

BR8919656

ISSN 0101-3084

**CNEN/SP**

**ipen** Instituto de Pesquisas  
Energéticas e Nucleares

**DETERMINAÇÃO DA VAZÃO SÓLIDA POR ARRASTO DE FUNDO  
NO RIO PARANÁ UTILIZANDO TRAÇADOR RADIOATIVO**

**Pedro Eiti Aoki, Cyro Teiti Enokihara, Héctor Carlos Camilo Rocca e  
André Virmond Lima Bittencourt**

**PUBLICAÇÃO IPEN 217**

**OUTUBRO/1988**

**SÃO PAULO**

**DETERMINAÇÃO DA VAZÃO SÓLIDA POR ARRASTO DE FUNDO  
NO RIO PARANÁ UTILIZANDO TRAÇADOR RADIOATIVO**

**Pedro Eiti Aoki, Cyro Teiti Enokihara, Héctor Carlos Camilo Rocca e  
André Virmond Lima Bittencourt**

**DEPARTAMENTO DE APLICAÇÃO NA ENGENHARIA E NA INDÚSTRIA**

**CNEN/SP  
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
SÃO PAULO - BRASIL**

**Série PUBLICAÇÃO IPEN**

**INIS Categories and Descriptors**

**B32.00**

**D24.00**

**BRAZIL**

**FLOW RATE**

**GOLD 198**

**RIVERS**

**SAND**

**TRACER TECHNIQUES**

---

**IPEN - Doc - 3086**

**Aprovado para publicação em 12/09/88.**

**Nota: A redação, ortografia, conceitos e revisão final são de responsabilidade do(s) autor(es).**

DETERMINAÇÃO DA VAZÃO SÓLIDA POR ARRASTO DE FUNDO  
NO RIO PARANÁ UTILIZANDO TRAÇADOR RADIOATIVO.

Pedro Eiti Aoki, Cyro Teiti Enokihara, Héctor Carlos  
Camilo Rocca \* e André Virmond Lima Bittencourt\*\*

RESUMO

A técnica de marcação de areia com traçador radioativo foi utilizada para determinar a vazão sólida por arrasto de fundo no Rio Paraná, à montante do eixo da futura usina hidroelétrica de Ilha Grande, próxima à cidade de Guaira, PR. O radioisótopo utilizado foi o  $^{198}\text{Au}$  que permitiu realizar medições durante um período de quinze dias, obtendo-se uma vazão sólida média de 952,3 t/dia para uma camada móvel de espessura média de 0,33 m e velocidade média de 1,65 m/dia.

BED LOAD DETERMINATION IN PARANÁ RIVER  
BY RADIOACTIVE TRACER TECHNIQUE.

ABSTRACT

Radioactive tracing technique with marked sand was employed to evaluate the bottom sediment drag of Paraná river, near the future site for the "Ilha Grande" Dam in Guaira City (State of Paraná).

$^{198}\text{Au}$  radioisotope was employed and measurements had been performed for a period of fifteen days.

A bed load rate of 952,3 t/day was obtained for a laminar layer of 0,33 m mean thickness and 1,65 m/day mean velocity.

1 - INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi executado pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Comissão Nacional de Energia Nuclear com colaboração da empresa Geologia e Engenharia Ambiental Ltda, sob contrato da Itaipu Binacional, nas proximidades da Cidade de Guaira-PR, no local indicado na figura 1.

O conhecimento da magnitude do transporte de sedimentos por um curso da água é de vital importância em muitos estudos tais como projeto de

---

\* Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP.

\*\* Geologia e Engenharia Ambiental Ltda. - Curitiba-PR.

barragem, devido ao assoreamento que produz, e o controle de erosão do solo, que aumenta o material transportado.

Os métodos utilizados para medir o material transportado em suspensão são variados e amplamente conhecidos não sendo, portanto, motivo deste estudo que se ocupa somente da determinação do arrasto de fundo.

A possibilidade de utilizar técnicas radioisotópicas para determinar a vazão sólida de arrasto de fundo em leitos arenosos foi amplamente estudada <sup>(1,2,3)</sup> e sua aplicação totalmente aceita.

A metodologia utilizada permite obter valores da vazão sólida em um curso da água de maneira bem prática, sem a necessidade de utilizar fórmulas empíricas ou teóricas, as quais requerem o conhecimento de vários parâmetros tanto do fluxo da água quanto da camada móvel de sedimentos.

O método consiste em depositar na superfície da camada móvel de terminada massa de areia marcada com material radioativo, acompanhando seu deslocamento por meio de um sistema de detecção de radiações. Com os dados obtidos calculam-se vários parâmetros, tais como: velocidade e direção do movimento, espessura da camada móvel e a vazão sólida.

Como traçador foi escolhido o  $^{198}\text{Au}$  que tem uma meia-vida de 2,693 dias, compatível com a duração do ensaio e que permite repeti-lo após três meses da injeção.

A marcação foi feita em duas etapas: primeiro com prata inativa <sup>(4,5)</sup> e finalmente a deposição do ouro sobre a prata no local da injeção.

O sistema de detecção consistiu de um espectrômetro portátil monocanal, tipo BASC III com uma sonda cintiladora de  $\text{NaI(Tl)}$  de duas polegadas de diâmetro.

Realizou-se o trabalho no período de 10 a 25 de fevereiro de 1987 e obtiveram-se sete configurações da nuvem radioativa.

## 2 - METODOLOGIA

É escolhida uma seção transversal que contenha um trecho de fundo plano com material comprovadamente não coesivo e homogêneo.

Nesta seção, denominada de  $S_0$ , é feita a injeção do traçador radioativo e seu deslocamento acompanhado por meio de um sistema de detecção

ção de radiações, composto por uma sonda cintiladora gama e por um espectrômetro monocanal, instalado em uma plataforma móvel.

A plataforma, com dimensões de 15,0 metros de largura por 6,0 metros de comprimento, tem demarcada duas seções de medições com trinta pontos cada, distantes quatro metros uma da outra, como mostra a figura 2.

Ela pode ser mantida em qualquer posição, por meio de cabos amarrados em lastros previamente colocados no fundo do rio, à montante.

Para auxiliar o posicionamento lateral, utilizam-se lastros laterais que são colocados e removidos de acordo com as necessidades.

Em uma das margens do rio, fixa-se uma série de piquetes, alinhados e distantes entre si oito metros. Estes, começando pelo piquete Po, são referências para posicionar a plataforma durante o deslocamento para jusante.

As operações de deslocar, alinhar e posicionar a plataforma em um piquete, são feitas com auxílio de dois teodolitos: um estacionado no piquete correspondente à seção de medições e outro no último piquete à jusante.

As comunicações entre o pessoal da plataforma e os operadores dos teodolitos são feitas por meio de equipamentos portáteis tipo "hand-held".

O traçador radioativo consiste de sedimentos previamente retirados da seção transversal e marcados com ouro cento e noventa e oito,  $^{198}\text{Au}$ .

A marcação dos sedimentos é feita em duas etapas:

A primeira realiza-se no laboratório e consiste em fazer um tratamento químico que elimina os produtos orgânicos e deixa o material em boas condições para a deposição da prata. Feito isto, seca-se em estufa e classifica-se de acordo com a granulometria. Em seguida, faz-se a prateação com solução de nitrato de prata,  $\text{AgNO}_3$ , em quantidade proporcional à massa de cada uma das frações granulométricas.

A segunda etapa da marcação realiza-se no local da aplicação e consiste em depositar o ouro radioativo sobre os sedimentos.

O ouro, inicialmente na forma sólida, é dissolvido com água régia em um becker. Esta solução é diluída com água e a solução resultante adicionam-se os sedimentos para que se inicie o processo de deposi-

ção do ouro.

Após a marcação, retira-se uma alíquota, pesando alguns gramas, para calibrar a sonda cintiladora. Divide-se a massa resultante em duas partes, introduz-se uma de cada vez no injetor e então transporta-se para a plataforma por meio de um barco.

As injeções são feitas em dois pontos próximos um do outro, cerca de quatro metros, com a finalidade de acompanhar a homogeneização do traçador na camada móvel.

O injetor, mostrado na figura 3, consiste de um recipiente montado em um suporte e de um dispositivo que mantém o traçador confinado durante o transporte e imersão na água.

Quando ele atinge o fundo, o recipiente muda de posição, sua tampa passa para a parte inferior e se abre, liberando o traçador que é então depositado no fundo do rio.

A partir deste instante, os sedimentos que compõem o traçador se deslocam sob a ação do fluxo da água e iniciam o processo de homogeneização na camada móvel.

A distribuição desses sedimentos é normalmente denominada "nuvem radioativa".

Do mesmo modo que se define a vazão líquida de um rio, define-se a vazão sólida como sendo a vazão de sedimentos na seção transversal formada pela largura e espessura da camada móvel.

A equação utilizada para o cálculo da vazão sólida por arrasto de fundo é a seguinte:

$$Q_s = \gamma_s \cdot V_m \cdot E_m \cdot L_m \quad (2.1)$$

onde:

$\gamma_s$  = peso específico submerso dos sedimentos ( $t/m^3$ );

$V_m$  = velocidade média de deslocamento da nuvem radioativa (m/dia);

$L_m$  = largura média da seção transversal do rio (m);

$E_m$  = espessura média da camada móvel de sedimentos (m).

## 2.1-Determinações dos parâmetros da equação 2.1

O peso específico,  $\gamma_s$ , é obtido por ensaios de laboratório, após coleta de amostra na camada móvel.

A largura média,  $L_m$ , é obtida por medição direta.

A velocidade média,  $V_m$ , é obtida calculando-se a razão entre o deslocamento relativo da nuvem radioativa e o intervalo de tempo correspondente.

A espessura média,  $E_m$ , é obtida por comparação entre a concentração média da nuvem radioativa e a concentração do radioisótopo, ou do padrão, em um tanque de calibração.

### 2.1.1-Cálculo da velocidade média $V_m$

Considerando-se que a velocidade de deslocamento da nuvem radioativa é a mesma da camada móvel de sedimentos, pode-se calcular a velocidade  $V$ , pela fórmula seguinte:

$$V = \frac{\Delta X_G}{\Delta t_G} = \frac{X_{G_i} - X_{G_{i-1}}}{t_{G_i} - t_{G_{i-1}}} \quad (\text{m/dia}) \quad (2.2)$$

onde:

$X_{G_i} - X_{G_{i-1}}$  = deslocamento relativo do centro de massa da nuvem radioativa (m);

$t_{G_i} - t_{G_{i-1}}$  = intervalo de tempo (dias)

Portanto, para "n" detecções da nuvem radioativa, a velocidade  $V_m$  é dada por:

$$V_m = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n} \quad (\text{m/dia}) \quad (2.3)$$

2.1.1.1-Cálculo da posição do centro de massa da nuvem radioativa, em relação ao ponto de lançamento do traçador.

Considera-se inicialmente uma seção qualquer, localizada a distância  $x_j$  do ponto de lançamento do traçador e que cada um de seus trinta pontos está associado a uma detecção em termos de contagem líquida por minuto (cpm).

A massa dessa seção pode ser obtida somando-se todas as áreas dos trapézios formados pelos pontos e contagens líquidas sucessivas.

$$N_j = \frac{(C_{0,0} + C_{0,5}) \cdot \Delta y}{2} + \frac{(C_{0,5} + C_{1,0}) \cdot \Delta y}{2} + \dots + \frac{(C_{29,5} + C_{30,0}) \cdot \Delta y}{2} \quad (2.4)$$

onde:

$N_j$  = massa da seção "j", localizada a distância  $x_j$  do ponto de lançamento do traçador (cpm . m);

$\Delta y$  = distância entre pontos consecutivos de medições, na plataforma (m).

A posição do centro de massa da nuvem radioativa  $X_G$ , é dada pela fórmula:

$$X_G = \frac{\sum_{j=0}^{k-2} \left( \frac{N_j + N_{j+2}}{2} \right) \cdot \Delta x \cdot x_{G_j}}{\sum_{j=0}^{k-2} \left( \frac{N_j + N_{j+2}}{2} \right) \cdot \Delta x} \quad (m) \quad (2.5)$$

onde:

$j = (0, 2, 4, \dots, k-2)$  Índice das seções de medições;

$k =$  última seção de medições;

$\Delta x =$  distância entre seções consecutivas (m);

$x_{G_j} =$  posição do centro de massa da área entre as massas  $N_j$  e  $N_{j+2}$ , das seções  $j$  e  $j+2$ , respectivamente (m).

## 2.1.2 - Calibração da sonda cintiladora gama e cálculo da espessura média $E_m$ .

### 2.1.2.1 - Calibração da sonda cintiladora gama

Para a calibração da sonda, deve-se reproduzir a geometria das medições no fundo do rio, em um tanque, obedecendo os pré-requisitos seguintes:

- o material, areia, deve ser o mesmo do leito do rio;
- o tanque deve ter dimensões tal que ocorra o "raio infinito" para o traçador e o detector utilizados; sendo que "raio infinito" é a distância além da qual as radiações influem em 5% ou menos no resultado da detecção.

Roteiro da calibração:

- a) pesa-se o padrão com sensibilidade mínima de 0,1g;
- b) colocam-se os sedimentos no tanque, até que a altura seja da ordem de alguns milímetros, instala-se a sonda e enche-se o tanque com água;
- c) mede-se a contagem de fundo, "BG" ou "background", em quatro posições e calcula-se o valor médio;
- d) drena-se a água, adiciona-se o padrão e homogeneiza-se;
- e) posiciona-se a sonda, adiciona-se a água e mede-se em quatro posições;

- f) repetem-se as operações para espessuras variáveis, até quarenta centímetros, aproximadamente;
- g) subtrai-se de cada valor médio obtido, o valor do "background" em papel mono-logarítmico, traça-se a curva das contagens líquidas por minuto  $n(\text{cpm})$ , em função das espessuras da camada de areia, em centímetros,  $E(\text{cm})$ ;
- h) extrapola-se a curva e define-se para  $E = 0 \text{ cm}$ , o valor  $n=n_0$ , como sendo a contagem líquida correspondente à camada de sedimentos com espessura tendendo a zero;
- i) normaliza-se a curva, dividindo-se todos os valores das contagens líquidas por  $n_0$  (cpm). Define-se então, nova curva: fator "f" em função da espessura "E (cm)":

$$f = \frac{n}{n_0} = \exp (c.E) \quad (2.6)$$

onde:

$c$  = coeficiente angular da curva ( $\text{cm}^{-1}$ ).

- j) define-se a constante de calibração  $K$ , da sonda cintiladora, como sendo:

$$K = \frac{n_0 \cdot s}{m} = \frac{(\text{cpm}) \cdot (\text{m}^2)}{\text{g}} \quad (2.7)$$

onde:

$n_0$  = contagem líquida para a espessura zero (cpm);

$s$  = área da superfície do tanque de calibração ( $\text{m}^2$ );

$m$  = massa do padrão (g).

### 2.1.2.2-Cálculo da espessura média $E_m$ .

Conhecidas a curva de calibração bem como a constante  $K$  para a sonda, dada pela equação 2.7, pode-se determinar a espessura  $E$ , da camada móvel de sedimentos, seguindo-se o roteiro abaixo:

- a) calcula-se a contagem líquida correspondente à atividade do traçador contida na espessura zero  $N_0$ , da nuvem radioativa, usando-se a equação 2.7.

$$N_0 = \frac{K.M}{S} \quad (\text{cpm}) \quad (2.8)$$

onde:

$M$  = massa do traçador (g);

$S$  = área da nuvem radioativa ( $\text{m}^2$ ).

- b) calcula-se a concentração média real,  $\bar{N}_{\text{real}}$ , pela fórmula:

$$\bar{N}_{\text{real}} = \frac{\sum_{j=0}^k N_j \cdot \Delta x}{\sum_{j=0}^k S_j} = \frac{\Delta x \sum_{j=0}^k N_j}{S} = \frac{(\text{m}) \cdot (\text{cpm} \cdot \text{m})}{(\text{m}^2)} = (\text{cpm}) \quad (2.9)$$

onde:

$\Delta x$  = distância entre duas seções de medições (m);

$N_j$  = massa da seção transversal, (cpm.m), dada pela equação 2.4 ;

$S_j$  = área da nuvem radioativa correspondente à seção "j".

- c) Calcula-se o fator  $f$ , adimensional:

$$f = \frac{\bar{N}_{\text{real}}}{N_0} = \frac{\frac{\Delta x \sum_{j=0}^k N_j}{S}}{\frac{K.M}{S}} = \frac{\Delta x \sum_{j=0}^k N_j}{K.M} \quad (2.10)$$

Calcula-se a espessura da camada móvel combinando-se as equações 2.6 e 2.10 .

$$\frac{\Delta x \cdot \sum_{j=0}^k N_j}{K.M} = \exp (c.E) \quad (2.11)$$

Portanto:

$$E = \frac{\ln f}{c} \quad (\text{cm}) \quad (2.12)$$

onde:

$c$  = coeficiente angular da curva de calibração ( $\text{cm}^{-1}$ ).

Para "n" detecções da nuvem radioativa, resulta o valor da espessura média  $E_m$ , dado por:

$$E_m = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{n} \quad (\text{cm}) \quad (2.13)$$

### 3 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Preparou-se o traçador radioativo nas margens do rio Paraná, com 2028,2g de areia e cerca de 1,0 Ci de  $^{198}\text{Au}$ .

Retiraram-se dois padrões: um com  $m = 7,1435$  g, utilizado na calibrao da sonda cintiladora gama e outro com 27,5 g, não utilizado. A massa resultante,  $M = 1.993,56$  g, foi injetada no dia 10 de fevereiro às 19:13 horas.

Fizeram-se sete deteces da nuvem radioativa, em dias alternados, durante o período de 11 a 25 de fevereiro.

A tabela 1 mostra os resultados obtidos, onde constam:

- As sees de 0 a 58, com as respectivas massas  $N_j$  (cpm.m), de acordo com equao 2.4 . A distância entre sees consecuti-

vas  $\bar{e}$  de  $\Delta x = 4,0$  metros;

- A somat3ria das massas  $\sum N_j$  (cpm.m);
- A posiç3o do centro de massa  $X_G$  (m), dada pela equaç3o 2.5 ;
- O deslocamento relativo  $\Delta X_G$  (m);
- O tempo,  $t_G$  (dias), correspondente 3 posiç3o do centro de massa, a partir do dia e hora da injeç3o;
- O intervalo de tempo  $\Delta t_G$  (dias);
- A velocidade de deslocamento  $V$ (m/dia) dada pela equaç3o 2.2 .

No dia 11/2, fez-se a primeira detecç3o da nuvem, exclusivamente para servir de orientaç3o para as detecç3es posteriores. A velocidade  $V_1 = 15,09$  m/dia, bem maior do que as outras, indica o quanto o traçador foi espalhado pelo fluxo durante a injeç3o.

A s3tima detecç3o feita no dia 25/2, tamb3m n3o foi considerada nos c3lculos, porque o valor da posiç3o do centro de massa resultou inferior ao do anterior. Esta ocorr3ncia possivelmente teve origem em um erro no alinhamento da plataforma, porque o valor da massa da seç3o 0  $\bar{e}$  bem maior do que o esperado.

Este fen3meno, tamb3m foi observado na quinta e sexta detecç3es, dias 21 e 23, por3m n3o comprometeu os resultados.

Portanto, a velocidade m3dia  $V_m$ ,  $\bar{e}$  de acordo com a equaç3o 2.3 :

$$V_m = \frac{V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6}{5} = \frac{2,33 + 1,06 + 2,58 + 1,06 + 1,19}{5} = 1,65 \text{ (m/dia)}$$

A calibraç3o da sonda cintiladora gama foi feita em um tanque com 3rea da superf3cie  $s = 1,44 \text{ m}^2$ , (1,20 m x 1,20 m) e altura de 0,50 m.

A tabela 2 mostra os resultados da calibraç3o, que se iniciou com a espessura de  $E = 0,4$  cm de areia e terminou com  $E = 35,0$  cm.

Ajustou-se uma curva tipo exponencial 3 estes pontos, com as contagens l3quidas na ordenada e espessura na abscissa, utilizando-se o m3todo dos m3nimos quadrados.

A curva, constante na figura 4,  $\bar{e}$  expressa como segue:

$$n = 644\ 337,14 \cdot \exp(-0,05483701 \cdot E) \text{ (cpm)} \quad (3.1)$$

Conseqüentemente, para a espessura tendendo a zero:

$$n_0 = 644\ 337,14 \text{ (cpm)}$$

A expressão que fornece o fator  $f$ , adimensional, é a seguinte:

$$f = \frac{n}{n_0} = \exp(-0,05483701 \cdot E) \quad (3.2)$$

A constante de calibração  $K$ , da sonda cintiladora gama, dada pela equação 2.7, é igual a:

$$K = \frac{n_0^s}{m} = \frac{644\ 337,14 \cdot 1,44}{7,1435} = 129\ 886,6776 \quad \left( \frac{\text{cpm} \cdot \text{m}^2}{\text{g}} \right)$$

Conhecidos os valores da distância entre as seções,  $\Delta x$ , a constante de calibração  $K$ , a massa do traçador  $M$  e as massas  $N_j$ , constantes na tabela 1, obtêm-se os valores de " $f$ " para cada campanha de medições.

Por aplicação da equação 2.12 e sabendo-se que o coeficiente angular da curva de calibração é  $c = -0,05483701 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ , calculam-se as espessuras da camada móvel  $E$ .

A tabela 3 mostra os resultados desses cálculos.

A espessura média da camada móvel é, de acordo com a equação 2.13:

$$E_m = \frac{E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6}{5} = \frac{32,5 + 32,4 + 34,1 + 33,4 + 32,4}{5}$$

$$E_m = 33,0 \text{ cm}$$

ou

$$E_m = 0,33 \text{ m.}$$

Conhecidos os valores de  $V_m$  e  $E_m$ , e sabendo-se que o peso específico submerso é  $\gamma = 1,65 \text{ t/m}^3$  e a largura média é  $L_m = 1050 \text{ m}$ , calcula-se a vazão sólida por arrasto de fundo, pela equação 2.1.

$$Q_s = \gamma \cdot V_m \cdot E_m \cdot L_m \text{ (t/dia)}$$

$$Q_s = 1,65 \times 1,65 \times 0,33 \times 1060 = 952,3 \text{ (t/dia)}$$

ou

$$Q_s = 347\,600 \text{ (t/ano)}$$

As figuras 5, 6, e 7 mostram a nuvem radioativa em três fases do seu deslocamento: no início, logo após a injeção do traçador, no meio e no fim dos trabalhos.

Na tabela 4 indicam-se os valores diários da vazão líquida média e da concentração de sólidos em suspensão durante o mês de fevereiro de 1987. Indicam-se também os valores médios para o período de 10 a 23 de fevereiro, que foram respectivamente 2507,0 m<sup>3</sup>/s e 63,4 mg/l.

#### 4 - RESULTADOS E CONCLUSÕES

A técnica de aplicação de traçador radioativo utilizada neste trabalho, para determinar a vazão sólida por arrasto de fundo no rio Paraná, em Guaira-PR, mostrou-se perfeitamente aplicável na prática, pelos motivos seguintes:

- 1) A atividade do radioisótopo, cerca de 1 Ci de <sup>198</sup>Au, foi o suficiente para possibilitar boas detecções da nuvem radioativa;
- 2) Ausência de poluição ambiental, em decorrência da meia-vida curta do radioisótopo, que é de 2,6935 dias. Constatou-se que a concentração do traçador quinze dias após o início dos trabalhos, estava ao nível próximo do "background" ou contagem de fundo;
- 3) Grande representatividade das medições, por causa da sensibilidade do sistema de detecção e também pelo fato de que os sedimentos marcados representavam, de fato, os sedimentos da camada móvel;
- 4) A espessura média da camada móvel,  $E_m = 33,0$  cm, foi proveniente de cinco determinações perfeitamente coerentes entre si;

- 5) Pode-se fazer o mesmo comentário a respeito da velocidade média  $V_m$  cujo resultado foi de 1,65 m/dia.
- 6) Na bibliografia existem inúmeros trabalhos que fornecem estimativas da relação entre a vazão sólida por arrasto  $Q_s$  e a vazão sólida total  $Q_t$ . Estas estimativas vão de 3% até 10% para rios de planície. <sup>(6.7)</sup>

Sabendo-se que a vazão média de sólido em suspensão é de:

$$Q_{ss} = 63,4 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times 2507,0 \times 10^3 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 158,9 \text{ kg/s};$$

e a vazão sólida por arrasto:

$$Q_s = 952,3 \text{ t/dia} = 11,02 \text{ kg/s};$$

tem-se a relação:

$$\frac{Q_s}{Q_s + Q_{ss}} = \frac{11,02 \text{ kg/s} \times 100}{(11,02 + 158,9) \text{ kg/s}} = 6,5\%$$

Portanto, conclui-se que há plena concordância entre a vazão sólida por arrasto de fundo obtida neste trabalho com a vazão sólida em suspensão, obtida com técnicas de amostragens de água e análise do teor de sólidos.

## 5 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração do pessoal da firma Geologia e Engenharia Ambiental Ltda, de Curitiba-PR, que ofereceu toda a infraestrutura e apoio necessários, assim como a escolha do local do ensaio.

Agradece-se também a participação de Maria Elisa C.M. Rostelato na preparação da areia e ao setor administrativo do TÊ pelas muitas tarefas realizadas.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COURTOIS, G. Possibilités d'emploi d'un nombre limité de grains radioactifs dans l'étude quantitative de mouvements de sédiments. *Int. J. Appl. Rad. and Isotopes*, 15: 655-60, 1964.
2. SAUZAY, G. *Méthode du bilan des taux de comptage d'indicateurs radioactifs pour la détermination du débit de charriage des lits sableux*. França, Commissariat à l'Energie Atomique, 1968. (CEA-R-3431)
3. SANCHEZ, W. *Contribuição à determinação da vazão sólida de arraste em leitos arenosos utilizando técnicas radioisotópicas*. São Paulo, 1976. (Tese de doutoramento, Instituto de Energia Atômica).
4. PLATA BEDMAR, A. *Isótopos en hidrología*. Madrid, Editorial Alhambra S.A., 1972.
5. BARO, G. B.; Garcia Agudo, E; Gomes, H. R. & Rocca, H.C. Trazadores radioactivos en el Rio de la Plata. In: Quinto Congreso Argentino de Ingenieria: *anais do 5º Congreso Argentino de Ingenieria realizado em Buenos Aires, Julho, 1966*. Buenos Aires, 1966.
6. MATHIUE, P. *Apports chimiques par les précipitation atmosphériques en savane et sous forêt. Influence du milieu forestier intertropical sur la migration des ions et sur les transports solides (Bassin de L'Amitioro, Côte d'Ivoire)*. Nice, 1972 (Thèse Scienc., O.R.S.T.O.M.)
7. GIBBS, R.J. The geochemistry of the Amazon river system. Part I: The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 78: 1203-1232, 1976.

TABELA 1 - Massas das seções transversais da nuvem radioativa e cálculo das velocidades de deslocamento.

Injeção: 19:13 horas de dia 10/2/87

Campanha Seções	Primeira 11/2	Segunda 15/2	Terceira 17/2	Quarta 19/2	Quinta 21/2	Sexta 23/2	Sétima 25/2
0	2.008	20688	36.328	47.977	130.600	433.420	840.073
2	8083048	804018	871.210	932.888	400.443	378.387	388.847
4	1.226.321	327.038	218.428	423.895	1.387.473	872.218	442.074
6	2.322.288	4278.111	3.681.682	1.871.238	1.020.086	1.601.438	872.888
8	888788	1.888.314	1.444.848	1.087.783	811.873	883.887	888708
10	488724	1.800.187	1.718.848	1.483.888	1.388.228	781.288	780.827
12	408880	680.885	811.884	782.888	887.884	871.842	718.882
14	311.358	841.178	784.308	880.880	802.218	874.228	888.248
18	140.688	328.818	414.218	812.823	780.047	1.076.788	723.188
18	183.481	184.888	180.718	441.084	812.874	818.488	881.800
20	140.482	141.880	178.118	281.177	830.834	483.478	884.818
22	107.880	108.238	188.843	188.808	200.718	288.713	484.113
24	88287	102.344	112.220	181.828	218.888	284.848	278.788
28		102.818	82.884	114.888	128.774	282.884	170.880
28		82.338	78.822	118.231	188.728	288.804	188.418
30		82.788	88.228	188.888	181.808	211.888	118.741
32		81.834	88.840	188.488	188.888	178.884	118.884
34		43.448	47.888	118.887	184.284	124.480	47.448
38		43.278	38.888	82.188	187.827	147.288	117.834
38		88.008	80.874	80.221	143.402	124.848	848.807
40		83.888	48.324	87.478	122.418	128.088	240.81
42		82.484	82.114	84.187	102.382	187.004	84.080
44		88.781	82.301	78.828	128.878	81.088	
48		137.22	28.882	73.707	108.808	104.848	
48		8708	23.838	81.124	48.822	88.881	
80		3844	17.888	84.888	0	78.418	
82			17.817	12.878	1.888	8.881	
84			18.187	8.143	87	12.388	
88			10.840		0		
88			8.188				
$\Sigma N_j$ (sp/m) :	12.317.848	10.812.184	10.881.828	8.878.083	10.388.828	10.838.728	8.348.478
$X_0$ (m)	10,28	18,48	21,80	28,88	28,88	31,28	28,82
$\Delta X_0$ (m)	10,28	8,17	8,07	8,18	2,14	2,48	—
$t_0$ (dias)	0,88	4,81	8,88	8,87	10,88	18,88	—
$\Delta t_0$ (dias)	0,88	3,93	1,88	2,01	2,01	8,08	—
$v = \frac{\Delta X_0}{\Delta t_0} \left( \frac{m}{dia} \right)$	$v_1 = 18,09$	$v_2 = 2,93$	$v_3 = 1,88$	$v_4 = 2,96$	$v_5 = 1,08$	$v_6 = 1,18$	—

TABELA 2

## Calibração da Sonda Cintiladora Gama

Datas: 12, 13 e 16 de fevereiro de 1987

Injeção do traçador: 10/02/87 às 19:13 h

Radioisótopo :  $^{198}\text{Au}$ ,  $T_{1/2} = 2,6935$  dias

B G = 9.400 cpm

Espessura E(cm)	$\Delta t$ (h:min)	Contagem n'(cpm)	Contagem líquida n' - BG (cpm)	Contagem líquida corrigida n (cpm)
0,4	41:32	415.254	405.854	633.487
1,2	43:04	381.121	371.721	589.825
1,9	44:32	392.612	383.212	617.695
3,0	45:50	372.993	363.593	594.296
4,4	46:55	323.574	314.174	519.519
6,6	61:35	249.224	239.824	464.096
8,0	63:05	208.273	198.873	391.088
9,4	64:10	194.248	184.848	367.754
11,4	65:19	165.886	156.486	315.189
14,7	66:55	145.782	136.382	279.449
18,0	68:37	122.196	112.796	235.371
21,1	70:02	106.518	97.118	205.757
29,5	136:19	37.709	28.309	122.061
35,0	137:47	32.964	23.564	103.212

TABELA 3

Espessura da camada móvel

Campanhas	Segunda 15/2	Terceira 17/2	Quarta 19/2	Quinta 21/2	Sexta 23/2
Somatória $N_j$ (cpm.m)	10.912.194	10.961.929	9.978.083	10.388.528	10.939.729
f (adimensional)	0,17	0,17	0,15	0,16	0,17
Espessura E (cm)	32,5	32,4	34,1	33,4	32,4

TABELA 4

Rio Paraná - Guaira - Canal Esquerdo  
Fevereiro de 1987

Dia	Vazões líquidas m <sup>3</sup> /s	Concentração de sólidos em suspensão mg/l
01	2134,3	49,781
02	2197,2	52,078
03	2218,9	52,870
04	2263,3	54,495
05	2535,0	64,415
06	2984,0	80,813
07	3654,1	105,280
08	12906,0	443,170
09	4850,0	148,960
10	4689,0	143,080
11	4001,6	117,970
12	3413,9	96,514
13	3017,3	82,031
14	2732,8	71,639
15	2562,0	65,403
16	2430,8	60,610
17	2218,9	52,870
18	2017,9	45,532
19	1999,7	44,868
20	2240,9	53,676
21	2617,3	67,422
22	2984,0	80,813
23	3492,1	99,368
24	3654,1	105,280
25	3337,7	93,730
26	3085,4	84,515
27	2702,3	70,562
28	2562,0	65,403

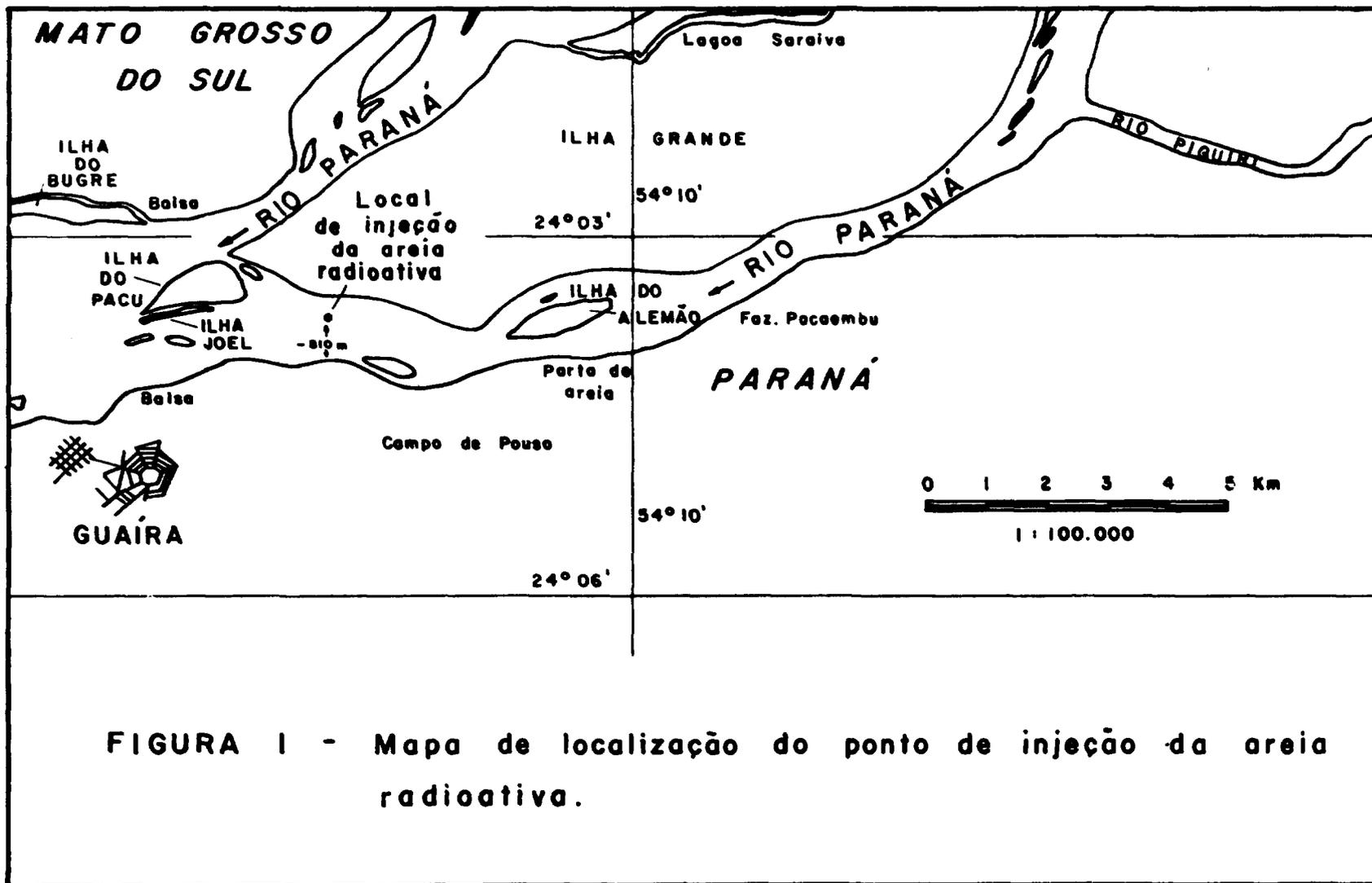
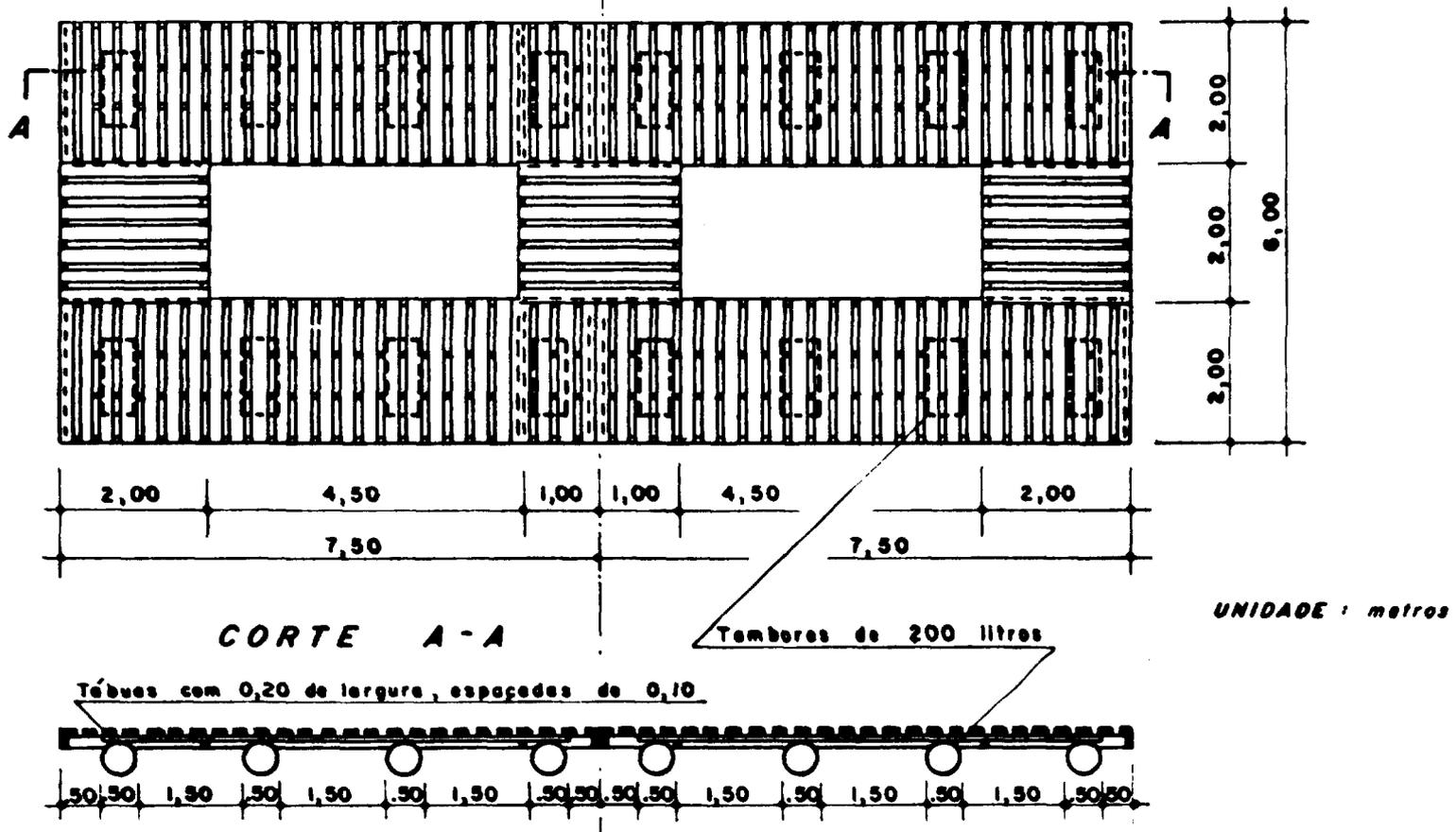


FIGURA 1 - Mapa de localização do ponto de injeção da areia radioativa.



**FIGURA 2 - Plataforma móvel utilizada no trabalho.**

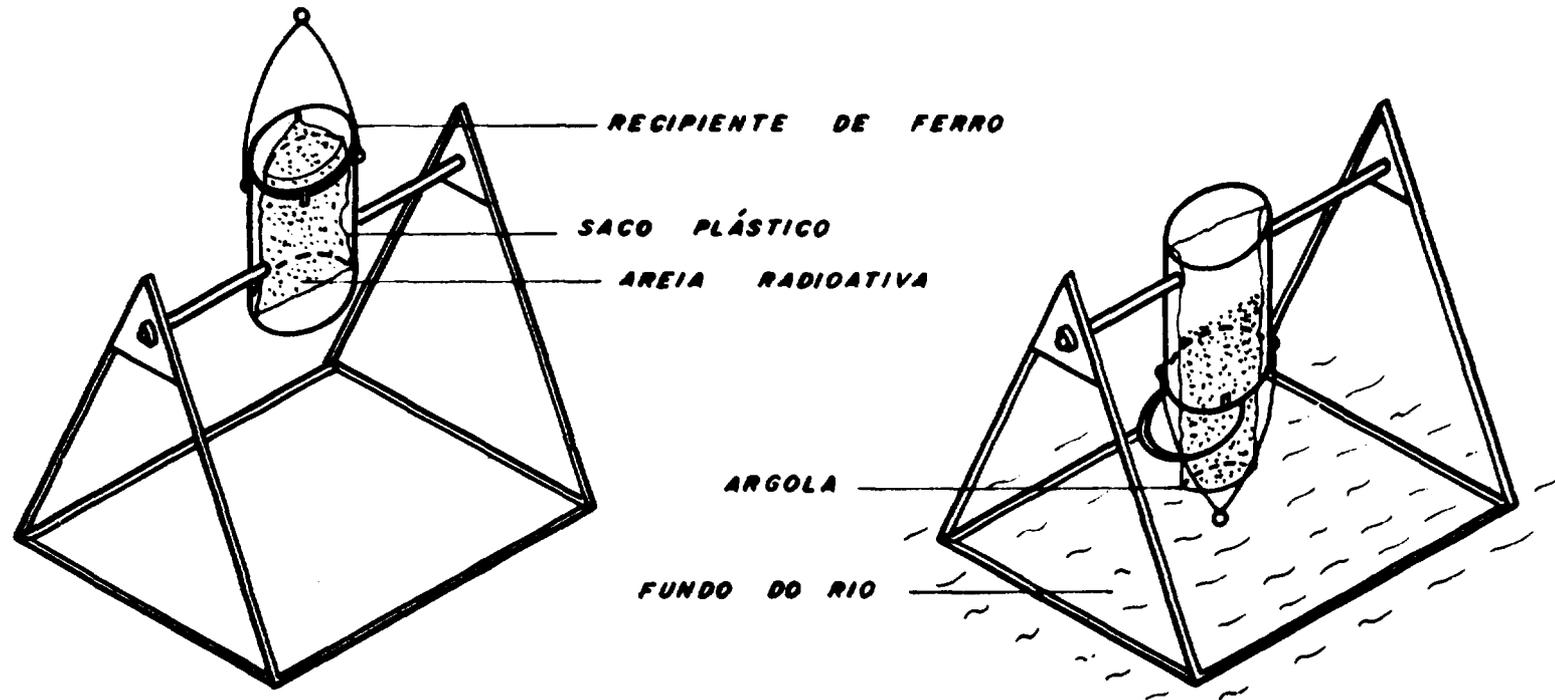


FIGURA 3 - Dispositivo utilizado para injetar a areia radioativa.

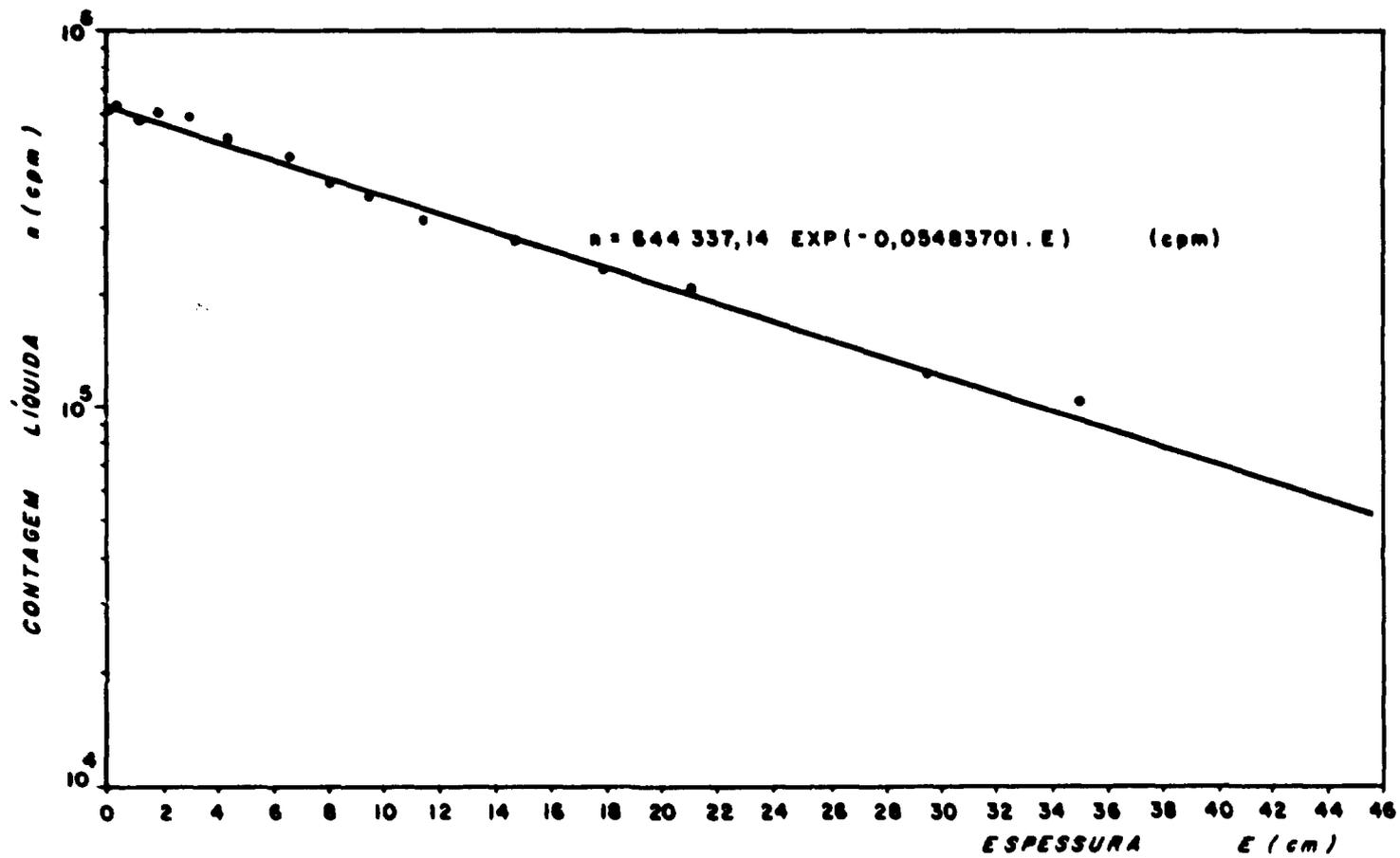


FIGURA 4 - Curva de calibração da sonda cintiladora gama.  
 Datas : 12 , 13 e 16/02/87.

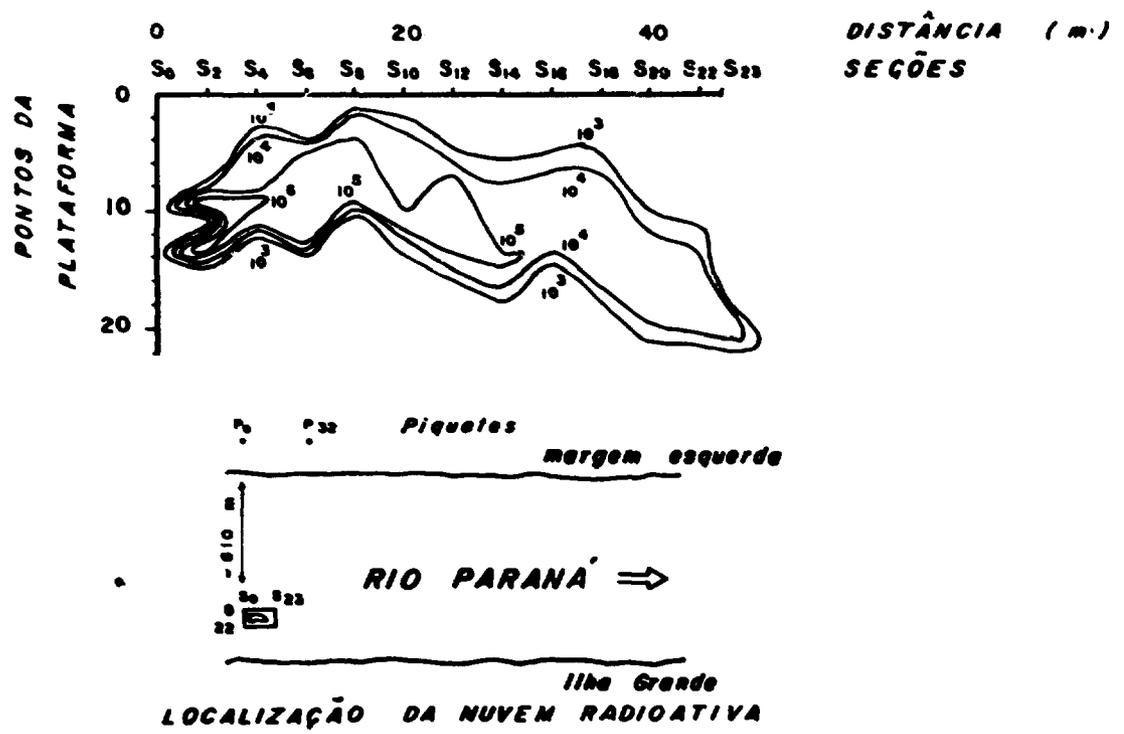


FIGURA 5 - Curvas de isoconcentração, em cpm, da nuvem radioativa detectada em 11/02/87.

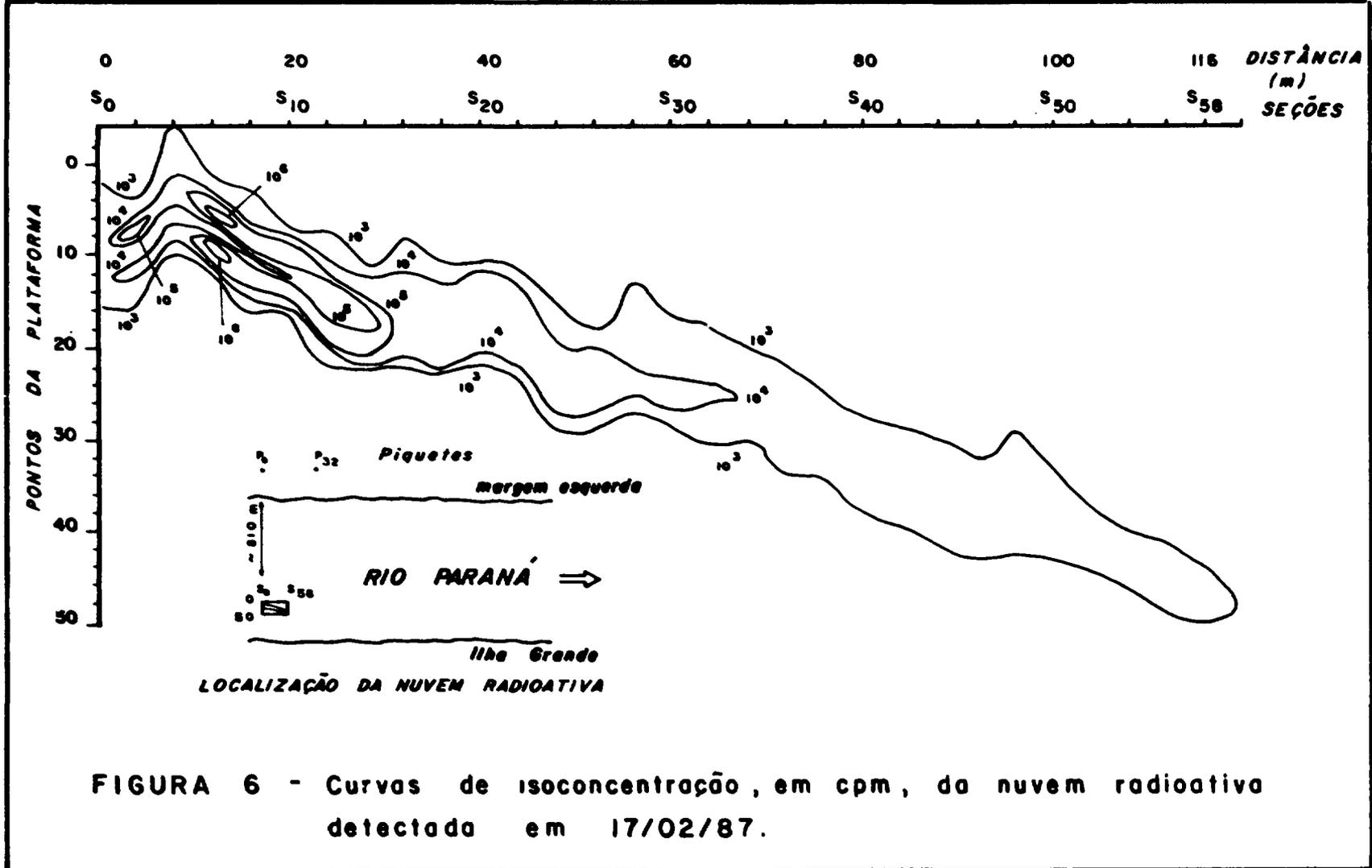


FIGURA 6 - Curvas de isoconcentração, em cpm, da nuvem radioativa detectada em 17/02/87.

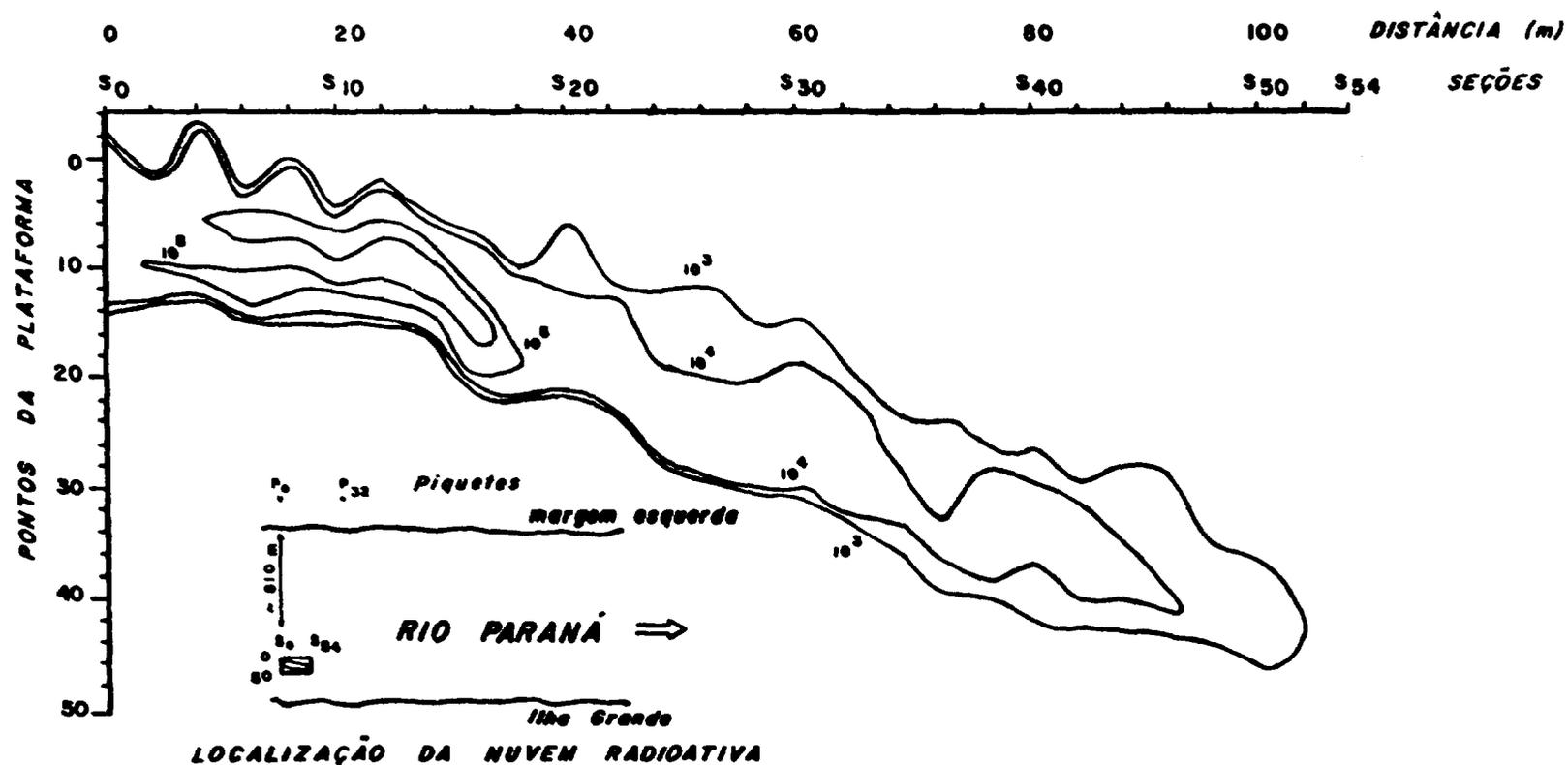


FIGURA 7 - Curvas de isoconcentração, em cpm, da nuvem radiativa detectada em 23/02/87.