

LABORATÓRIO DE RADIOISÓTOPOS
INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS
PRIMEIRA PARTE

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

COMPANHIA BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NUCLEAR
INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS
C.P. 1941 - Belo Horizonte - MG
Julho/1974

LABORATÓRIO DE RADIOISÓTOS

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

COMPANHIA BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NUCLEAR

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

C.P. 1941 - Belo Horizonte - MG

Julho/1974

LABORATÓRIO DE RADIOISÓTOPOS
INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS
EQUIPE

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

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

PARTICIPANTES

Pedro Edmundo Aun
Jefferson Vianna Bandeira
José Olympio N. M. de Castro
Miguel Ricardo Aun
Luiz Fontoura Lorensoni
Geraldo Godinho Pinto
Matheus Eustáquio da Silveira

R E S U M O

Este relatório apresenta os resultados da primeira campanha de medidas realizada em Suape, Pernambuco, pelo Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas, como parte do trabalho contratado com a Transcon S.A. e a Companhia de Distritos Industriais de Pernambuco (DIPER).

A injeção de vidro marcado com irídio 192, na mesma granulometria do material de fundo, foi realizada em 28 de junho de 1974, ao largo do cordão de recifes. No dia seguinte, realizou-se uma detecção preliminar, sendo a primeira detecção efetuada em 7 de julho. A análise dos resultados obtidos mostra uma pequena movimentação do material na direção nordeste, paralelamente à linha de recifes. A aplicação do "método do balanço de traçadores" fornece uma vazão de material de fundo da ordem de 0,4 toneladas por metro linear por dia.

Em vista destes resultados, a segunda campanha de medidas foi programada para a segunda quinzena de agosto.

Durante a realização do trabalho com traçadores, vem sendo realizada a coleta de dados sobre características de ondas e correntes, pela equipe do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, para posterior relacionamento com os dados fornecidos pela utilização de radioisótopos.

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

PARTE 1 - INJEÇÃO E PRIMEIRA DETECÇÃO.

1. ANTECEDENTES.

A Transcon S.A. Consultoria Técnica (Transcon) celebrou, em novembro de 1973, um contrato de consultoria com a Companhia de Desenvolvimento Industrial de Pernambuco (DIPER), tendo por objeto os estudos referentes à elaboração do Plano Diretor do Complexo Industrial de Suape e as etapas posteriores de desenvolvimento dos estudos, e laboração de projetos específicos e supervisão da execução das obras que constituirão o Complexo Industrial do Suape.

Está explícito neste Contrato que a Transcon poderá consultar entidades ou empresas especializadas para estudo, equacionamento e solução dos problemas especiais necessários aos serviços nele previstos.

Uma parte importante dos estudos relativos a Suape se refere ao estabelecimento de um porto na região, para o projeto do qual são necessários dados sobre o movimento de sedimento de fundo, tanto no interior como no exterior da linha de recifes já existente. Para este estudo, caracterizado como problema especial, a Transcon estabeleceu um contrato com a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN), em junho de 1974, do qual participou

a DIPER como interveniente pagadora e principal interessada. Os trabalhos nele previstos incluem:

- i. A medida do transporte de sedimento de fundo, ao largo da barreira de recifes, em regime de inverno.
- ii. A medida do transporte de sedimento, ao largo da barreira, em regime de verão.
- iii. O estudo do movimento de sedimento de fundo na região do porto, no interior da linha de recifes.
- iv. A coleta, interpretação e análise de dados hidráulicos sobre características de ondas e correntes.

O Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas, Belo Horizonte, foi encarregado da execução dos trabalhos com traçadores radioativos. As medidas hidráulicas foram contratadas, pela CBTN, com o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) do Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis. A Transcon, através do pessoal de seu escritório em Recife, ofereceu apoio tanto ao pessoal do Laboratório de Radioisótopos, como à equipe encarregada das medidas hidráulicas.

A primeira campanha de medidas de campo, referente aos estudos ao largo da linha de recifes, em regime de inverno, é o objeto deste relatório.

2. O TRABALHO COM TRAÇADORES RADIOATIVOS.

2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO.

Um trabalho com traçadores consiste essencialmente em:

1. Marcar, com um radioisótopo, uma amostra representativa do material de fundo.
2. Deposita-lo no local a estudar.
3. Acompanhar sua movimentação posterior, por meio de um detector de radiação arrastado por um barco. Outra alternativa é simular o material de fundo por meio de vidro moído de mesma forma, granulometria e densidade que o sedimento a estudar, e que contém um material ativável (irídio, ouro escândio).

A posição do barco que transporta o detector é obtida, em intervalos de tempo prefixados, por uma rede de teodolitos ou por radio-localização.

Uma detecção consiste em cobrir toda a área pela qual se espalhou o material radioativo por meio de trajetórias paralelas, relacionando cada posição instantânea da sonda com a taxa de contagem nela obtida.

- iii. as posições sucessivas do centro de gravidade da nuvem permitem calcular a velocidade média de transporte, V_m .
- iv. a vazão sólida é calculada por (2.2.4 - 1), adotando-se, em geral, um valor $L = 1m$.

2.3. O TRABALHO DE CAMPO.

A primeira campanha em Suape iniciou-se no dia 15 de junho de 1974 e foi encerrada em 11 de julho.

O material radioativo constituiu-se de 500g de vidro moído, marcado com irídio-192 e irradiado no reator de Ezeiza, da Comissão Nacional de Energia Atômica da Argentina. A granulometria do material injetado (fig. 1) era a média de amostras de fundo coletadas a cerca de 500 m ao norte da interrupção na linha de recifes conhecida como Barreta.

As detecções foram feitas por um trenô metálico (fig. 2) que transportava uma sonda de cintilação. O trenô era preso a um cabo de aço e rebocado pelo barco sobre o fundo. O seu lançamento e recolhimento eram feitos por um guincho motorizado, montado na pôpa do barco. Este era o "São Pedro", lagosteiro da Nortepesca S.A., com cerca de 12m de comprimento na linha d'água e 3m de boca; sua cabine foi adaptada para o trabalho, construindo-se uma mesa para posicionamento e um "rack" para colocação do equipamento eletrônico.

Uma sêrie de detecções, separadas por intervalos que vão de dias a meses, representa um trabalho completo.

2.2. O MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS.

2.2.1. Correções prévias.

Os dados brutos provenientes da sonda de detecção sofrem as seguintes correções:

i. Correção do ruído de fundo.

O fundo sempre apresenta alguma radioatividade natural, maior no caso de vasa do que de areia e que é medida antes da injeção do traçador.

O valor do ruído de fundo em cada ponto é subtraído da contagem obtida, durante a detecção, naquele ponto.

ii. Correção do decaimento radioativo.

Cada radioisótopo apresenta uma meia vida característica e constante. Define-se como meia-vida o tempo necessário para que uma determinada atividade se reduza à metade do seu valor inicial. Entre os traçadores mais comuns, o irídio-192 tem a meia-vida de 74,4 dias e o ouro-198 de 2,7 dias.

A correção do decaimento radioativo é feita pela expressão:

$$A = A_0 e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{T}}$$

onde

A é a atividade remanescente após decorrer o tempo t

A₀ é a atividade no dia escolhido para origem dos tempos (o dia da injeção ou da primeira detecção)

T é a meia-vida.

iii. Correção das variações da velocidade do barco.

O método de análise a ser utilizado supõe que o barco executa a detecção em velocidade constante. Como isto não acontece na prática, todas as contagens são reduzidas para uma velocidade do barco de 1 m/s, multiplicando-se o valor da contagem em determinado percurso pela velocidade do barco naquele trecho.

- iv. Correção da inclinação das linhas de de
teccão.

Evidentemente, é impossível conseguir-se traje
tórias paralelas no movimento do barco durante a detecção,
apesar das correções de navegação serem feitas continua
mente durante o trabalho. Para corrigir isto, define-se
uma direção que seja paralela ao maior número possível de
trajetórias do barco. Os desvios de trajetória, em cada
trecho, são corrigidos pela multiplicação da contagem ne
le obtida pelo coseno do ângulo entre o trecho e a dire
ção definida anteriormente.

Todas as correções acima são executadas em uma
calculadora programável Hewlett Packard, alimentada por
fita perfurada. Os programas de cálculo foram desenvolvi
dos pelo Laboratório de Radioisótopos.

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

2.2.2. As curvas de isocontagem.

Estas curvas constituem um modo de apresentação
dos resultados experimentais que permite uma fácil visua
lização do movimento do material. Elas são obtidas mar
cando-se, no mapa da área em estudo, cada ponto no qual

foi efetuada uma contagem e fazendo-se corresponder a este ponto a taxa de contagem nele obtida.

Une-se, em seguida, por uma linha contínua, todos os pontos de mesma taxa de contagem.

Apesar de indicarem, com clareza, a área coberta pelo material radioativo e a direção preferencial de movimento, as curvas de isocontagem fornecem poucas informações quantitativas.

2.2.3. O diagrama de transporte.

Define-se direção de transporte teórica como a direção perpendicular à trajetória média de detecção executada pelo barco. A trajetória média é definida pela aplicação do método dos mínimos quadrados aos diversos percursos do barco.

O diagrama de transporte é construído fazendo-se corresponder a contagem total corrigida de cada linha à posição dada pela intercessão da linha com a direção de transporte teórica. Unindo-se os pontos assim obtidos por uma linha contínua, obtem-se o diagrama de transporte, cuja área fornece o valor N da contagem total detectada. O diagrama de transporte mostra com clareza as regiões de concentração de atividade, sendo utilizado para o cálculo das vazões sólidas de fundo.

O "método do balanço de traçador", detalhado no Anexo I, permite calcular a espessura média de transporte E , a partir do valor N da contagem total detectada.

2.2.4. O cálculo da vazão sólida.

Os programas de cálculo atualmente utilizados permitem também determinar, a partir dos dados experimentais, a posição do centro de gravidade da nuvem radioativa.

Dividindo-se a distancia entre os centros de gravidade de nuvens sucessivas pelo tempo decorrido entre as detecções, obtêm-se a velocidade média \underline{V}_m de deslocamento da nuvem. Para a primeira detecção, a velocidade média é calculada a partir da distancia entre o seu centro de gravidade e o ponto de injeção.

A vazão sólida de fundo \underline{Q} é calculada por

$$Q = \rho L V_m E \quad , \quad (2.2.4 - 1)$$

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

Em resumo:

- i. a área do diagrama de transporte fornece o valor de \underline{N} .
- ii. a aplicação do "método do balanço" permite calcular, a partir do valor \underline{N} , a espessura média de transporte \underline{E} .

O equipamento utilizado foi o seguinte:

- Detectores de cintilação SRAT, tipo SPP3, com cristal de iodeto de sódio, 1" x 1 1/4", contido em proteção estanque.
- Contador de impulsos Hewlett Packard 5021L, base de tempo a cristal.
- Registradores gráficos Moseley - Hewlett Packard 7100 BM.
- Ecosonda Raytheon, com registrador.

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

O posicionamento do barco era feito, a intervalos de 30s, por uma rede de teodolitos. A posição era lançada em uma carta, na cabine do barco, o que permitia a correção rápida de desvios de rota.

A comunicação barco-teodolitos era assegurada por rádio-transmissores portáteis, Tokay ou Evadin, com 5 W de saída e operando em 27 MHz.

Paralelamente ao trabalho com traçadores, a equipe do INPH realizou medidas de direção, amplitude e frequência de ondas e de direção e velocidade de correntes. Foram utilizados um ondógrafo Neyrpic e um correntô

grafo Mecabolier, além de um correntometro para medidas em profundidade. A metodologia da coleta de dados hidráulicos será detalhada em relatório separado, a ser apresentado após o término da campanha de medidas.

A primeira semana de trabalho foi dedicada à adaptação do barco para o lançamento do ondógrafo, instalando-se um guincho e mudando-se a localização do turco de lançamento. Toda a semana transcorreu chuvosa, encontrando-se interrompido o acesso por terra ao Suape.

No dia 23 de junho, procedeu-se ao primeiro lançamento do correntógrafo e do ondógrafo. Os dias seguintes foram dedicados a um levantamento cuidadoso do ruído de fundo natural, que é bastante variável e que apresenta, inclusive, anomalias bastante ativas. O arraste do trenô pelo fundo foi feito com alguns problemas, devido à presença de pedras. Os resultados do levantamento de ruído de fundo, apresentados sob a forma de linhas de isocontagem, aparecem na figura 3.

A injeção do traçador radioativo foi efetuada no dia 28 de junho, no ponto assinalado na figura 4.

O manuseio do material havia sido realizado em Belo Horizonte, tendo consistido em:

- i. abertura da blindagem de transporte.
- ii. abertura do frasco de irradiação.
- iii. transferencia do radioisótopo para o recipiente de injeção.
- iv. homogeneização do radioisótopo: o recipi

ente de injeção é girado, por um motor, durante 40 minutos.

- v. tomada de alíquotas do radioisótopo, para calibração da atividade injetada e para verificação de homogeneidade.

Todo o trabalho de homogeneização é feito com o recipiente de injeção colocado na blindagem de transporte, de onde só é retirado no momento da injeção. Neste instante, o injetor (fig. 5) é colocado sobre a blindagem de transporte e um sistema de travas prende o recipiente de injeção ao injetor. Este, suspenso pelo mesmo turco que permite o lançamento do ondógrafo, é girado para fora da borda do barco e descido ao fundo. No instante em que atinge o fundo, uma alavanca abre o recipiente de injeção e o radioisótopo se deposita. Toda esta operação foi realizada com sucesso.

A injeção foi efetuada no ponto de coordenadas cartesianas $X = 3109m$ e $Y = 1081m$, no sistema de referência que tem como origem dos eixos o Forte de Nazaré e cujo eixo OX é constituído pela linha que une a base do Forte à base de Outeiro Alto. Ela foi efetuada às 16:05, com mar calmo e onda sul, no início do período de maré vazante.

No dia seguinte, 29 de junho, efetuou-se a detecção de "mise-en-place", cuja finalidade é verificar se houve grande espalhamento do traçador no momento da injeção. Verificou-se que o radioisótopo estava localizado

Praticamente no ponto de injeção.

A semana seguinte foi caracterizada por um vento SE forte e contínuo, tendo sido observadas rajadas de mais de 30 milhas. O estado do mar e o tempo chuvoso impediram novas detecções bem sucedidas, apesar de várias tentativas.

A primeira detecção foi efetuada no dia 7 de julho, com mar de pequenas vagas, onda S e vento E.

Verificou-se que o espalhamento do material havia sido pequeno; deste modo, foi possível realizar uma boa detecção durante um único dia de trabalho.

Em vista do pequeno movimento encontrado, concluiu-se que segunda detecção deveria ser realizada cerca de um mês após, ou seja, em meados de agosto. Durante este período, continuaria sendo realizada a coleta de dados hidráulicos.

3. A ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS.

Durante a detecção, foram anotados:

- i. Os angulos fornecidos pelos teodolitos, que definem a posição do barco, coletados de 30 em 30 segundos.
- ii. As contagens correspondentes ao trecho percorrido pelo barco, impressas de 5,8 em 5,8 segundos.
- iii. as profundidades do trecho, registradas continuamente.

Estes dados foram transportados para uma fita perfurada, por meio de um teletipo. Esta fita alimentou uma calculadora que executou todas as correções anteriormente citadas e forneceu os dados para a construção das curvas de isocentração e do diagrama de transporte. O ruído de fundo correspondente a cada linha de detecção foi obtido da figura 3.

As curvas de isocentração para a detecção do dia 7 de julho aparecem na figura 6. Ela mostra que o movimento existente se fez para o nordeste, paralelamente à linha de recifes. A nuvem tinha 400 m de comprimento e cerca de 130 m de largura, nove dias após a injeção. A região de atividade alta cobre cerca de 150 m, a partir

do ponto de injeção, não se observando nenhuma contagem ao sul dele. A atividade encontrada no ponto de injeção foi muito alta, ultrapassando 80.000 contagens por segundo.

A figura 7 mostra uma planta de situação do local de trabalho, indicando a região ocupada pela nuvem radioativa, bem como sua direção de movimento.

O diagrama de transporte é apresentado na figura 8. Ele mostra claramente a concentração de atividade na região de injeção, estando a fração principal da atividade concentrada em cerca de 60 m.

Os dados utilizados para a construção do diagrama de transporte, que são a intercessão de uma linha de navegação com a direção de transporte teórico e a contagem total detectada na linha, permitem que se calcule o balanço do material radioativo na região de trabalho. Para a detecção do dia 7 de julho, obteve-se um valor de $N = 4,73 \times 10^7$ c/s \times m².

Como é mostrado no Anexo 1, o valor de N é utilizado para calcular a espessura média de transporte, utilizando-se a expressão:

$$\frac{\alpha N}{\beta f_0 A} = \frac{1 - e^{-\alpha E}}{E} \quad (3.1)$$

α e f_0 são coeficientes determinados em laboratório e se referem à resposta da sonda de detecção a uma atividade

uniformemente distribuída, situada em diversas profundidades. Para a sonda 4, utilizada nesta detecção, os valores são:

$$\alpha = - 0,144 \text{ m}^{-1}$$

$$f_0 = 54,9 \text{ c/s}/\mu\text{Ci}/\text{m}^2$$

β é uma função da distribuição em profundidade do material radioativo. Fazendo-se a hipótese de que o material se distribui uniformemente desde a superfície até a região limite do movimento, o coeficiente β tem o valor $\beta = 1$.

A atividade injetada A foi obtida por calibração direta de alíquotas recolhidas do material irradiado, durante a preparação da injeção.

Em 28 de junho, data da injeção, a atividade existente era $A = 2,40 \times 10^6 \mu\text{Ci}$.

Substituindo-se estes valores no primeiro membro na expressão (3.1), obtem-se:

$$\frac{1 - e^{-\alpha E}}{E} = 0,052$$

O valor de E , calculado por iterações sucessivas, é:

$$E = 0,18 \text{ m.}$$

O programa de cálculo determina também a posição do centro de gravidade da nuvem radioativa.

Para esta detecção, as coordenadas do centro de gravidade, no sistema de eixos definido anteriormente, são

$$X_G = 3099 \text{ m}$$

$$Y_G = 1086 \text{ m}$$

A distância entre o ponto de injeção e o centro de gravidade, calculada a partir de suas coordenadas cartesianas, é de 11 m. A velocidade de movimentação, haverdo decorridos 8,9 dias entre a injeção e a detecção, será de 1,23 m/dia.

Portanto, a vazão sólida de fundo, dada pela expressão:

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

será

$$Q = 1,65 \times 1,23 \times 1 \times 0,18 = 0,37 \text{ t/m/dia.}$$

A vazão sólida de fundo é, portanto, de cerca de 400 quilos por metro linear e por dia, na direção nordeste, em regime de verão.

Este resultado foi obtido a partir de dados referentes a uma única detecção, devendo ser confirmado pela comparação com os resultados das medidas posteriores. Além disso, as medidas da atividade injetada estão sendo verificadas, o que poderá alterar os resultados para um valor da ordem de 300 quilos por metro linear por dia.

4. CONCLUSÕES.

A primeira detecção realizada em Suape mostrou que o material de fundo apresenta um pequeno movimento na direção nordeste, paralelamente à linha de recifes. Os cálculos da vazão sólida de fundo definiram um valor da ordem de 0,4 toneladas por metro linear e por dia.

ANEXO 1

1. O MÉTODO DO BALANÇO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS.

1.1. INTRODUÇÃO.

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

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

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

Apesar dessa aparente simplicidade, cada trabalho deve ser cuidadosamente estudado e planejado, devido às diferenças que apresentam entre si e que introduzem alterações profundas no método de abordagem.

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

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

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

onde

Q = vazão mássica em toneladas/dia

ρ = massa específica do sedimento, em toneladas/m³

l = largura de transporte, em metros

V_m = velocidade média, em m/dia

E = espessura da camada em movimento, em metros

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

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

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

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

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

1.2. O MÉTODO DO BALANÇO DE TAXAS DE CONTAGEM.

1.2.1. PRINCÍPIO.

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

$$N = \text{~~sss~~ nds}$$

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

$$f = f(z)$$

Em um local determinado da nuvem radioativa a taxa de contagem \underline{n} será

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

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

Pode-se calcular N por

$$N = \iiint_S n ds = \iiint_V f(z) C(x,y,z) dx dy dz \quad (3)$$

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

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

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

onde E é a espessura da camada em movimento.

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

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

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

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

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

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

o que pode ser escrito

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

7.

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

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

Este valor de Γ_M é, em geral, diferente da concentração média Γ_m

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

Façamos

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

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

em profundidade,

- i. de forma linear.
- ii. segundo uma lei parabólica, com o máximo na superfície.
- iii. segundo uma lei parabólica, com um máximo a um terço da profundidade total.

Introduzindo o valor de β na expressão (6), ob
tem-se

$$\frac{1}{\beta} \frac{\alpha}{f_0} \frac{N}{A} = \frac{1 - e^{-E\alpha}}{E} \quad (10)$$

onde

α e f_0 são coeficientes de calibração, determinados em laboratório.

A a atividade injetada, é conhecida

N é calculado a partir dos dados obtidos no trabalho de campo.

β é uma função de E, conhecida a partir das hipóteses feitas sobre a distribuição do traçador em profundidade.

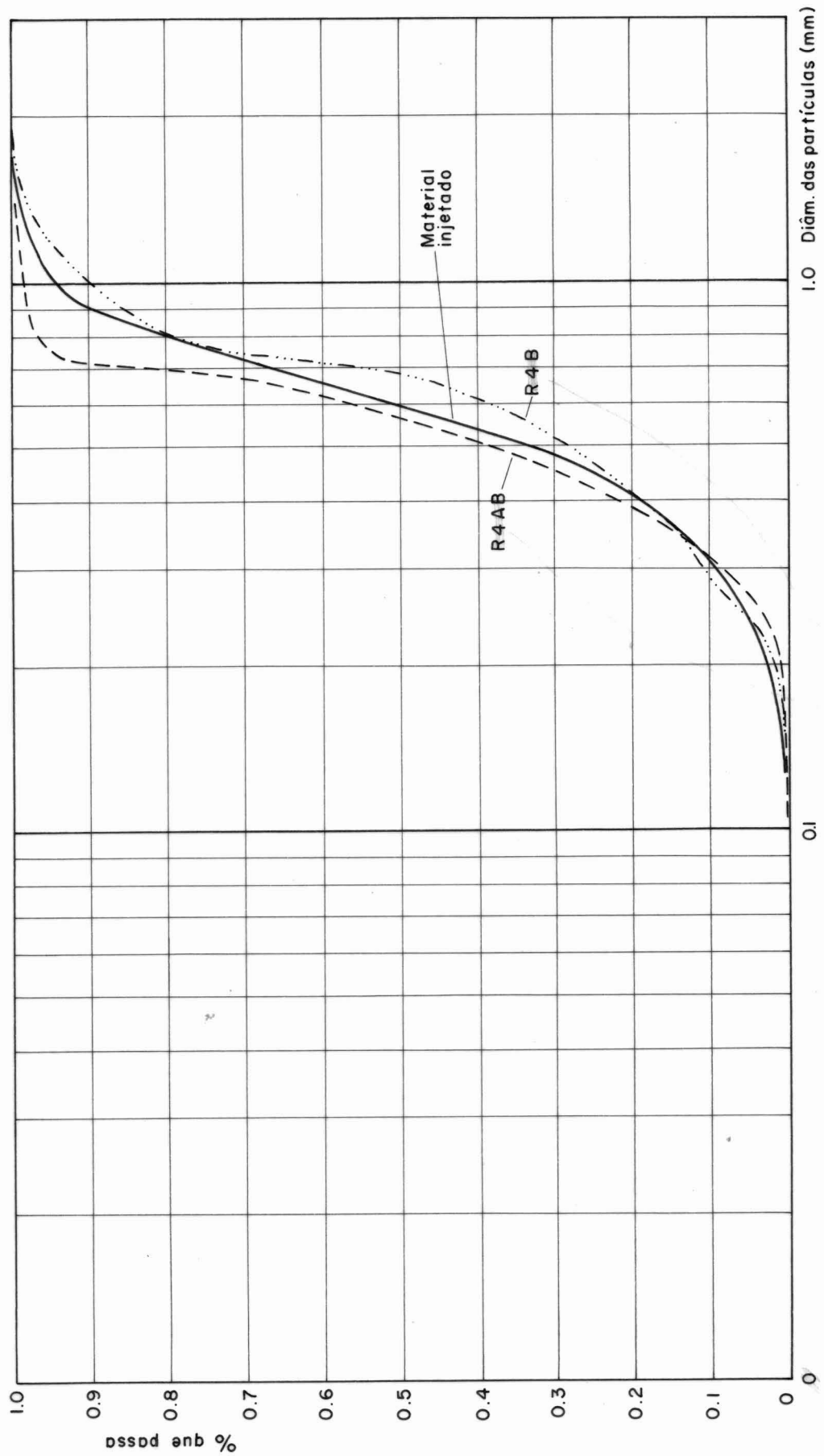
Pode-se, portanto, calcular o valor de E, por métodos gráficos ou matemáticos.

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

$$Q = \rho l V_m E$$

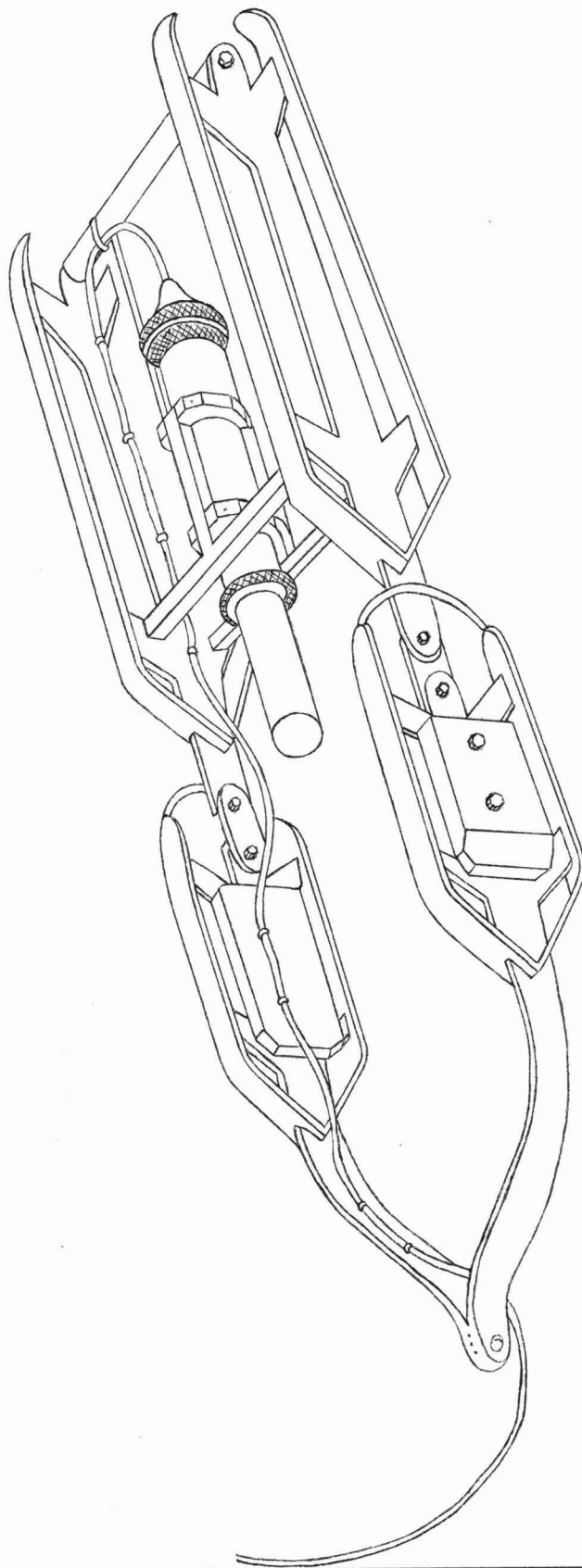
l é determinado medindo-se a largura do leito na qual existe movimento; em geral, o cálculo é feito para $l = 1\text{m}$.

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



ANEXO TRAV. 03 EDIÇÃO

Laboratório de Radioisótopos IPR-CBTN C.Postal 1941 - BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Granulometria do material injetado				
	Data 12/08/74	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 01



Laboratório de
Radioisótopos

IPR - CBTN

C.Postal 1941 - BH

CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER

MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE

Trenó e Sonda

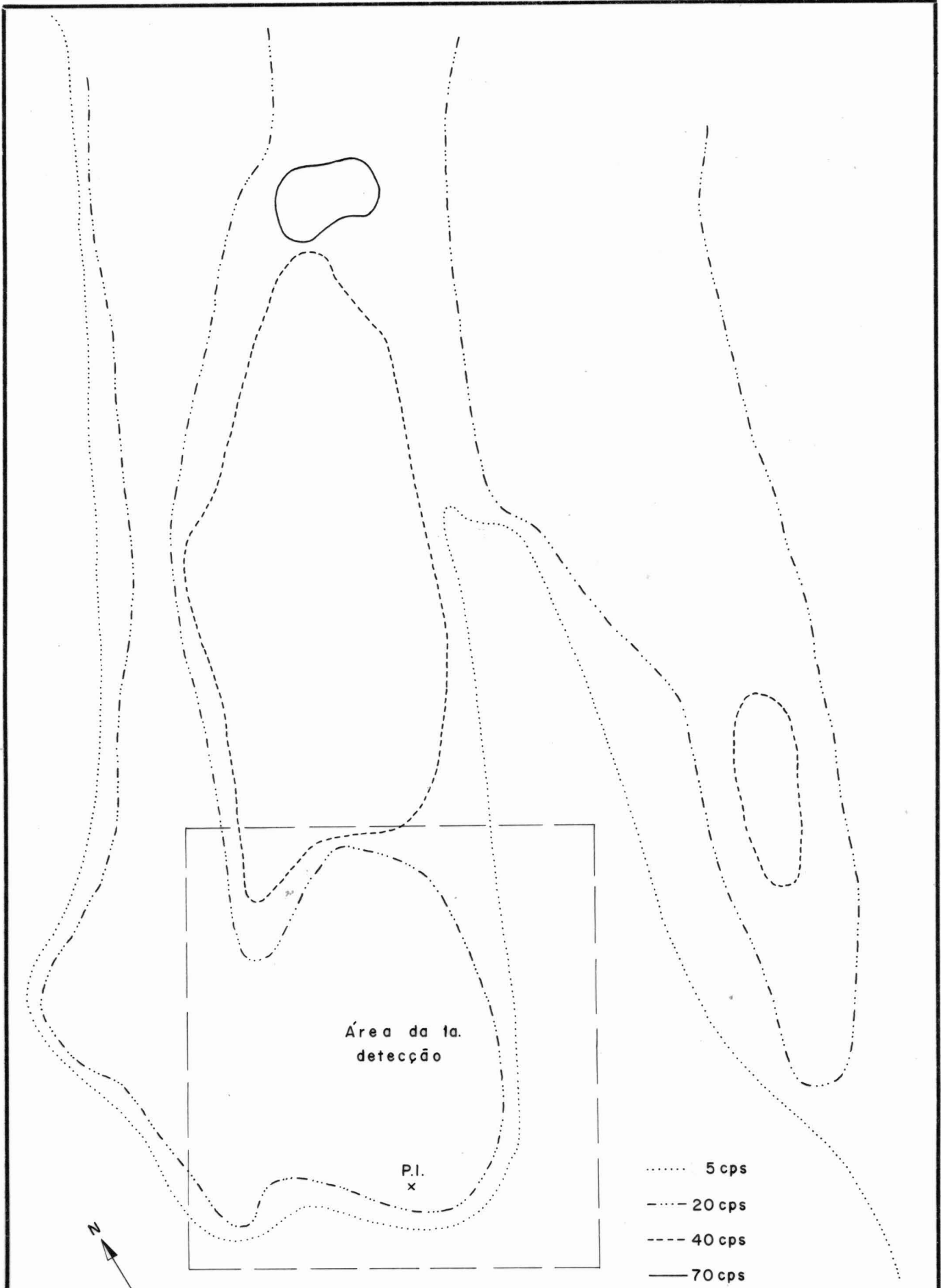
Data
12/08/74

Escala

Desenhista
L.R.A.

Aprovação
P.E.A.

Figura
Nº 02



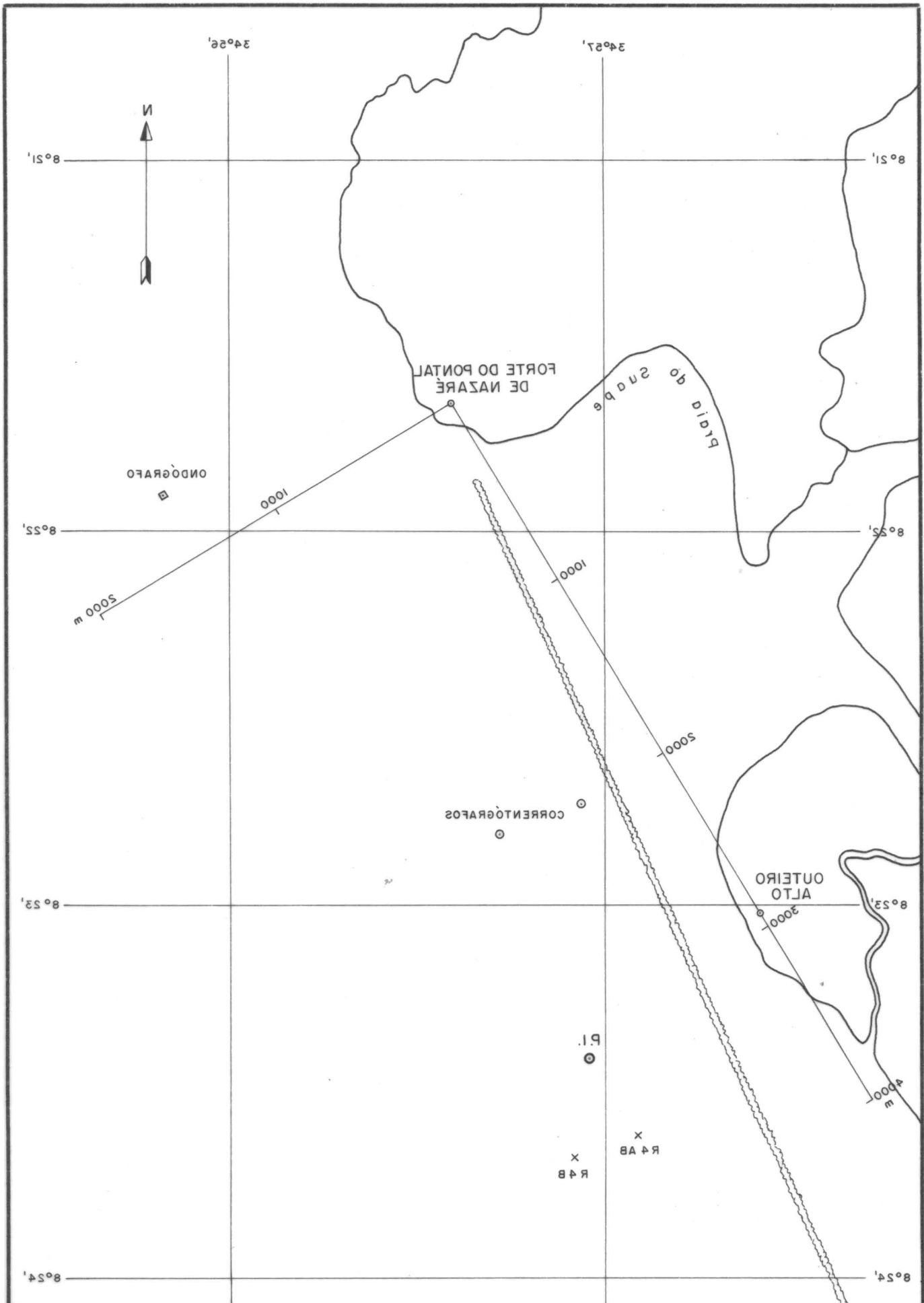
Área da 1ª
detecção

P.I.
x

- 5 cps
- · - · - 20 cps
- 40 cps
- 70 cps



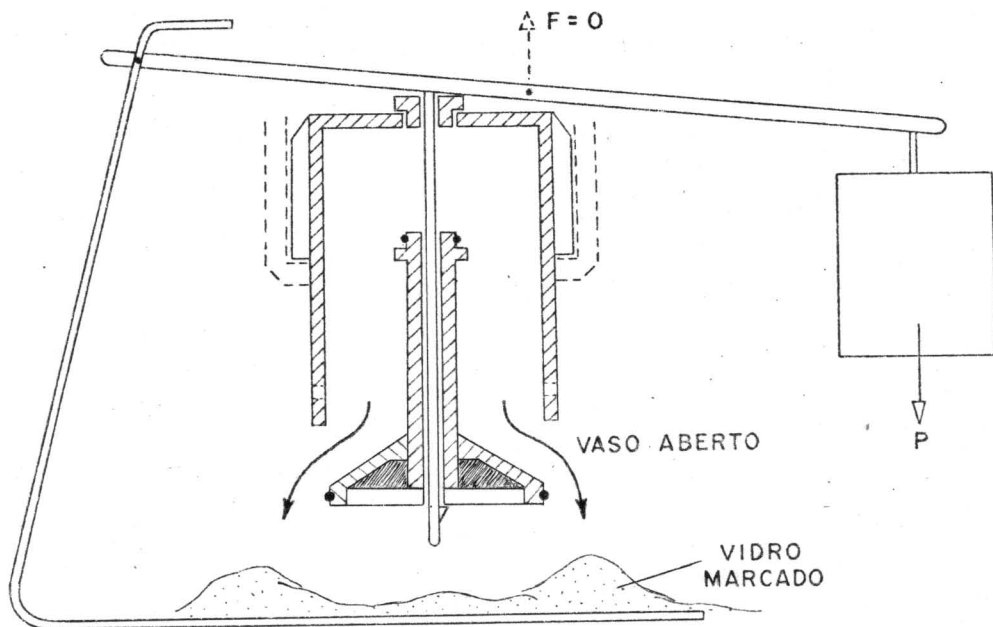
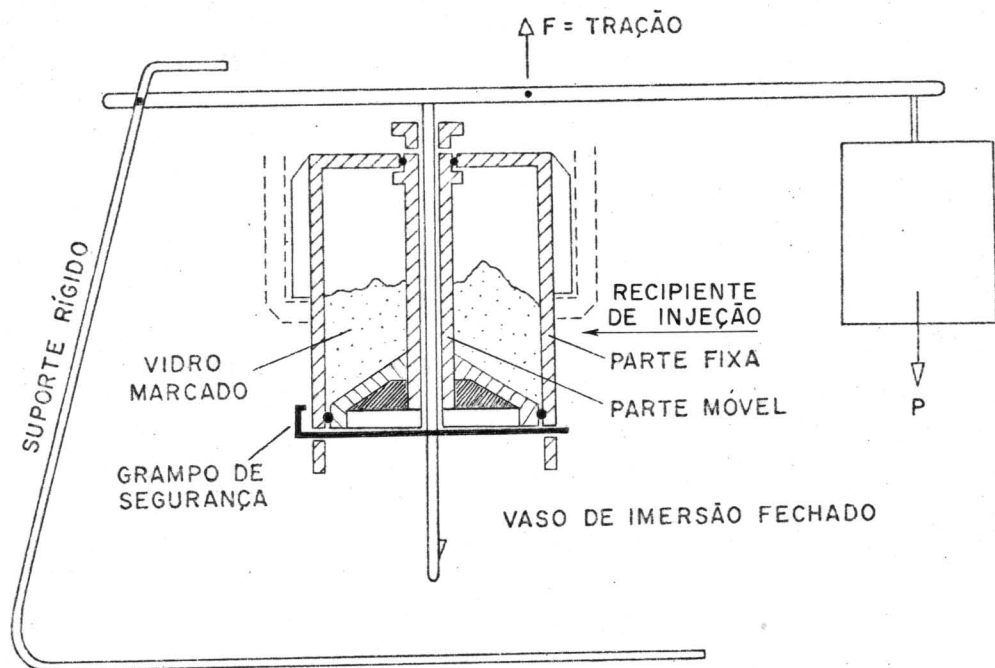
Laboratório de Radioisótopos IPR - CBTN C.Postal 1941 - BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Curvas de isocontagem: ruído de fundo natural				
	Data 12/08/74	Escala 1:7500	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 03



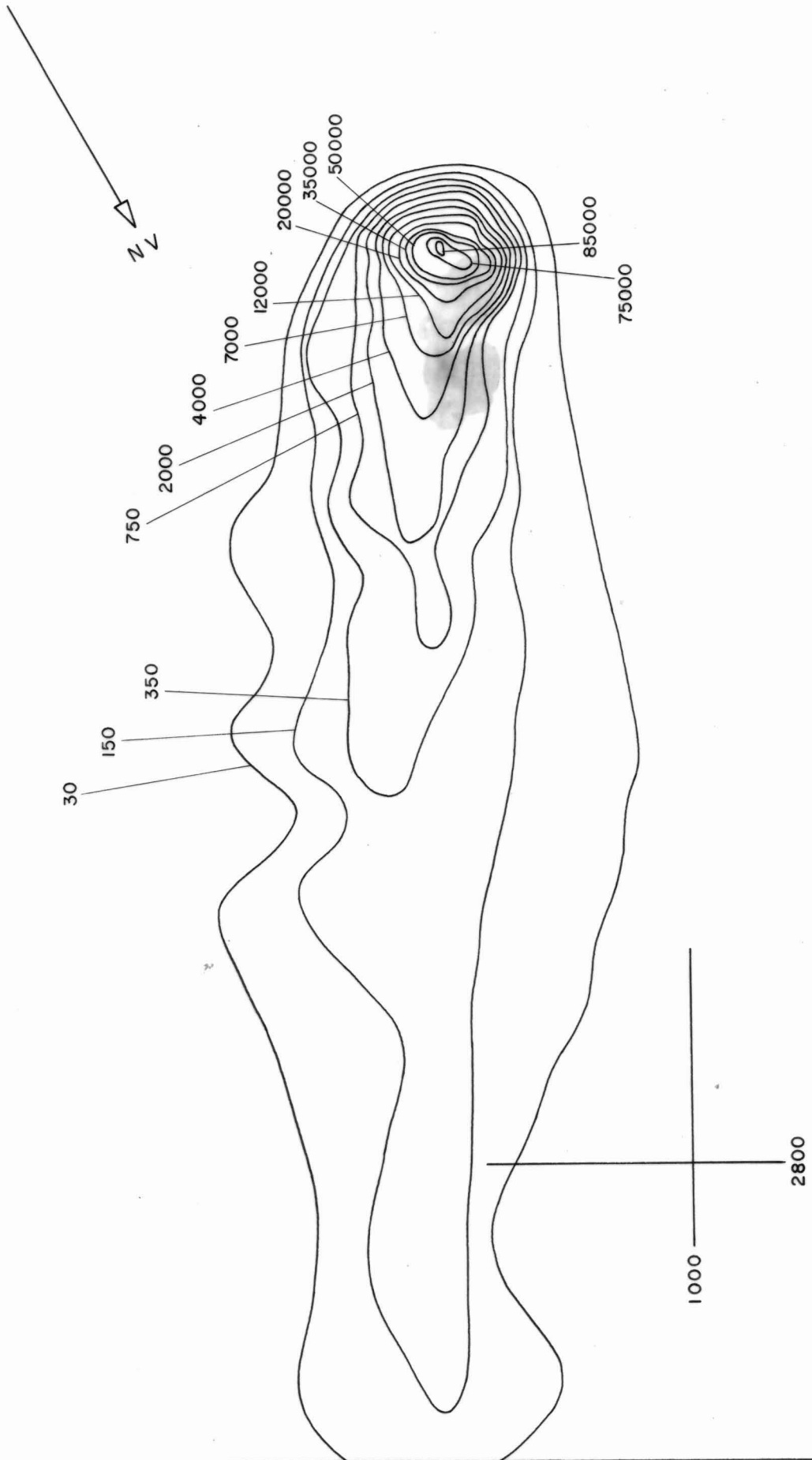
C. Postal 1941 - BH		Data 12/08/74		Escala 1:25000		Desenhista L.R.A.		Aprovção P.E.A.		Figura Nº 04	
Localização do ponto de injeção						MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE					
CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER											

Laboratório de
 Radiótopos
 IPR - CBTN

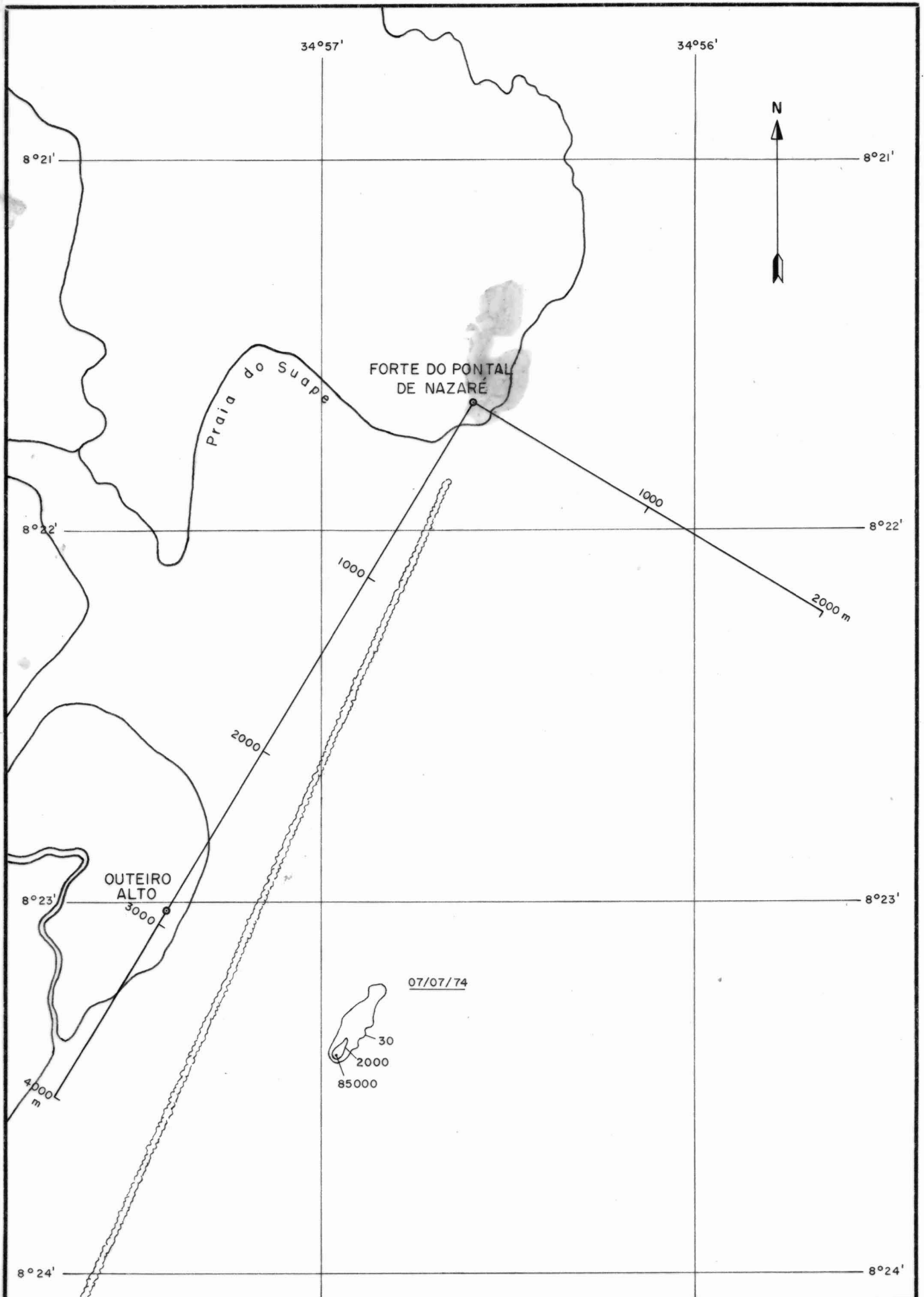
CORRENTÓGRAFOS
 R4B
 R4B
 P.I.
 3000
 4000 m
 OUTEIRO ALTO
 RIO DO SUAPE
 FORTE DO PONTAL DE NAZARÉ
 ONDÓGRAFO
 1000
 5000
 8°24', 8°25', 8°26', 8°27', 8°28' S
 34°25', 34°27' W



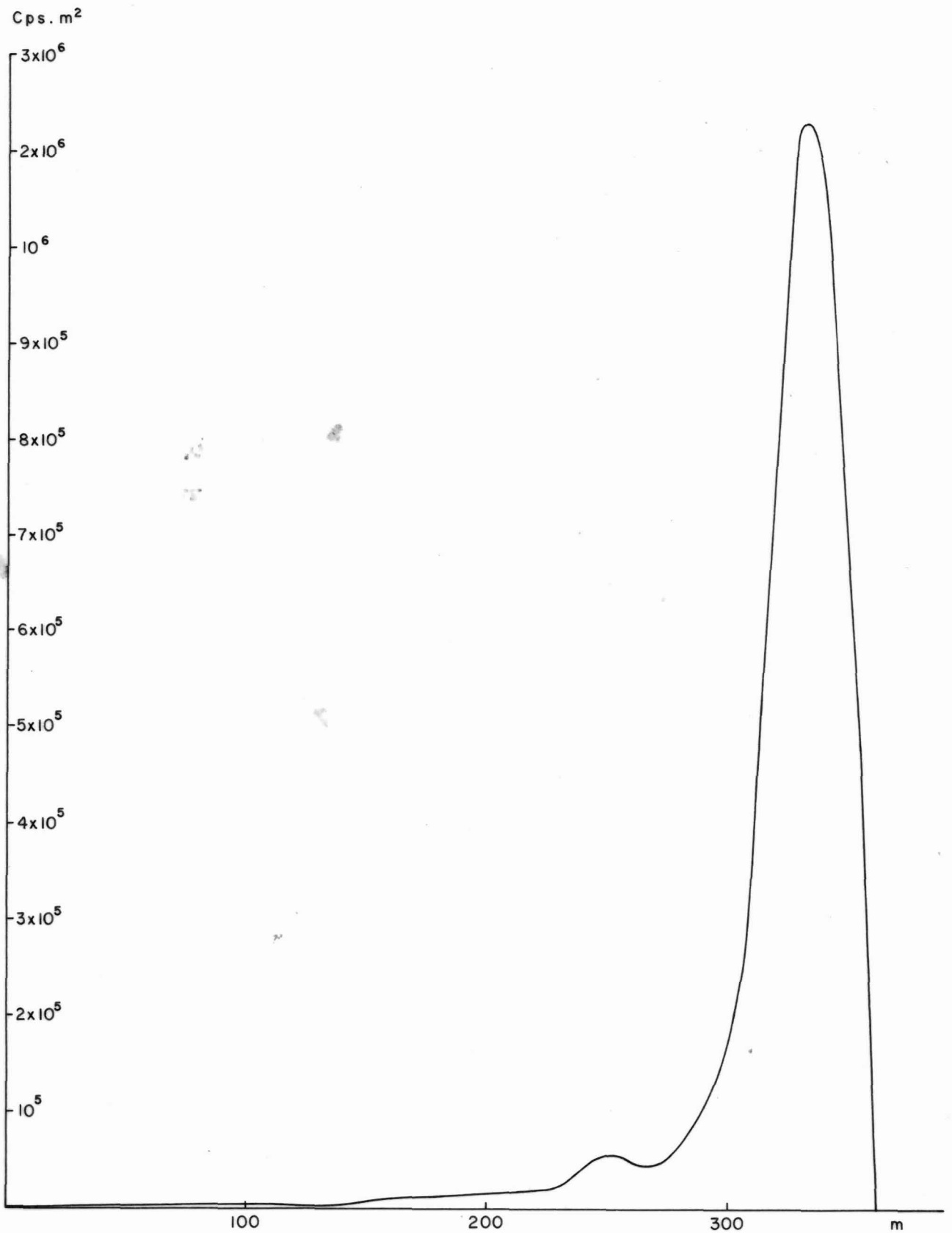
Laboratório de Radioisótopos	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
IPR - CBTN	Injetor				
C. Postal 1941 - BH	Data 12/08/74	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 05



Laboratório de Radioisótopos IPR-CBTN C.Postal 1941 - BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER			
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE			
	Curvas de isocontagem. Detecção de 07/07/74			
	Data 12/08/74	Escala 1: 2000	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.



Laboratório de Radioisótopos IPR-CBTN 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
12/08/74	1:25000	L.R.A.	P.E.A.	Nº 07	



Laboratório de Radioisótopos IPR - CBTN C.Postal 1941 - BH	CLIENTES : TRANSCON S.A. - DIPER				
	MOVIMENTO DE SEDIMENTO DE FUNDO - SUAPE				
	Diagrama de Transporte . Detecção de 07/07/74				
	Data 12/08/74	Escala	Desenhista L.R.A.	Aprovação P.E.A.	Figura Nº 08

I N D I C E

TÍTULO.

PARTE 1 - INJEÇÃO E PRIMEIRA DETECÇÃO.

1. ANTECEDENTES. pag. 1
2. O TRABALHO COM TRAÇADORES RADIOATIVOS.
 - 2.1. Considerações Sobre o Método. pag. 3
 - 2.2. O Método de Análise dos Dados. pag. 4
 - 2.3. O Trabalho de Campo. pag. 9
3. A ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS. pag. 14
4. CONCLUSÕES. pag. 19

ANEXO 1.

1. O MÉTODO DO BALANÇO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS.
 - 1.1. Introdução. pag. 1
 - 1.2. O Método do Balanço de Taxas de Contagens. pag. 4

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - Granulometria do material injetado.
- FIGURA 2 - Trenô e sonda.
- FIGURA 3 - Curvas de isocontagem - Ruído de Fundo natural.
- FIGURA 4 - Localização do ponto de injeção.
- FIGURA 5 - Injetor.
- FIGURA 6 - Curvas de isocontagem - Detecção do dia 07/07/74.
- FIGURA 7 - Planta de situação: evolução da nuvem radioativa.
- FIGURA 8 - Diagrama de transporte - Detecção do dia 07/07/74.