafo autônomo a ultra som, da marca Neyrpic, tendo a campanha de medições se estendido de 9/1/75 a 12/2/75. O aparelho esteve sempre fundeado nas proximidades do ponto indicado na Figura 1.1, sendo de 17 metros a profundidade de fundeio. A minuteria do ondógrafo foi programada para que o mesmo efetuasse dois registros diários, às 8:00 e 16:00 horas, sendo de cerca de 12 minutos a duração de cada registro.

Foram realizadas observações visuais de direção de ondas por intermédio de um teodolito instalado no Forte de Nazaré, no Cabo Santo Agostinho. Estas observações eram realizadas duas vezes por dia, às 8:00 e 16:00 horas, em um ponto correspondente à profundidade de 17 metros, materializado pela colocação de uma boia, na mesma região de fundeio do ondógrafo.

Os registros de ondas foram analisados pelo método de Tucker-Draper, o qual foi apresentado no trabalho: "The Analysis and Presentation of Wave Data. A Plea for Uniformity". (Proceedings of the 10th Conference on Coastal Engineering - Tokio, 1966). No Apêndice I encontra-se a rotina de aplicação do método cuja maior vantagem consiste em eliminar influências subjetivas na identificação das ondas individuais que constituem o registro.

2.2. RESULTADOS DA ANÁLISE

Apresentam-se na Tabela I os resultados da análise. As direções de ondas são referidas ao norte verdadeiro.

DATA	HORA	N_c	N_z	T_c (s)	T_z (s)	ϵ	H_l (m)	H_s (m)	α (°)
28/1	8:00								107
	16:00								107
29/1	8:00								108
	16:00								111
30/1	8:00								108
	16:00								107
31/1	8:00								110
	16:00								110
1/2	8:00	95	86	6.3	7.0	0.42	1.6	1.0	-
	16:00	91	84	6.6	7.1	0.39	1.6	1.0	-
2/2	8:00	95	86	6.3	7.0	0.42	1.6	1.0	-
	16:00	103	102	5.8	5.9	0.14	1.7	1.1	-
3/2	8:00	101	96	5.9	6.3	0.31	1.9	1.2	110
	16:00	102	94	5.9	6.4	0.28	1.9	1.2	112
4/2	8:00	101	89	5.9	6.7	0.47	1.4	0.9	-
5/2	8:00								111
	16:00								109
6/2	8:00								110
	16:00								110
9/2	8:00	97	88	6.2	6.8	0.42	1.4	0.9	-
	16:00	119	98	5.0	6.1	0.57	1.5	0.9	-
10/2	8:00	107	86	5.6	7.0	0.59	1.4	0.9	-
	16:00	122	102	4.9	5.9	0.55	1.6	1.0	-

2.3. CARACTERÍSTICAS ONDULATÓRIAS AO LARGO DE SUAPE EM JANEIRO E FEVEREIRO DE 1975

Com os resultados da análise dos registros ondulatórios efetuados em janeiro e fevereiro de 1975 ao largo do cordão de recifes em Suape, foram elaborados gráficos percentuais dos diversos parâmetros ondulatórios, que são mostrados nas Figuras 2.1 a 2.5.

Períodos.

O período das ondas teve valores de 6 e 7 segundos, sendo $T_z = 6$ seg. o valor mais frequente (61.7%), Fig. 2.1.

Alturas.

Altura máxima.

A altura máxima $H_1 = H_{\max} = A + C$ variou de 1.4m a 2.6m, sendo $H_1 = 1.6m$, $H_1 = 1.9m$ e $H_1 = 2.0m$ os valores mais frequentes, com 14.7%, Fig. 2.2.

Altura significativa.

A altura significativa H_s variou entre 0.9m e 1.6m, sendo $H_s = 1.1m$ o valor mais frequente, com 14.7%, Fig. 2.3.

Parâmetro de Largura do Espectro (ϵ).

O valor de ϵ variou entre 0.14 e 0.59. No cálculo das porcentagens os valores de ϵ foram agrupados em intervalos de 0.05. Pelo histograma da Figura 2.4 pode-se observar que as ondas registradas em Suape são vagas em processo de transformação, mas com mais características de ondulação ($\epsilon < 0.5$).

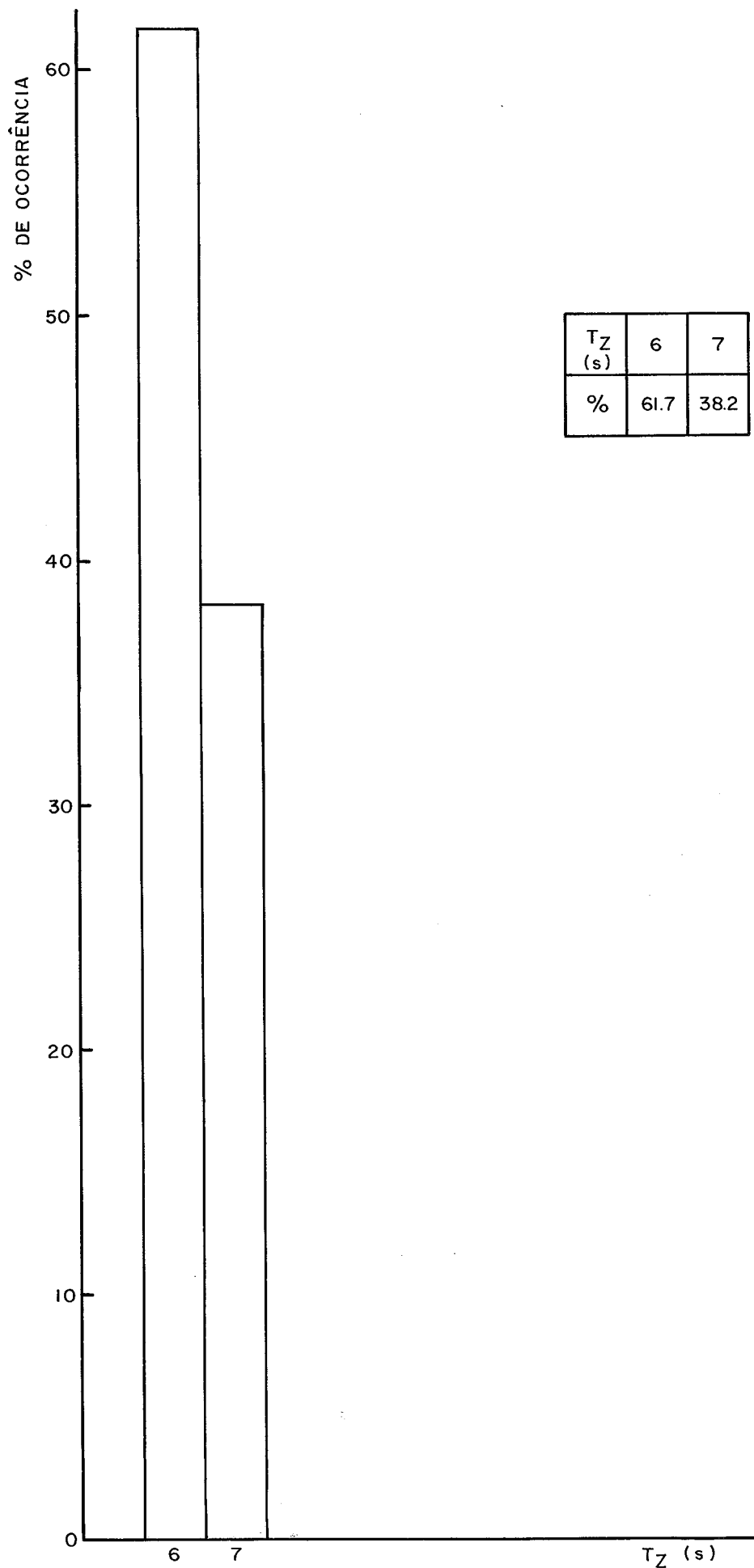
Direção de Incidência das Ondas.

A direção de propagação das ondas observadas em um ponto correspondente à profundidade de 17 metros, em frente ao Cabo de Santo Agostinho variou de 104° a 125° , relativamente ao norte verdadeiro, entre 9/1/75 e 10/2/75.

No quadro a seguir são apresentadas as porcentagens de ocorrência de direção de ondas, independentemente de períodos e alturas. Para o cálculo das porcentagens as observações foram agrupadas em categorias de 5 em 5 graus.

α°	105	110	115	120	125
%	22.5	65.0	10.5	-	2.5

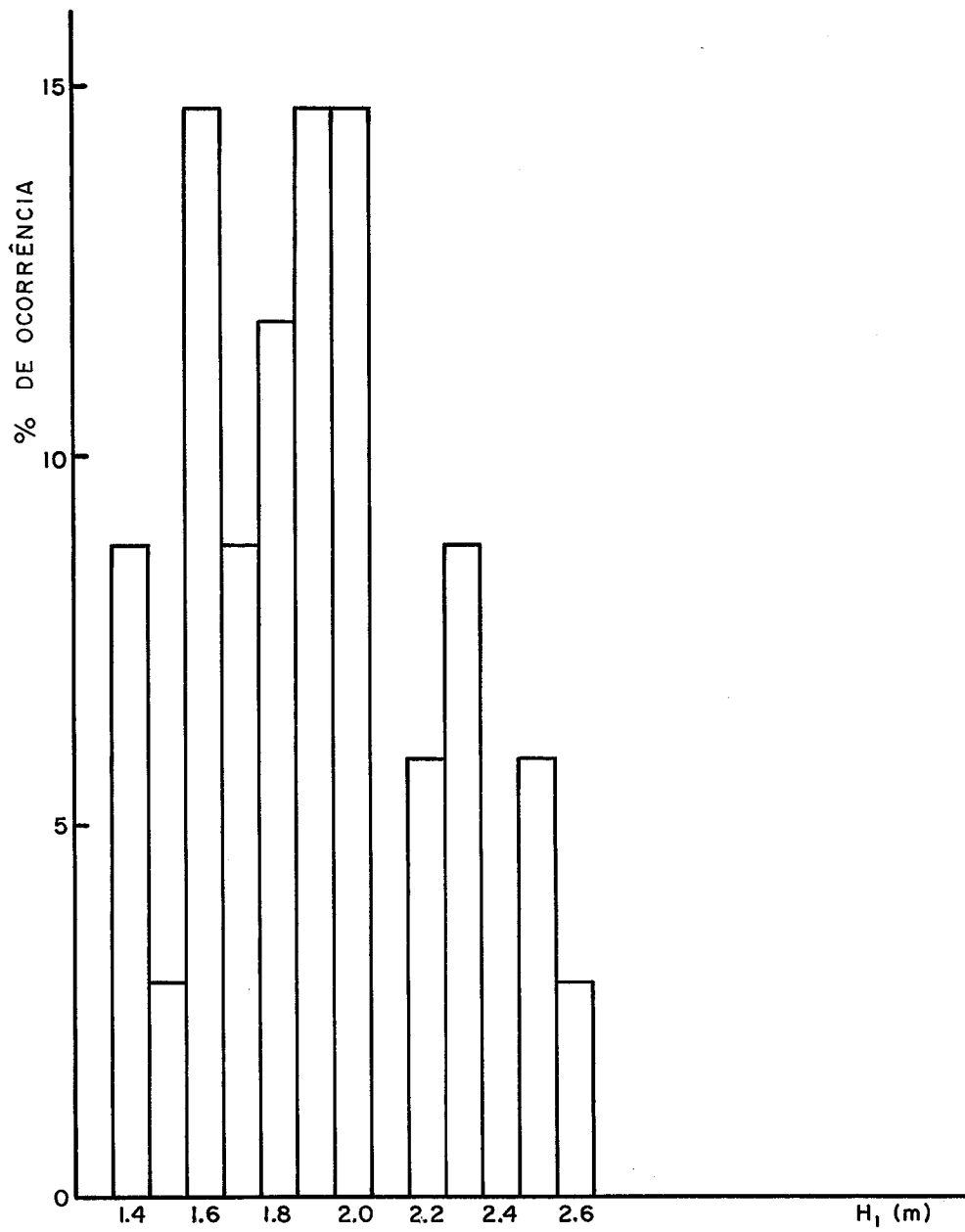
O quadro anterior está representado na Figura 2.5. Pode-se observar que a totalidade das ondas provém do quadrante S-E, sendo 110° a direção mais frequente (65.0%).



FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE ONDAS SEGUNDO O PERÍODO

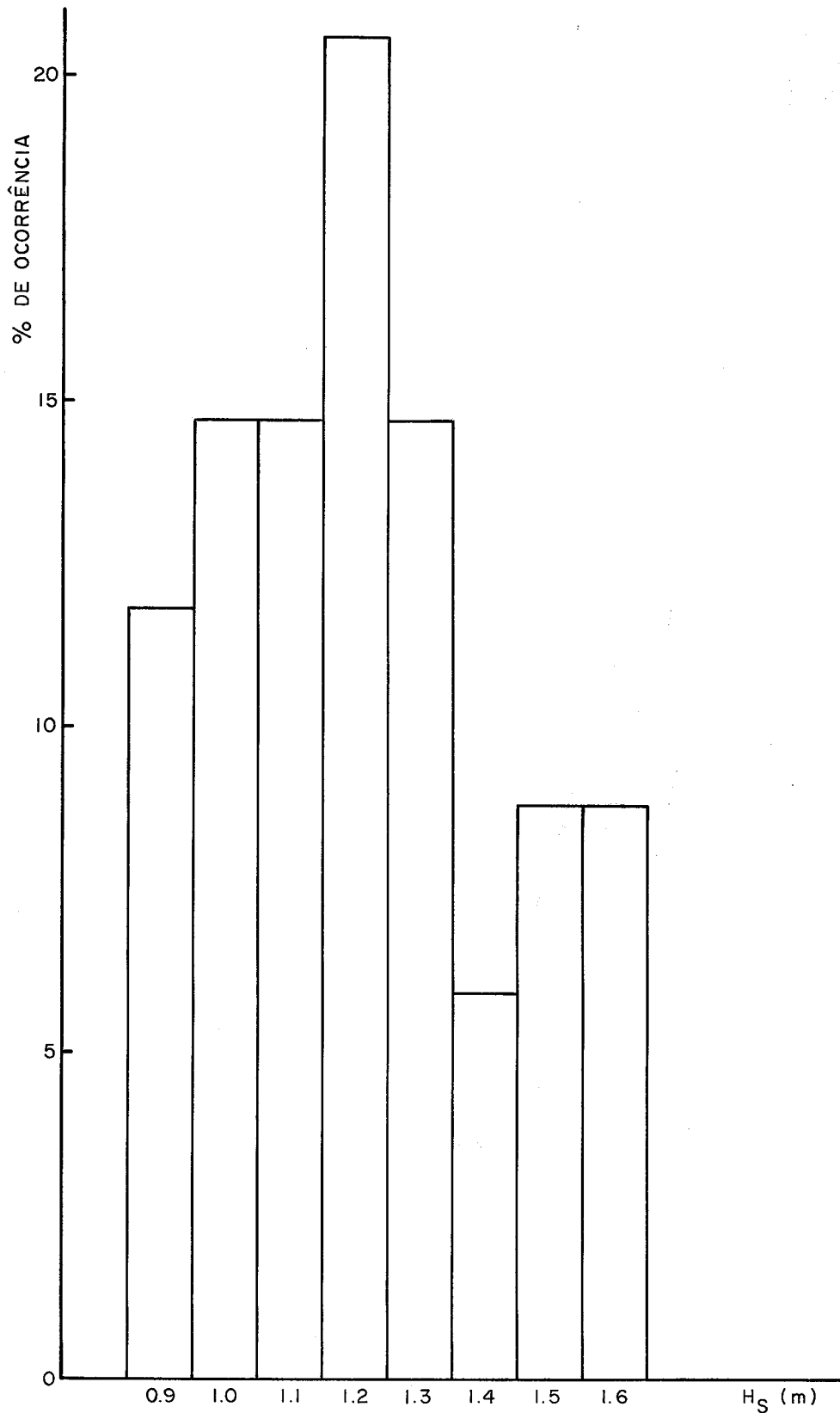
FIG. 2.1

H_1 m	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
%	8.8	2.9	14.7	8.8	11.8	14.7	14.7		5.9	8.8		5.9	2.9



FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE ONDAS
SEGUNDO A ALTURA MÁXIMA.

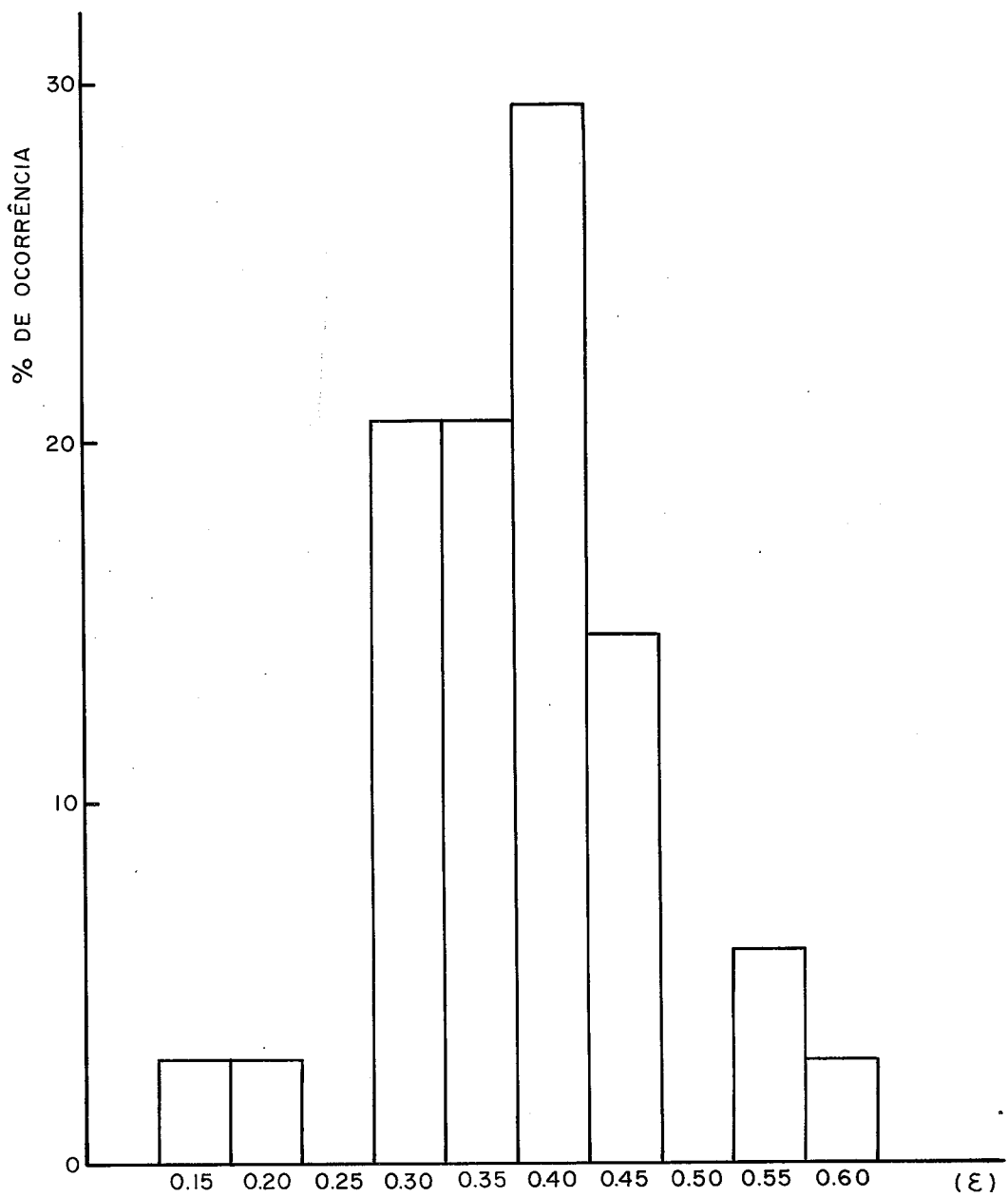
H_S (m)	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
%	11.8	14.7	14.7	20.6	14.7	5.9	8.8	8.8



FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE ONDAS
SEGUNDO AS ALTURAS SIGNIFICATIVAS

FIG. 2.3

ξ	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
%	2.9	2.9		20.6	20.6	29.4	14.7		5.9	5.9



FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE
ONDAS EM RELAÇÃO A ξ

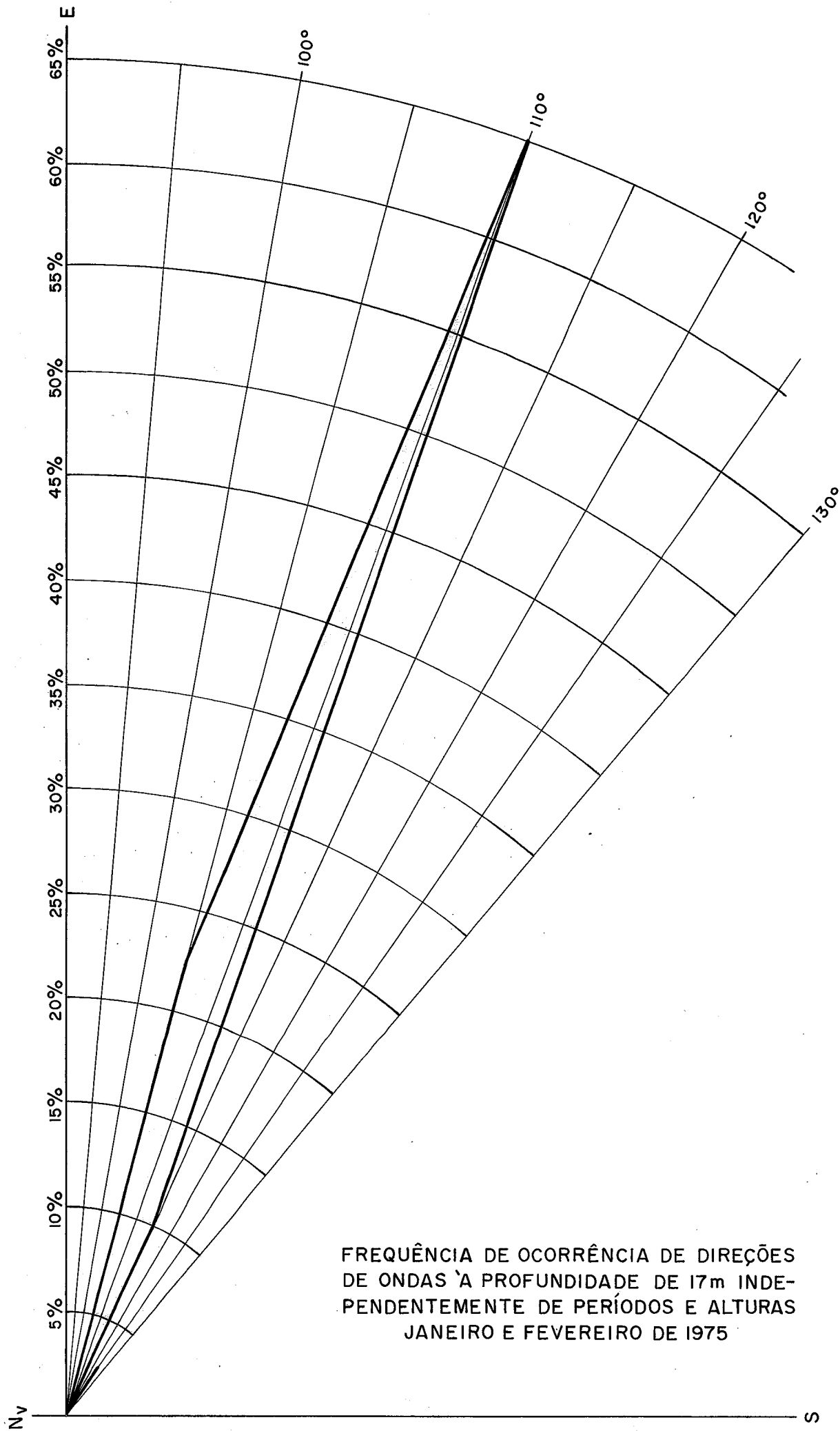


FIG. 2.5

2.4. RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS ONDULATÓRIAS

São apresentados a seguir, em resumo, os valores dos parâmetros ondulatórios deduzidos da análise dos registros de ondas, efetuados em Suape na campanha de verão.

PARÂMETROS ONDULATÓRIOS - REGIME DE VERÃO (SUAPE-PE)

Grandeza	Intervalo de Variação	Valor mais Freqüente	% de Ocorrência
T_z	6 a 7 seg.	6 seg.	61.7
$H_1 = H_{m\bar{a}x}$	1.4 a 2.6 m	1.6, 1.9 e 2.0m	14.7
H_s	0.9 a 1.6 m	1.1 m	14.7
ϵ	0.14 a 0.59	0.40	29.4
Dir. de Inc.Ondas	104 a 125 ^o	110 ^o	65.0

2.5. COMPARAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS ONDULATÓRIOS DO REGIME DE INVERNO E DO REGIME DE VERÃO EM SUAPE

Transcrevemos a seguir o quadro que apresenta, em resumo, os valores dos parâmetros ondulatórios deduzidos da análise dos registros de ondas, efetuados em Suape na profundidade de 17 metros, na campanha de inverno (*).

(*) Porto de Suape - Relatório Final do Estudo Sedimentológico em Regime de Inverno - CBTN - Belo Horizonte - Dez. 1974.

PARÂMETROS ONDULATÓRIOS - REGIME DE INVERNO (SUAPE-PE)

Grandeza	Intervalo de Variação	Valor mais Frequente	% de Ocorrência
T_z	5 a 10 seg.	7 seg.	52.0
$H_1 = H_{m\bar{a}x}$	1.5 a 3.8 m	2.7 m	12.0
H_s	0.9 a 2.4 m	1.6 m	16.0
ϵ	0.25 a 0.68	0.50 e 0.55	22.7
Dir. de Inc.Ondas	117 a 168°	130°	33.1

Pela comparação dos valores aī apresentados com os que se encontram no quadro resumo dos parâmetros ondulatorios do regime de verão, pode-se concluir o seguinte:

a. A gama de variação dos períodos (T_z) é maior em regime de inverno (5 a 10 seg.) que no regime de verão (6 a 7 seg.), embora os valores mais frequentes sejam da mesma ordem: $T_z = 7$ seg. (regime de inverno) e $T_z = 6$ seg. (regime de verão).

b. Em regime de inverno as ondas são mais altas: $H_1 = H_{m\bar{a}x}$ variou entre 1.5 e 3.8 m, com valor mais frequente igual a 2.7m; H_s variou entre 0.9 e 2.4 com valor mais frequente igual a 1.6m. Em regime de verão: $H_{m\bar{a}x}$ teve valores compreendidos entre 1.4 e 2.6 m sendo o maior valor inferior ao valor mais frequente ocorrido em regime de inverno ($H_{m\bar{a}x} = 2.7m$). H_s variou entre 0.9 m e 1.6 m, sendo $H_s = 1.1$ m o valor mais frequente.

c. As ondas em regime de verão possuem mais característica de ondulação, relativamente às ondas regis-

tradas no regime de inverno. A comparação dos valores do parâmetro de largura do espectro (ϵ) nos dois regimes, mostra isso. Tal fato pode ser explicado, em parte, pela ocorrência de fortes ventos locais soprando durante um tempo considerável na época do inverno. Assim são geradas vagas locais de altura não desprezível, as quais se superpõem às vagas e ondulações que chegam do largo.

d. Nos dois regimes, predominam as ondas com direção de propagação na profundidade de 17 metros maior que 90° . Em regime de inverno a direção mais frequente é SE ($130^\circ \sim 135^\circ$), enquanto que no regime de verão a direção mais frequente é E-SE (110°).

2.6. COMPARAÇÃO ENTRE OS REGIMES ONDULATÓRIOS DE SUAPE-PE E ARACAJU-SE

Foram efetuados registros de ondas ao largo da Praia de Atalaia em Aracaju durante cerca de 1 ano, entre setembro de 1965 e agosto de 1966, por intermédio de um ondógrafo Neyrpic fundeado na profundidade de 20 metros. Tais registros foram efetuados como parte dos estudos para o Terminal Oceânico de Aracaju.

A análise do regime ondulatorio ao largo de Aracaju pode ser vista em detalhes em (1) e (2).

Em resumo, os parâmetros ondulatorios em Aracaju tiveram as seguintes variações e valores mais frequentes, nas épocas do ano correspondentes aos registros de ondas de Suape:

-
- (1) Motta, V. F. "Relatório sobre Observações de Ondas, Ventos e Correntes para o Terminal Oceânico de Aracaju" - Relatório apresentado à Petrobrás S/A - Porto Alegre - Out. de 1966.
 - (2) Bandeira, J. V. "Estimativa do Transporte Litorâneo em Torno da Embocadura do Rio Sergipe" - Tese de Mestrado publicada pelo Instituto de Pesquisas Radioativas - Belo Horizonte - Nov. de 1972.

PARÂMETROS ONDULATÓRIOS - ARACAJU-SE

Grandeza	(Regime de Verão) JANEIRO E FEVEREIRO		(Regime de Inverno) JUNHO, JULHO E AGOSTO	
	Intervalo de Variação	Valor mais Frequente	Intervalo de Variação	Valor mais Frequente
T_z	5 a 8 seg.	6 seg.	5 a 9 seg.	7 seg.
$H_1 = H_{m\bar{a}x}$	1.2 a 2.7 m	1.7 e 1.8m	1.2 a 4.0 m	2.3 e 2.4m
H_s	0.7 a 1.7 m	1.1 m	0.8 a 2.5 m	1.4 e 1.5m
ϵ	0.50 a 0.85	0.55	0.55 a 0.80	0.70
Dir. de Inc.Ondas Prof.Inf.	75 a 130°	95°	95 a 145°	120°

OBS.: Para as direções de onda em regime de inverno levou-se em conta as observações de junho a setembro, pois foi nesse intervalo que elas foram observadas em Suape, em regime de inverno.

Em primeira aproximação, não é fora de propósito comparar as ondas registradas em Aracaju na profundidade de 20 metros com as ondas registradas em Suape na profundidade de 17 metros.

As ondas em sua maioria e principalmente as mais altas, são relativamente curtas (períodos de 6 e 7 segundos). Ainda que as profundidades de 17 e 20 metros sejam profundidades intermediárias relativas às ondas de períodos 6 e 7 seg., a variação de altura que as ondas sofrem, devido ao processo de empinamento, ao se propagarem da profundidade de 20 metros para 17 metros é relativamente pequena, comparada com a altura inicial da onda. Aliado a isto, o fato de a maioria das ondas terem, nessas profundidades, as cristas pouco inclinadas relativamente às isó

batas que são sensivelmente paralelas entre si, tanto em Aracaju quanto em Suape, faz com que sejam de pouca importância as alterações em direção de propagação das ondas devido ao processo de refração.

A comparação, através dos quadros resumo, dos intervalos de variação e valores mais frequentes dos parâmetros ondulatórios de Suape e Aracaju, em meses do regime de inverno e do regime de verão, permite concluir que as características ondulatórias nos dois locais são bastante semelhantes. Há praticamente coincidência no que se refere a alturas significativas e períodos.

Também os valores mais frequentes das direções de propagação concordam nos seguintes aspectos:

a. A maioria das ondas nos dois locais e para os dois regimes têm direção de propagação fazendo um ângulo com o norte verdadeiro maior que 90° .

b. As ondas do regime de inverno nos dois locais são mais ondas SE.

O fato dos regimes ondulatórios de Suape e Aracaju serem muito parecidos é uma informação que pode ser aproveitada em estudos futuros na costa do nordeste.

Outros dados de ondas da região que poderiam ser cotejados com os de Aracaju e Suape, são os registros ondulatórios efetuados ao Largo de Maceió-AL, pelo "Danish Hydraulic Institute" de Copenhagen - Dinamarca, durante a fase de estudos para a implantação de um porto na região. Infelizmente, tais dados que seriam úteis, não são disponíveis no momento.

III. VENTOS REGISTRADOS EM SUAPE EM JANEIRO E FEVEREIRO DE 1975

Nas ocasiões em que eram observadas as ondas, a partir de um local no Forte de Nazaré, também eram medidas a velocidade e direção do vento através de um anemômetro portátil lá instalado.

Foram efetuadas 39 observações de velocidade e direção de vento durante a campanha de verão. Da análise desses poucos dados que não representam uma boa estatística, pode-se concluir o seguinte:

1. Os ventos ocorrem principalmente entre 30° e 120° em relação ao norte verdadeiro, portanto sempre sopram do mar para a terra.
2. Considerando como: ventos NE (22° a 67°), ventos E (68° a 113°) e ventos SE (114° a 159°), tem-se no quadro a seguir as porcentagens de ocorrência de ventos NE, E e SE durante o período de medições.

VENTO	NE	E	SE
%	20.5	74.4	5.1

Os ventos de maior frequência são os ventos E, sendo pois, os ventos reinantes.

3. Os ventos registrados tiveram velocidades na faixa de 4.0 a 16.4 nós.

O quadro a seguir apresenta as porcentagens de ocorrência de velocidades de ventos registrados na

campanha de verão, independentemente de direções:

Faixa (nós)	% de Ocorrência
4.0 a 6.0	12.8
6.1 a 8.1	17.9
8.2 a 10.2	20.5
10.3 a 12.3	23.1
12.4 a 14.4	15.4
14.5 a 16.5	10.3

4. Dos ventos registrados de NE e E, 25% dos ventos NE e 24.1% dos ventos E apresentaram velocidades maiores que 12 nós. Não se pode concluir que haja uma dominância de ventos de uma determinada direção.

menores em maré de quadratura, como também a possível relação entre a variação de direção e inversões de corrente com os instantes característicos do ciclo de maré. Foi realizado um estudo da variação da intensidade e direção da velocidade da corrente relativamente aos ventos que ocorreram na região, bem como em relação às ondas registradas na campanha.

4.2.2. Resultados das Medições de Corrente

Entre 17/1 e 12/2/75 o correntôgrafo registrou as correntes durante 14 ciclos completos de maré de sizígia, 10 ciclos completos de maré de quadratura e 22 ciclos completos de maré de quarto. Deve ser ressaltado, de início, que a maior velocidade de corrente registrada a 4 metros do fundo, durante todo esse intervalo de tempo, foi de 0.24 m/s, sendo que a maioria das intensidades registradas foi inferior a 0.10 m/s, sendo as correntes, portanto, de fraca intensidade.

i. Entre 17/1 e 25/1 predominou a corrente para SE, S e SW, com direções mais frequentes compreendidas entre 1430 e 2050. Nesse intervalo a velocidade da corrente variou entre 0 m/s e 0.24 m/s.

i-1. Influência da maré

As marés nesse intervalo foram de quadratura e de quarto, com amplitudes variando entre 0.9 e 2.0 m. Foram constatadas seis inversões no sentido da corrente, dirigindo-se estas para NE, durante curtos intervalos de tempo, e com velocidade sempre inferior a 0.07 m/s. Os instantes dessas inversões não corresponderam a ocasiões definidas do ciclo da maré (preamar, baixamar, meia maré, etc.). Os valores máximos de velocidade registrados em cada ciclo de maré, bem como as ocasiões em que a corrente

se anulou, não corresponderam a instantes definidos do ciclo de maré. Os intervalos de tempo de ocorrência desses valores (máximos e nulos), não foram semelhantes. Pesquisou-se também se as velocidades eram, em média e em valores máximos, sempre maiores em uma das fases (enchente ou vasante) dos vários ciclos de maré, cobertos pelas medições de corrente. Pretendia-se com isto detectar uma possível influência nas correntes, do escoamento através da Barreta e da Barra de Suape, próximo às quais estava fundado o correntôgrafo. Não foi constatada uma tendência das velocidades de corrente serem sempre maiores, em média e em valores máximos, em enchente ou vasante, comparando-se as velocidades, média e máxima, de cada vasante com as da enchente seguinte.

i-2. Influência do vento e das ondas

Entre 17/1 e 25/1 os registros de vento acusaram ventos com velocidade entre 4.0 e 16.4 nós sendo, praticamente, ventos do quadrante N-E. A análise dos registros de onda, efetuados no mesmo período à profundidade de 17 metros, revelou que as alturas máximas de onda variaram entre 1.7 e 2.5 m, as alturas significativas tiveram valores compreendidos entre 1.1 e 1.6 m, os períodos tiveram valores de 6 e 7 segundos. A direção de propagação das ondas ficou compreendida entre 106° e 115° .

A força tangencial resultante da ação do vento na superfície do mar é responsável pela geração de uma corrente (corrente de deriva) que é função da duração, velocidade e direção do vento, da latitude do local e da relação H/D , onde H é a profundidade local e D é a profundidade teórica na qual a corrente de deriva se anula. Por outro lado, com a propagação ondulatória ocorre um deslocamento de massa líquida na direção da propagação das on-

das (transporte de massa). A corrente de transporte de massa é, em linhas gerais, função das características ondulatórias e da profundidade na qual as ondas se propagam.

É possível calcular a velocidade e direção das correntes de deriva e transporte de massa, para condições ideais. Assim, os cálculos de corrente de deriva são baseados na ação de um vento gerador de direção e velocidade constantes, atuando em um mar de densidade constante, em local de profundidade infinita (o fundo não interfere na corrente de deriva), e soprando o tempo suficiente para estabelecer um movimento permanente. Por outro lado, os estudos que permitem o cálculo da velocidade da corrente de transporte de massa têm como base, a corrente gerada por um trem de ondas regulares se propagando em profundidade constante. As condições reais, tais como as de Suape, são bem mais complexas. As ondas são irregulares; existe a barreira de recifes na qual as ondas se refletem parcialmente, compondo-se com as que vêm atrás; a profundidade não é constante; o vento tem direção e velocidade variáveis, ainda que a direção não varie muito, e a sua ação na superfície do mar, além de gerar a corrente de deriva, gera vagas locais que se sobrepõem às vagas e ondulações vindas do largo. Além disso, num caso real, o vento e as ondas atuam simultaneamente sobre a mesma massa líquida, causando interferências mútuas às suas ações.

Existem, entre outros, estes aspectos que diferenciam a situação na natureza, das condições particulares utilizadas na obtenção de expressões para o cálculo de correntes de deriva e de transporte de massa. Ainda que as correntes registradas em Suape traduzam o efeito de várias ações superpostas, a título de comparação de ordem de grandeza e de direção, foram calculadas as componentes correntes de deriva e transporte de massa geradas, respec

tivamente, por ventos e ondas de características semelhantes às registradas em Suape. Utilizou-se no cálculo, a onda com $H = 2.5\text{m}$ e $T = 7$ seg., e vento com velocidade de 16.4 nós (a maior velocidade de vento registrada). A profundidade considerada foi de 10 metros. Esses valores para as características de ondas e ventos foram escolhidos com o objetivo de se calcular as maiores velocidades teóricas de correntes, possíveis de serem geradas com as ondas e os ventos registrados no regime de verão.

Como resultado, obteve-se:

a. Corrente de transporte de massa

$v = -0.051$ m/s a 4m do fundo (o sinal - indica que a corrente é no sentido contrário ao da propagação das ondas).

$v = 0.056$ m/s a 1m do fundo, no sentido de propagação das ondas.

b. Corrente de deriva

$v = 0.052$ m/s a 4m do fundo, defletida de 50° para a esquerda, em relação à direção do vento gerador.

$v = 0.012$ m/s a 1m do fundo, defletida de 5.50° para a esquerda.

Mais detalhes relativamente aos cálculos podem ser vistos no Apêndice II. As velocidades de correntes registradas a 4m do fundo, no regime de verão em Suape, são da mesma ordem de grandeza, para fins de engenharia, que as componentes correntes de deriva e transporte de massa calculadas com base, respectivamente, em ventos e ondas registrados no local.

O azimute da normal à barreira de recifes é 1140 . A predominância das fracas correntes registradas para SE, S e SW, entre 17/1 e 25/1, está de acordo com a direção de

ventos NE que ocorreram no mesmo período. As direções de incidência das ondas registradas nesse período, em um local cuja profundidade era de 17m, ficaram ligeiramente à esquerda da normal à barreira de recifes ($\alpha < 1140$). Considerando ainda que as isôbatas na região de estudo são sensivelmente paralelas à linha de recifes, as ondas de períodos 6 e 7 seg. ao se propagarem da profundidade de 17m para a profundidade de registro de correntes (10m) (zona de profundidade intermediária para ondas de $T = 6$ e 7 seg.), sofrem o processo de refração no sentido de as cristas se tornarem paralelas à linha de recifes, ou a direção de propagação tendendo a coincidir com o azimute da normal à praia. Como resultado disso, as fracas correntes de transporte de massa têm a direção da normal à barreira de recifes. Junto ao fundo elas são dirigidas para a barreira de recifes e, a 4m do fundo o seu sentido é para o largo.

Embora de um modo simplificado, as considerações anteriores fornecem uma noção da importância relativa de agentes hidráulicos e meteorológicos, em relação às correntes registradas em Suape, no regime de verão.

Pelas relações observadas entre as intensidades e direções das correntes registradas e a ocorrência de ventos e ondas, pode-se afirmar que as correntes ao largo do cordão de recifes, são comandadas mais pela influência desses dois agentes superpostos que pela influência da maré.

ii. Entre 26/1 e 30/1 predominou a corrente para NE, com direções mais frequentes compreendidas entre 80 e 730. Nesse intervalo a velocidade da corrente variou entre 0 m/s e 0.14 m/s, sendo, em média, de 0.06 m/s.

ii-1. Influência da maré

As marés nesse intervalo foram de sizígia, com

amplitudes variando entre 2.1 e 2.6m. Não foram constatadas inversões no sentido da corrente. Da mesma forma que para o intervalo de 17/1 a 25/1, os valores máximos de velocidades registradas em cada ciclo de maré, assim como as ocasiões em que a corrente se anulou, não corresponderam a instantes definidos do ciclo de maré. Também não foram semelhantes os intervalos de tempo de ocorrência desses valores (máximos e nulos). As velocidades de corrente não eram, em média e em valores máximos, sempre maiores em uma das fases (enchente ou vasante) dos vários ciclos de maré, cobertos pelas medições de corrente. Embora as amplitudes de maré tenham sido maiores nesse intervalo, relativamente ao intervalo de 17/1 a 25/1, as correntes foram relativamente menores do que naquele período.

ii-2. Influência do vento e das ondas

Entre 26/1 e 30/1 os registros de vento acusaram velocidades variando entre 3.2 e 10.3 nós, sendo os ventos de E e SE. O ondógrafo, devido à pena de registro ter-se soltado, não funcionou nesse período, sendo apenas observadas as direções de propagação das ondas em um ponto à profundidade de 17 m. A direção de propagação das ondas ficou compreendida entre 107° e 111°.

O fato de as velocidades de corrente entre 26/1 e 30/1 serem relativamente menores que no intervalo de 17/1 a 25/1, está de acordo com as mais fracas intensidades do vento entre 26/1 e 30/1. A predominância das correntes para NE pode ser parcialmente explicada pela ocorrência, entre 26/1 e 30/1, de ventos SE.

iii. Entre 1/2 e 12/2 predominou, a 4 m do fundo, a corrente para S e SW, com direções mais frequentes compreendidas entre 181° e 260°. A velocidade da corrente variou entre 0 m/s e 0.18 m/s sendo, em média, de 0.05m/s.

iii-1. Influência da maré

As medições de corrente abrangeram marés de quarto (amplitudes variando entre 1.3 e 2.0 m), marés de quadratura (amplitudes variando entre 0.9 e 1.3 m) e marés de sizígia de lua nova (amplitudes variando entre 1.8 e 2.0 m). Entre 1/2 e 12/2 foram constatadas cinco inversões, tendo a corrente se dirigido nessas oportunidades para NW, durante intervalos de tempo nunca superiores a duas horas. Os instantes dessas inversões não corresponderam a ocasiões definidas do ciclo da maré. Os valores máximos de velocidade registrados em cada ciclo de maré, assim como as ocasiões em que a corrente se anulou, não corresponderam a instantes definidos do ciclo de maré, nem foram semelhantes os intervalos de tempo de ocorrência desses valores. As correntes também não foram, em média e em valores máximos, sempre maiores em uma das fases (enchente ou vasante) dos vários ciclos de maré, cobertos pelas medições de corrente.

iii-2. Influência do vento e das ondas

Entre 1/2 e 12/2 as medições de vento acusaram ventos com velocidade entre 7.6 e 13.7 nós, sendo os ventos de E e NE. A análise dos registros de ondas colhidos nesse período revelou que as alturas máximas ($H_{m\acute{a}x}$) variaram entre 1.4 e 1.9m, as alturas significativas (H_s) variaram entre 0.9 e 1.2m, os períodos (T_z) tiveram valores de 6 e 7 segundos, e as direções de propagação observadas ficaram compreendidas entre 110° e 112°.

A predominância nesse intervalo das correntes para S e SW pode ser explicada, em última análise, pelo fato de os ventos reinantes e dominantes terem sido de NE.

4.3. CONCLUSÕES

1. As correntes registradas ao largo do cordão de recifes em Suape entre 17/1/75 e 12/2/75 (regime de verão), a 4 m do fundo, em um local de profundidade total igual a 10 m, tiveram baixas intensidades, não excedendo de 0.24 m/s. Estima-se que, junto ao fundo, as correntes não tenham excedido a 0.10 m/s.

2. Não houve variação de corrente (velocidade e direção) relativamente ao ciclo da maré. As inversões ocorridas e as variações de intensidade da corrente não se relacionam com instantes definidos dos ciclos de maré. Não foi constatada uma relação direta entre as maiores velocidades registradas e a amplitude da maré. Estas observações, entre outras, permitem concluir que as correntes locais não são influenciadas, de modo acentuado, pela maré.

3. Entre 17/1 e 25/1 predominaram as correntes para SE, S e SW. Entre 26/1 e 30/1 as correntes tiveram o sentido de NE. Entre 1/2 e 12/2 predominaram novamente as correntes para S e SW. Há uma nítida concordância entre ventos do quadrante N-E e correntes para SE, S e SW de um lado, e ventos do quadrante S-E e correntes para NE.

4. Uma vez que, devido à direção de propagação das ondas, as correntes por elas induzidas têm a direção da normal à barreira de recifes, é a ação do vento incidindo à esquerda ou à direita da normal à barreira de recifes, o principal responsável pela orientação das correntes.

V. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA INFLUÊNCIA DAS ONDAS E CORRENTES REGISTRADAS EM SUAPE, EM REGIME DE VERÃO, NA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS NO FUNDO

5.1. GENERALIDADES

Sob a ação das ondas os sedimentos constituintes do fundo do mar e, principalmente os de natureza arenosa, podem se movimentar, traduzindo-se este movimento por oscilações ou entrada em suspensão, em deslocamento ao longo do perfil de praia, perpendicularmente à costa, ou um transporte paralelo à linha de costa que pode ser bastante intenso na zona de arrebatamento (transporte litorâneo). A intensidade e direção desse transporte depende das características das ondas, do relevo do fundo e da natureza do material.

O material constituinte do fundo, na região de Suape, é areia. Para que este material possa iniciar um movimento oscilatório sob a ação das ondas, é necessário que a velocidade de cisalhamento u_* produzida pelas ondas junto ao fundo, seja superior à velocidade crítica de erosão do sedimento. A velocidade de cisalhamento u_* é determinada a partir da velocidade oscilatória ou orbital no fundo $U_{m\bar{a}x}$, pelas relações:

$$u_* = \left(\frac{8\nu U_{m\bar{a}x}^2}{\tau} \right)^{1/4} \quad (5-1)$$

$$U_{\text{m\`a}x} = \frac{\pi H}{T \operatorname{senh} \frac{2\pi d}{L}} \quad (5-2)$$

onde

H = altura da onda em metros

T = per\u00edodo da onda em segundos

d = profundidade em metros

L = comprimento da onda em metros

ν = viscosidade cinem\u00e1tica da \u00e1gua
($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a 20\u00b0C)

Os sedimentos de fundo, tendo iniciado um movimento oscilat\u00f3rio sob a a\u00e7\u00e3o das ondas ao largo da arebenta\u00e7\u00e3o podem, segundo a intensidade das a\u00e7\u00f5es hidrodin\u00e2micas, oscilar em torno de uma posi\u00e7\u00e3o de equil\u00edbrio, podendo formar pequenas rugas est\u00e1veis; podem tamb\u00e9m deslocar-se para a costa sob a a\u00e7\u00e3o de uma corrente de transla\u00e7\u00e3o na camada limite. Se a camada limite for turbulenta \u00e9 poss\u00edvel que os sedimentos mais finos sejam elevados a uma dist\u00e2ncia apreci\u00e1vel do fundo e ent\u00e3o, sob o efeito das correntes de compensa\u00e7\u00e3o que se dirigem para o largo, se desloquem para locais mais profundos, terminando por se depositar.

O movimento de um dado sedimento, produzido pelo movimento oscilat\u00f3rio devido \u00e0 onda e pela corrente de transla\u00e7\u00e3o ser\u00e1 tanto maior, quanto menor a profundidade e maiores a altura e o per\u00edodo da onda.

Se superpostas \u00e0 a\u00e7\u00e3o das ondas existirem correntes locais (de deriva, de mar\u00e9, etc.), uma vez colocados em movimento os sedimentos se deslocar\u00e3o na dire\u00e7\u00e3o da re

sultante das ações hidrodinâmicas combinadas.

5.2. APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS DE INÍCIO DE MOVIMENTO DE SEDIMENTOS SOB A AÇÃO DE ONDAS AO PROBLEMA DE SUAPE, EM REGIME DE VERÃO

5.2.1. Antecedentes

Através da análise dos registros de ondas efetuados em Suape durante os trabalhos sedimentológicos com traçadores radioativos em regime de verão, observou-se que a altura máxima das ondas ($H_{m\grave{a}x}$) não ultrapassou o valor de 2.5m à profundidade de 17 metros. Os períodos das ondas (T_z) tiveram valores de 6 e 7 segundos.

Para a aplicação de critérios de início de movimento adotar-se-á uma onda com as seguintes características:

$$H = 2.5 \text{ m } (*)$$

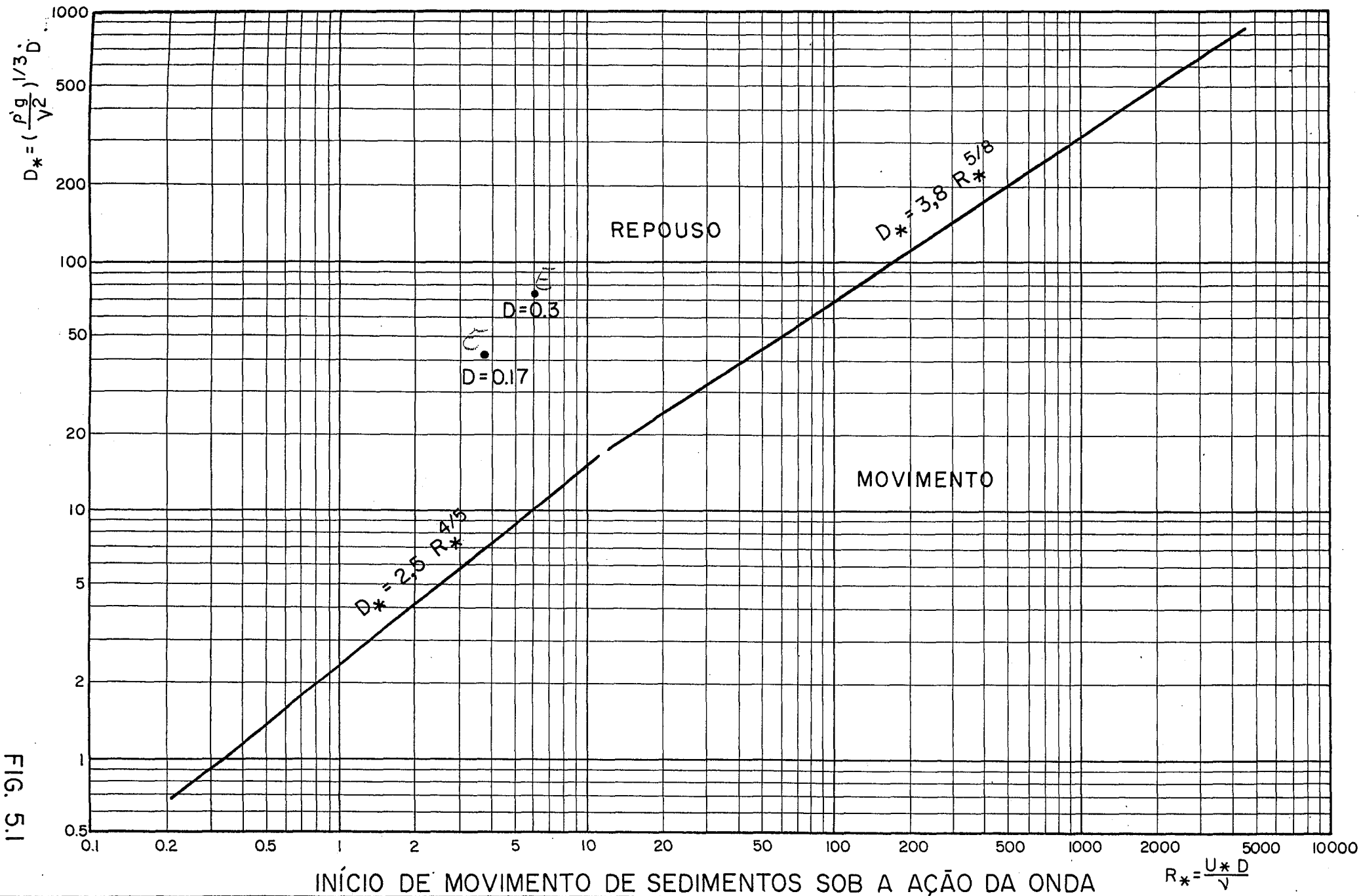
$$T = 7 \text{ s}$$

$$d = 10 \text{ m}$$

Uma onda com tais características é, dentre as que ocorreram em Suape, das que teriam maiores chances de movimentar os sedimentos marcados, os quais possuíam características sedimentológicas (densidade e granulometria) semelhantes às dos sedimentos de fundo do local da injeção.

(*) Uma onda com $H = 2.5\text{m}$ e $T = 7\text{ s}$. à profundidade de 17m tem, na profundidade de 10m, praticamente a mesma altura $H = 2.48\text{m} \approx 2.5\text{m}$, considerando que ao se propagar a onda tenha sofrido apenas o processo de empinamento (shoaling).

FIG. 5.1



INÍCIO DE MOVIMENTO DE SEDIMENTOS SOB A AÇÃO DA ONDA

$$R^* = \frac{U^* D}{\nu}$$

Considerando a velocidade de cisalhamento $u_* = 2.3$ cm/s e $D = 0.17$ mm (praticamente o limite inferior da curva granulométrica - Fig. Nº 02 da primeira parte do relatório), foi calculado o par de valores $R_* = 3.91$ e $D_* = 42.56$ o qual, plotado no gráfico da Fig. 5.1 ficou situado na região de repouso. Sendo consideradas constantes as ações hidrodinâmicas, uma vez que os sedimentos de menor diâmetro ficam localizados na região de repouso, com maior razão não se movimentariam os sedimentos de diâmetros maiores.

Considerando agora o problema dos sedimentos marcados injetados à profundidade de 13 m, em regime de verão (curva granulométrica da Fig. Nº 20 da primeira parte do relatório), o diâmetro correspondente a 10% da porcentagem em peso do "material que passa" é: $D = 0.3$ mm. A velocidade de cisalhamento produzida junto ao fundo, na profundidade de 13 m, por uma onda cuja altura, na profundidade de 17 m, é $H = 2.5$ m e com o período $T = 7$ s. (considerando só o efeito de empinamento), é: $u_* = 2.0$ cm/s.

Com $D = 0.3$ mm e $u_* = 2.0$ cm/s foi calculado o par de valores: $R_* = 6.00$ e $D_* = 75.11$ o qual, plotado no gráfico de Bonafille e Pernecker, ficou situado na região de repouso. Infere-se portanto, que os sedimentos com $D > 0.3$ mm também não se movimentariam sob as mesmas ações hidrodinâmicas.

Chega-se pois à conclusão de que os sedimentos marcados e, portanto, a areia de fundo dos locais de injeção, praticamente não se movimentaram sob a ação das ondas ocorridas em Suape. Esta conclusão é inteiramente confirmada pelos resultados dos trabalhos realizados em Suape, entre janeiro e março de 1975, com sedimentos marcados com traçadores radioativos, os quais mostraram que, na natureza, os sedimentos praticamente não se movimenta-

ram.

Ensaio realizado em canais de laboratório, em MAISONS-ALFORT, França, com o objetivo de se estudar a velocidade crítica para o início de movimento de sedimentos sob a ação de uma corrente uniforme, conduziram à relação simplificada:

$$\tau_c \text{ (em N/m}^2\text{)} = \text{diâmetro do sedimento em mm}$$

$$\tau_c = u_*^2 \rho \text{ é a tensão crítica de cisalhamento}$$

$$u_* \text{ é a velocidade crítica de cisalhamento devido à corrente uniforme}$$

Exemplificando:

Um sedimento de diâmetro $D = 0.17$ mm poderá ser posto em movimento quando o valor da tensão de cisalhamento, despertada no fundo pela corrente uniforme, for:

$$\tau \geq 0.17 \text{ N/m}^2$$

Por outro lado, considerando que a velocidade de cisalhamento sob a ação das ondas corresponde a uma velocidade instantânea máxima, é razoável admitir que o deslocamento dos sedimentos não poderá se efetuar senão para um valor de 1.5 a 2 vezes maior que o da velocidade de cisalhamento devido à corrente.

Então, para $D = 0.17$ mm (limite inferior da curva granulométrica do material injetado a -10 m):

$$\tau_c = 0.17 \text{ N/m}^2$$

vem:

das em janeiro e fevereiro de 1975.

Não tendo sido constatada uma movimentação apreciável de sedimentos, através das duas injeções de sedimentos marcados, nas profundidades de 10 e 13 metros, em regime de verão, não é de se esperar que haja movimentação a profundidades maiores que 13 metros. Explica-se isso pelo fato de que as ações hidrodinâmicas exercidas por uma dada onda junto ao fundo, decrescem com o aumento da profundidade. Além disso, em maiores profundidades, os sedimentos são mais finos; aparecem forças de coesão para sedimentos com diâmetro inferior a 0.1 mm e, para sua movimentação, as ações hidrodinâmicas deveriam ser cada vez mais intensas.

Em profundidades menores que 10 metros não foi possível verificar o comportamento dos sedimentos de fundo na natureza, através de estudos com a aplicação de traçadores radioativos, pois é bastante difícil e perigoso navegar junto ao cordão de recifes. Além disso, junto ao cordão de recifes o fundo apresenta muitas saliências (provavelmente blocos de arenito) que dificultam extremamente o arrastamento, no fundo, do contador de radiação.

A título de simples verificação foi pesquisada a possibilidade da movimentação de sedimentos na profundidade de 5 metros, sob a ação de ondas com $H = 3$ m e $T = 7$ s. propagando-se nessa profundidade. Ondas com tais características devem ocorrer em Suape principalmente em regime de inverno. A aplicação de critérios de início de movimento sob a ação de ondas revelou que sedimentos com diâmetro superior a 0.3 mm praticamente não se movimentam. Não se conhece a granulometria dos sedimentos de fundo, ao largo do cordão de recifes, na profundidade de 5 metros, mas certamente eles são mais grossos que os sedimentos de fundo da profundidade de 10 metros, no local de injeção do

$$u_{*c} \text{ (corrente)} = \sqrt{\frac{0.17}{1000}} = 0.013 \text{ m/s} = 1.3 \text{ cm/s}$$

Como $u_* \text{ (onda)} \approx 2.0 u_* \text{ (corrente)}$, vem:

$$u_* \text{ (onda)} = 2.0 \times 1.3 \approx 2.6 \text{ cm/s}$$

Este valor \bar{e} superior \bar{a} velocidade de cisalhamento ($u_* = 2.3 \text{ cm/s}$) produzida pela onda com maiores possibilidades de movimentar o sedimento ($H = 2.5 \text{ m}$, $T = 7 \text{ s}$) na profundidade de 10 m.

A aplicação do mesmo critério para o sedimento de $D = 0.3 \text{ mm}$ no fundo, \bar{a} profundidade de 13 m, leva ao seguinte resultado:

$$u_* \text{ (onda)} = 3.5 \text{ cm/s}$$

Este valor \bar{e} superior \bar{a} velocidade de cisalhamento ($u_* = 2.0 \text{ cm/s}$) produzida no fundo, pela onda de $H = 2.5 \text{ m}$ e $T = 7 \text{ s}$., na profundidade de 13 m.

Podemos então concluir, que os sedimentos de fundo, a -10 m e -13 m praticamente não se movimentaram.

Tal conclusão está de acordo com o primeiro critério utilizado e com as verificações na natureza.

5.3. CONCLUSÃO

Superpostas \bar{a} ação das ondas em Suape, existem correntes, principalmente as geradas pela ação do vento. Os valores resultantes desses dois efeitos principais são de baixa intensidade, como comprovam as medições efetua -

traçador radioativo, cuja curva granulométrica é conhecida e na qual os sedimentos com $D < 0.3$ mm representam, em peso, cerca de 2% do total.

Esta simples verificação relativa a ondas, que não traduz o efeito global das ações hidrodinâmicas junto ao cordão de recifes, é um indício de que, à terra da isobata de 10 metros, não deve haver movimento apreciável de sedimentos de fundo em Suape.

VI. CONCLUSÕES GERAIS

1. A movimentação desprezível de sedimentos de fundo ao largo do cordão de recifes em Suape, em regime de verão, nas profundidades de 10 e 13 metros, verificada com os trabalhos realizados com sedimentos marcados com traçadores radioativos, deve-se ao fato de terem sido pouco intensas as ações hidrodinâmicas de ondas e correntes junto ao fundo.

2. As correntes ao largo do cordão de recifes são de baixa intensidade, tanto no regime de inverno quanto no de verão, e são comandadas mais pela influência de ventos e ondas, que pela influência da maré.

3. Em regime de verão os ventos reinantes são os ventos E. A maior velocidade de vento observada na campanha de verão, foi de 16.4 nós. Não há dominância de ventos de uma determinada direção.

4. Os registros de onda obtidos em regime de verão permitiram constatar que as ondas provêm de E-SE, com os parâmetros ondulatórios variando entre:

- a) $H_{m\acute{a}x}$ (altura máxima) - 1.4 m a 2.6 m
- b) H_s (altura significativa) - 0.9 m a 1.6 m
- c) T_z (período médio) - 6 s a 7 s
- d) α (direção de incidência) - 104° a 125° com uma predominância nítida para 110°

5. São bastante semelhantes as características ondulatórias de Suape e de Aracaju-SE, tanto em regime de inverno quanto em regime de verão. Tal informação deve-se à comparação de resultados da análise de registros de ondas efetuados nos dois locais, nos mesmos meses, mas em anos diferentes.

6. Para fins de estudos futuros, pode-se considerar como desprezível a movimentação de sedimentos de fundo ao largo do cordão de recifes em Suape, tanto em regime de inverno quanto em regime de verão.

APÊNDICE I

ROTINA DE ANÁLISE DE REGISTROS ONDULATÓRIOS PELO MÉTODO
DE TUCKER-DRAPER

ROTINA DE ANÁLISE

Analisa-se cada um dos registros de onda da seguinte maneira:

- a. Delimita-se uma duração do registro correspondente a 10 minutos e são consideradas as ondas nesse intervalo. (T_R)
- b. Traça-se a olho, a linha correspondente ao nível médio do registro (linha zero).
- c. Conta-se o número de cristas (N_C). Define-se crista como sendo os pontos em que o nível d'água passa por um máximo, diminuindo para ambos os lados. Pode haver cristas abaixo do nível médio.
- d. Conta-se o número de vezes (N_Z) em que o registro corta a linha zero, movendo-se para cima (interseções ascendentes).
- e. Medem-se, a partir do nível médio, as amplitudes da crista mais alta (A) e da crista seguinte em altura (B).
- f. Medem-se, a partir do nível médio, as amplitudes do cavado mais baixo (C) e do cavado seguinte em altura (D), tomando ambas as quantidades como positivas.

g. A partir dessas medições, determinam-se:

$$H_1 = A + C$$

$$H_2 = B + D$$

$$\bar{T}_c = \frac{\text{duração do registro em seg.}}{N_c} = \frac{T_R}{N_c} \quad (\text{período das cristas})$$

$$\bar{T}_z = \frac{\text{duração do registro em seg.}}{N_z} = \frac{T_R}{N_z} \quad (\text{período das interseções com o nível médio})$$

h. Se o aparelho tiver seu funcionamento baseado no registro da variação de pressões, as alturas H_1 e H_2 devem ser corrigidas para a frequência de resposta do aparelho registrador de ondas e também para a atenuação da pressão ondulatória com a profundidade.

No caso do ondógrafo "Neyrpic" (registrador por emissão de ultra som), tem-se simplesmente:

$$H_{\max} = H_1.$$

i. O período que mais convenientemente representa o registro é \bar{T}_z .

j. O grau de pureza do registro $\bar{\epsilon}$ é dado pelo parâmetro de largura do espectro:

$$\bar{\epsilon} = \sqrt{1 - \left(\frac{T_c}{T_z}\right)^2}$$

Se as ondas registradas distribuem-se em uma ampla faixa de frequências, as ondas mais curtas "cavalgam" as ondas mais longas e, como consequência, há muito mais cristas que interseções do registro com o nível médio movendo-se para cima. Neste caso $N_c \gg N_z$ ou $T_z \gg T_c$; então $\bar{\epsilon} \rightarrow 1$ e trata-se mais de vagas. Para $\bar{\epsilon} = 1$ tem-se somente vagas, isto é: o registrador se encontrava na zona de geração das ondas.

Por outro lado, se as ondas do registro cobrem apenas uma pequena faixa de frequências, $N_c \geq N_z$ e $T_z \geq T_c$; então $\bar{\epsilon} \rightarrow 0$ e tem-se mais ondulações. No caso de a cada interseção do registro com o nível médio movendo-se para cima corresponder a uma crista, estamos em presença de ondulação pura.

OBS: O parâmetro $\bar{\epsilon}$ é bastante importante, pois através dele é possível saber se as ondas que atuam em um determinado local são sobretudo vagas (SEA), geradas pelos ventos locais, ou ondulações (SWELL) geradas longe da zona onde é feito o registro.

k. A altura significativa do registro (H_s) é tirada de uma tabela que fornece o fator H_s/H_1 em função da N_z . Esta tabela, que se transcreve a baixo, se baseia na teoria matemático-estatística do oceanógrafo Longuet-Higgins sobre as relações entre características de ondas que compõem um dado espectro.

N_z	H_s/H_1	N_z	H_s/H_1
20-21	0.77	64-73	0.65
22-23	0.76	74-85	0.64
24-25	0.75	86-100	0.63
26-27	0.74	101-118	0.62
28-29	0.73	119-139	0.61
30-32	0.72	140-166	0.60
33-35	0.71	167-202	0.59
36-39	0.70	203-253	0.58
40-44	0.69	254-315	0.57
45-49	0.68	316-390	0.56
50-55	0.67	391-488	0.55
56-63	0.66	489-615	0.54

./mgs.

APÊNDICE II

CÁLCULOS RELATIVOS A CORRENTES DE DERIVA E CORRENTES DE
TRANSPORTE DE MASSA

A força tangencial produzida pela ação do vento na superfície do mar, gera uma corrente (corrente de deriva) que é função da velocidade do vento, da latitude local e da relação H/D, onde H é a profundidade local e $D = 3.9Vn\acute{o}s/\sqrt{\text{sen}\phi}$ (V = velocidade do vento em n\acute{o}s e ϕ = latitude). O parâmetro D é a profundidade te\`orica na qual a corrente de deriva se anula. A velocidade da corrente de deriva na superfície é, segundo Ekman e Mohr: $U_0 \text{ cm/s} = 0.013V \text{ cm/s} / \sqrt{\text{sen}\phi}$. É possível calcular o valor da intensidade da corrente de deriva nos v\`arios n\`iveis de profundidade. A direç\`ao da corrente nos v\`arios n\`iveis de profundidade (espiral de Ekman) tende a se aproximar tanto mais da direç\`ao do vento gerador, quanto menor a latitude, menor a profundidade e maior a velocidade do vento.

Calculemos a corrente de deriva a 4 m do fundo em um local com profundidade de 10 m, na regi\`ao de Suape, gerada por um vento com velocidade $V = 16.4$ n\`os (a maior velocidade registrada na campanha de ver\`ao). Teremos:

$$\phi = 8.3^{\circ} \text{ sul}, \quad H = 10 \text{ m}$$

$$U_0 = \frac{0.013 \times 51.4 \times 16.4}{\sqrt{\text{sen}8.3^{\circ}}} = 29.0 \text{ cm/s (na superf\`icie e com } H/D = 1)$$

$$D = \frac{3.9 \times 16.4}{\sqrt{\text{sen}8.3^{\circ}}} = 168.3 \text{ m}$$

$$\frac{H}{D} = \frac{10}{168.3} = 0.06 \sim 0.1$$

Para este valor da relaç\`ao H/D, a intensidade da corrente de deriva nos v\`arios n\`iveis de profundidade é ob

tida multiplicando-se o valor de U_0 pelo fator K' do quadro a seguir. A direção teórica da corrente nos diversos décimos da profundidade sofre desvios angulares para a esquerda, em relação à direção do vento gerador, que são indicados no mesmo quadro.

Nível Sup.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
K'	0.44	0.39	0.35	0.30	0.26	0.22	0.18	0.13	0.08	0.04
Des. ($^{\circ}$)	3.7	3.9	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.2	5.4	5.5

Teoricamente então, um vento de velocidade $V = 16.4$ nós geraria uma corrente a 4 m do fundo em um local de profundidade total igual a 10 m, na região de Suape ($\phi = 8.3^{\circ}$ sul), cujo valor é: $U_{4m} = U_0 \times 0.18 = 29.0 \times 0.18 = 5.2$ cm/s. Esta corrente estaria defletida para a esquerda de 5° , relativamente à direção do vento gerador. Esse mesmo vento geraria uma corrente de intensidade: $U_{1m} = 29.0 \times 0.04 = 1.2$ cm/s a 1 m do fundo, defletida de 5.5° para a esquerda, em relação à direção do vento gerador.

Para efeitos práticos, a corrente gerada por um vento com velocidade de 16.4 nós ou maior, soprando na região de Suape, tem sensivelmente a mesma direção do vento em todos os níveis de profundidade, em locais com profundidade igual ou menor que 10 metros.

Com a propagação ondulatória ocorre um deslocamento de massa líquida na direção de propagação das ondas, conhecido como transporte de massa.

A análise dos registros ondulatorios efetuados no verão, em Suape, revelou que as ondas registradas tiveram períodos médios de 6 e 7 segundos. Na profundidade de 10 metros as relações d/L (onde d é a profundidade e L é o comprimento de onda à profundidade d) têm o seguinte valor: $d/L = 1/4.8$ (para onda de $T = 6$ s.) e $d/L = 1/6.0$ (para onda de $T = 7$ s.).

O cálculo da velocidade de transporte de massa em uma profundidade z , a partir da superfície, pode ser efetuado com a utilização da expressão

$$\bar{U}_z = \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 \frac{C}{2} \frac{\cosh 2k(d+z)}{\sinh^2 kd} = \bar{U}_0 \cosh 2k(d+z) \quad (\text{eq.1})$$

Tal expressão aparece na teoria de Stokes que é uma das teorias das ondas de amplitude finita, e é utilizada para a faixa $d/L > 1/10$.

Segundo RUSSEL e OSORIO (1) obtém-se valores mais aproximados da velocidade da corrente de transporte de massa, na faixa de $1.5 > 2\pi d/L > 0.7$ ou $1/4.2 > d/L > 1/9.0$, utilizando-se para o cálculo a equação de condução desenvolvida na teoria de LONGUET-HIGGINS (2). A sua expressão, é:

$$2 \frac{\bar{U}_z}{\bar{U}_0} = 2 \cosh 2k(d+z) + 3 + kd \left[3 \left(\frac{z}{d}\right)^2 + 4 \left(\frac{z}{d}\right) + 1 \right] \sinh 2kd + 3 \left[\frac{\sinh 2kd}{2kd} + \frac{3}{2} \right] \left[\left(\frac{z}{d}\right)^2 - 1 \right] \quad (\text{eq.2})$$

$$\text{com } U_0 = \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 \frac{C}{2 \sinh^2 kd}$$

(1) RUSSEL, R.C.H. and J.D.C. OSORIO, An Experimental Investigation of Drift Profiles in a Closed Channel. Proc. Sixth Conf. Coastal Eng., Berkeley, California (1958) pp. 171-93.

(2) LONGUET-HIGGINS, M.S., Mass Transport in Water Waves, Phil. Trans., Roy. Soc. (London), ser. A, 245, 903 (March 31, 1953), pp. 525-81.

onde

z = distância vertical com origem na superfície

k = número de onda = $2\pi/L$

d = profundidade local

C = celeridade da onda = $\sqrt{\frac{g}{k} \operatorname{tgh} kd}$

H = altura da onda

A maior onda registrada em Suape na campanha de verão, teve por altura: $H = 2.5\text{m}$ na profundidade de 17 metros. O período médio do registro correspondente foi de 7 segundos. Considerando que essa onda ao se propagar da profundidade de registro (-17m) até a profundidade de 10 metros sofreu apenas o processo de empinamento (shoaling), a sua altura à profundidade de 10 metros seria praticamente a mesma: $H = 2.48\text{m} \approx 2.5\text{m}$.

A velocidade da corrente de transporte de massa a 4 metros do fundo gerada por um trem de ondas regulares de altura $H = 2.5\text{m}$ e período $T = 7$ seg., propagando-se numa profundidade constante de 10 metros, é (eq.2): $U_{z=6} = -5.1 \text{ cm/s}$ (*). A cerca de 1m do fundo a velocidade seria da ordem de: $U_{z=9} = 5.6 \text{ cm/s}$.

(*) O sinal (-) indica que o sentido da corrente é o oposto ao da propagação das ondas.