

890101068



**"ESTUDO DO TEMPO DE TRÂNSITO DAS ÁGUAS DOS RIOS
TIETÊ E PINHEIROS"**

**E. Garcia Agudo, J. Leomax dos Santos, A. Merighi Jr. W. Sanchez e
A. M. Albuquerque.**

**PUBLICAÇÃO IEA 404
CARREI 22**

MARÇO/1976

**"ESTUDO DO TEMPO DE TRÂNSITO DAS ÁGUAS DOS RIOS
TIETÊ E PINHEIROS"**

**E. Garcia Agudo, J. Leomax dos Santos, A. Meriphi Jr., W. Sanchez e
A. M. Albuquerque.**

**COORDENADORIA DE APLICAÇÕES DE RADIOISÓTOPOS E
RADIAÇÕES NA ENGENHARIA E NA INDÚSTRIA
(CARREI)**

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
SÃO PAULO - BRASIL**

APROVADO PARA PUBLICAÇÃO EM AGOSTO/1975

CONSELHO SUPERIOR

Eng^o Roberto N. Jafet — Presidente
Prof. Dr. Emilio Mattar — Vice-Presidente
Prof. Dr. José Augusto Martins
Prof. Dr. Milton Campos
Eng^o Helcio Modesto da Costa

SUPERINTENDENTE

Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11.049 (Pinheiros)
Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira"
SÃO PAULO — BRASIL

NOTA: Este trabalho foi conferido pelo autor depois de composto e sua redação está conforme o original, sem qualquer correção ou mudança.

"ESTUDO DO TEMPO DE TRÂNSITO DAS ÁGUAS DOS RIOS TIETÉ E PINHEIROS"

**E. Garcia Agudo, J. Lermay dos Santos, A. Merighi Jr., W. Sanchez e
A. M. Albuquerque.**

RESUMO

Descreve-se neste relatório a metodologia utilizada na medição do tempo de trânsito das águas dos rios Tieté e Pinheiros por meio de radioisótopos. A secção estudada possui comprimento de 50 Km, aproximadamente, e está localizada dentro da área metropolitana da cidade de São Paulo.

Detectou-se a passagem da nuvem radioativa em diversas secções transversais entre o ponto de lançamento da solução radioativa (Ponte de Guarulhos) e o ponto onde as águas desses rios são recalçadas para a represa Billings (Estação Elevatória de Pedreira).

Calcularam-se os incrementos de vazão desses dois rios em decorrência da contribuição dos seus afluentes e dos lançamentos de esgotos utilizando-se o método da contagem total. Com essa técnica mediram-se também, simultaneamente, as vazões do rio Tieté e seus principais tributários.

Os dados obtidos permitiram analisar a influência das contribuições da taxa de bombeamento das estações elevatórias e das precipitações atmosféricas na determinação do tempo de trânsito.

TEMPO DE TRÂNSITO DAS ÁGUAS DOS RIOS TIETÉ E PINHEIROS

INTRODUÇÃO

Efetou-se um estudo do tempo de trânsito das águas dos rios Tieté e Pinheiros, na região metropolitana de São Paulo, por meio de traçadores radioativos, em decorrência de solicitação formulada pela Superintendência do Controle de Poluição das Águas, Divisão de Pesquisas Hidrobiológicas, da Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico de Defesa do Meio Ambiente - CETESB. Na realização prática desse trabalho houve participação conjunta do pessoal do Instituto de Energia Atômica e da CETESB.

OBJETIVO

As campanhas de medição iniciaram-se em novembro de 1974, prolongando-se até dezembro do mesmo ano. O objetivo foi o de analisar a influência de diferentes condições hidrometeorológicas sobre a carga poluidora transportada pelos rios Tieté e Pinheiros, até a Represa Billings. Assim sendo, o conhecimento dos tempos de trânsito da massa líquida desses rios, correlacionados com suas vazões acrescidas pelas contribuições dos tributários principais e com as condições meteorológicas predominantes nas bacias hidrológicas correspondentes, permitiu estudar o comportamento da carga poluidora transportada, trecho a trecho, desde a ponte de Guarulhos até seu recalque para a Represa Billings.

Esses dados, analisados em conjunto com outros que dizem respeito à capacidade de autodepuração da Represa Billings, permitirão avaliar a qualidade da água dessa represa em função da carga poluidora nela introduzida.

A primeira secção de controle estava suficientemente distante do ponto de lançamento para permitir uma homogeneização completa da nuvem de traçador radioativo com a massa líquida.

Registraram-se as passagens do traçador radioativo pelas diferentes secções de controle (pontos P_1 até P_n , indicados na figura 1) medindo-se as taxas de contagem provenientes das nuvens radioativas geradas em cada lançamento, com o auxílio de sondas detectoras de cintilação, com cristais de $\text{NaI}(\text{Tl})$, introduzidas nos centros das respectivas secções de controle, em geometria infinita de medição.

Cada sonda detectora de cintilação estava ligada aos seus equipamentos complementares, escalímetro BASC e registrador gráfico RUSTRAK, permitindo obter, em cada secção de controle, um registro contínuo da variação da taxa de contagem em função do tempo e que representa a passagem da nuvem radioativa por essa secção.

Durante o transcorrer das campanhas de medição do tempo de trânsito das águas dos rios Tietê e Pinheiros mediram-se também as contribuições das vazões dos principais tributários, utilizando-se ^{82}Br e o método da contagem total. Por meio dessas medições foi possível compreender melhor o comportamento da massa líquida do rio Tietê, entre secções sucessivas de medição que recebiam novas contribuições.

FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Representa-se o tempo de trânsito entre o ponto de lançamento de uma solução radioativa, em forma puntiforme e instantânea e uma secção qualquer de controle, a jusante, como sendo o intervalo de tempo transcorrido entre o instante de lançamento e o de detecção do ponto que corresponde ao centro de gravidade da curva que representa a distribuição da passagem da nuvem radioativa por essa secção de controle.

Representa-se o centro de gravidade de uma função $C_i = f(t)$ pela equação:

$$G = \frac{\int_0^{\infty} C_i t_i dt}{\int_0^{\infty} C_i dt} \quad (1)$$

C_i — é a concentração do traçador radioativo, medida na secção de controle P_i , no tempo t_i .

Fazendo-se coincidir o instante de lançamento da solução radioativa com a origem do sistema de coordenadas, o valor de G representado pela equação (1) corresponderá ao tempo de trânsito T .

Para resolver a equação (1) dividem-se as curvas que representam as passagens da nuvem radioativa pelas secções de controle em intervalos de tempo iguais, transformando-se as integrais em somatórias.

$$T = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} \bar{C}_i t_i \Delta t}{\sum_{i=0}^{\infty} \bar{C}_i \Delta t} \quad (2)$$

$$T = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} \bar{C}_i t_i}{\sum_{i=0}^{\infty} \bar{C}_i} \quad (3)$$

\bar{C}_i — representa a concentração média do traçador radioativo entre o intervalo de tempo t_i e $t_i + \Delta t$.

O método da contagem total, para medir vazão líquida, relaciona a atividade A de uma solução radioativa, lançada em um escoamento que flui com vazão Q , com a contagem N , acumulada durante a passagem da nuvem radioativa, em uma seção a jusante, suficientemente distante do ponto de lançamento, para permitir boa homogeneização com o escoamento, por meio da equação:

$$Q = F \frac{A}{N}$$

Q – vazão do escoamento que se deseja medir;

A – atividade lançada;

N – contagem total registrada pelos equipamentos de detecção e que representa a passagem da nuvem radioativa pela seção de controle;

F – fator de calibração que depende do tipo de detector utilizado e da geometria de medição.

Observa-se, pela equação (4) que N é inversamente proporcional a Q . Assim, mantendo-se constantes o sistema de detecção e a geometria de medição, pode-se determinar a vazão relativa entre duas seções sucessivas, em regime estacionário, por meio da equação:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SISTEMA ESTUDADO

O sistema hídrico estudado situa-se na área urbana do município de São Paulo, servindo de coletor das águas fluviais, dos esgotos domésticos e dos efluentes industriais. Estima-se em $20 \text{ m}^3/\text{s}$ a contribuição média de esgotos da grande São Paulo no trecho estudado

A vazão efetiva e o nível dos rios Pinheiros e Tietê, na área metropolitana, são afetados pela operação das estações elevatórias da Traição e da Pedreira (5 e 26 metros de recalque, respectivamente). Estas estações elevatórias, responsáveis pela inversão do curso natural do rio Pinheiros, tem um regime de operação condicionado pelos picos de cheia, pois um dos seus objetivos é atuarem como reguladoras de enchentes.

Indicam-se, na figura 1, as diversas seções de controle, a posição das estações elevatórias da Traição e da Pedreira e dos três postos pluviométricos na área de influência. As seções de controle estão representadas pelos pontos seguintes:

P_0 – Ponte de Guarulhos (local do lançamento da solução radioativa).

P_1 – Adutora em arco sobre o rio Tietê, 800 metros a jusante de P_0 .

P_2 – Ponte de madeira ligando os bairros da Penha e Vila Maria, 150 m a jusante do E. C. Corinthians (330 m de P_0).

P_3 – Ponte da Avenida Cruzeiro do Sul, entre os bairros de Santa Efigênia e Santana (9800 metros de P_0).

- P_4 – Ponte da Avenida Comendador Martinelli, ligando os bairros da Lapa e Freguesia do Ó (16200 metros de P_0).
- P_5 – Ponte da Estrada dos Remédios, ligando Vila Jaguara à Lapa (22600 metros de P_0).
- P_6 – Ponte da Avenida Jaguaré, ligando o Butantã à Lapa (26000 metros de P_0).
- P_7 – Ponte da Avenida Alvaranga, ligando os bairros do Butantã e de Pinheiros (28600 metros de P_0).
- P_8 – Ponte da Avenida Cidade Jardim, ligando os bairros do Morumbi, Cidade Jardim e Jardim Europa (32450 metros de P_0).
- P_T – Estação elevatória da Traição (33500 metros de P_0).
- P_9 – Ponte da Avenida João Dias, em Santo Amaro (40050 metros de P_0).
- P_{10} – Estação elevatória da Pedreira (48500 metros de P_0).

PRIMEIRA CAMPANHA DOS ESTUDOS

Essa primeira campanha iniciou-se a 5 de novembro de 1974, às 12:08 horas, com o lançamento instantâneo e puntiforme de 12,5 Ci de ^{131}I , no ponto P_0 . Esse lançamento gerou uma nuvem radioativa que se homogeneizou com a massa d'água, detectada posteriormente nas diversas secções de controle. Mostram-se, na figura 2, as curvas que representam a passagem da nuvem radioativa pelas secções de controle.

Com o auxílio da equação (3), calcularam-se os tempos de trânsito parciais, entre as secções de controle sucessivas. Os resultados obtidos acham-se representados na Tabela I.

Quando a nuvem radioativa passava pela secção de controle P_7 , teve início uma precipitação atmosférica de pequena intensidade, acumulando sete milímetros em sete horas. No dia 6, às 9 horas, teve início uma outra precipitação, de maior intensidade, acumulando 15 milímetros em duas horas e meia. A análise dos dados fornecidos pelos três postos pluviométricos permitiu construir curvas de precipitação acumulada em função do tempo, representados nas figuras 3, 4 e 5. A nuvem radioativa estava chegando na secção de controle P_8 quando começou a chover. A intensidade foi suficiente para que os operadores das estações elevatórias da Traição e de Pedreiras aumentassem a vazão de bombeamento das águas do rio Pinheiros. Os dados das figuras 6, 7 e 8 mostram que antes dessa precipitação as vazões de bombeamento eram quase constantes, existindo pequenas oscilações que não eram suficientes para perturbar o regime do rio. Assim, partindo-se da secção de controle P_2 , foi possível calcular, pela equação (5), o incremento de vazão do rio Tietê, fornecido pelos seus tributários e despejos diversos, até a secção de controle P_7 . Considerou-se como vazão do rio Tietê, na secção P_2 , a soma das vazões medidas na secção P_1 e em uma secção do rio Aricanduva, nas proximidades de sua foz. Os dados relativos aos valores de vazão do rio Tietê e de seus principais tributários estão representados na Tabela III.

Nessa primeira campanha de estudo de tempo de trânsito, a bomba de recalque da Barragem Edger de Souza (Pirapora) não esteve em funcionamento. Assim sendo, somente os tributários do rio Tietê e a água da chuva contribuíram para a variação de vazão observada.

SEGUNDA CAMPANHA DOS ESTUDOS

A segunda campanha iniciou-se em 16 de dezembro de 1974, às 10:15 horas, com o lançamento de 8,2 Ci de ^{131}I , no ponto P_0 , de forma análoga à da primeira campanha.

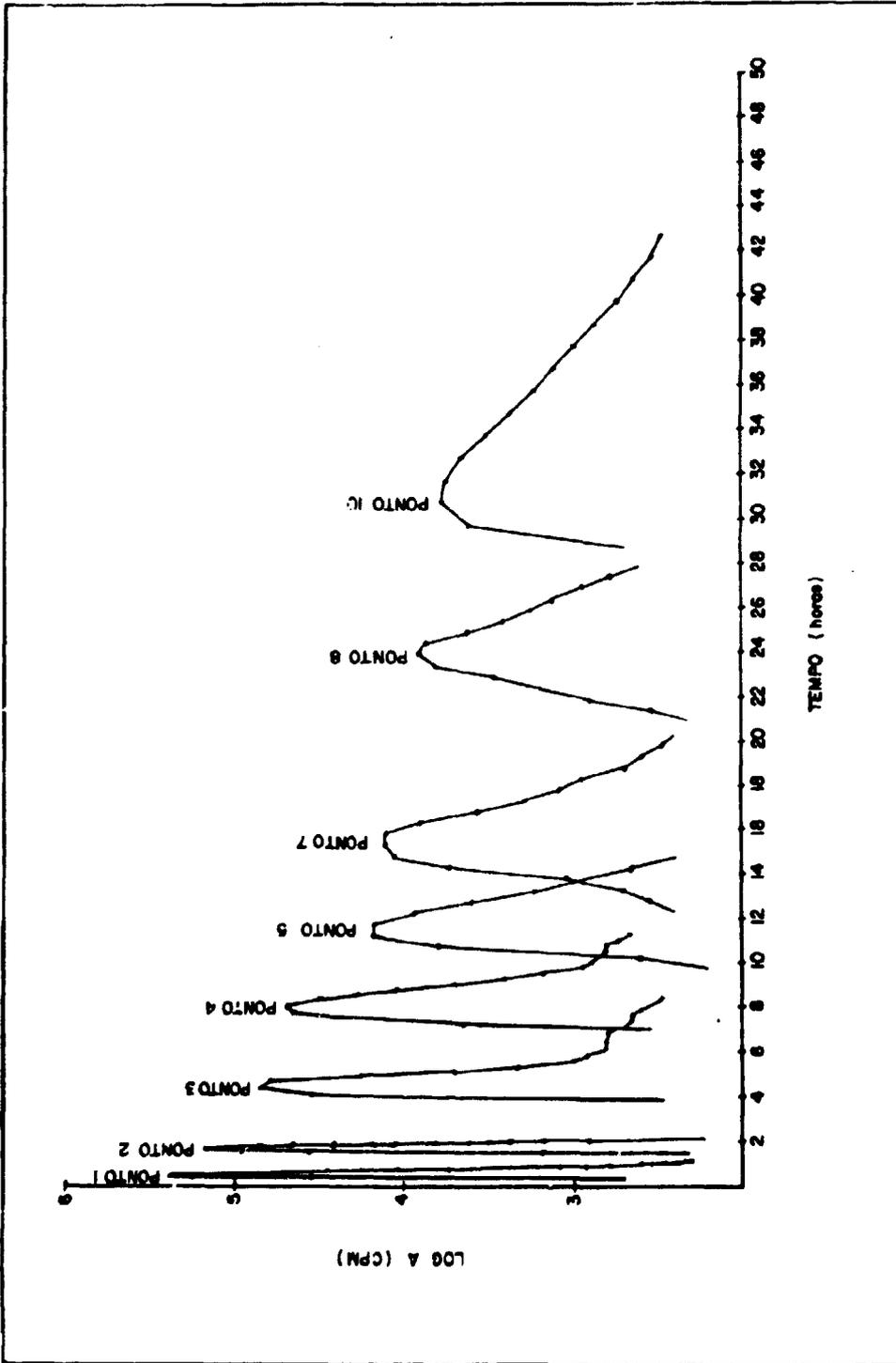
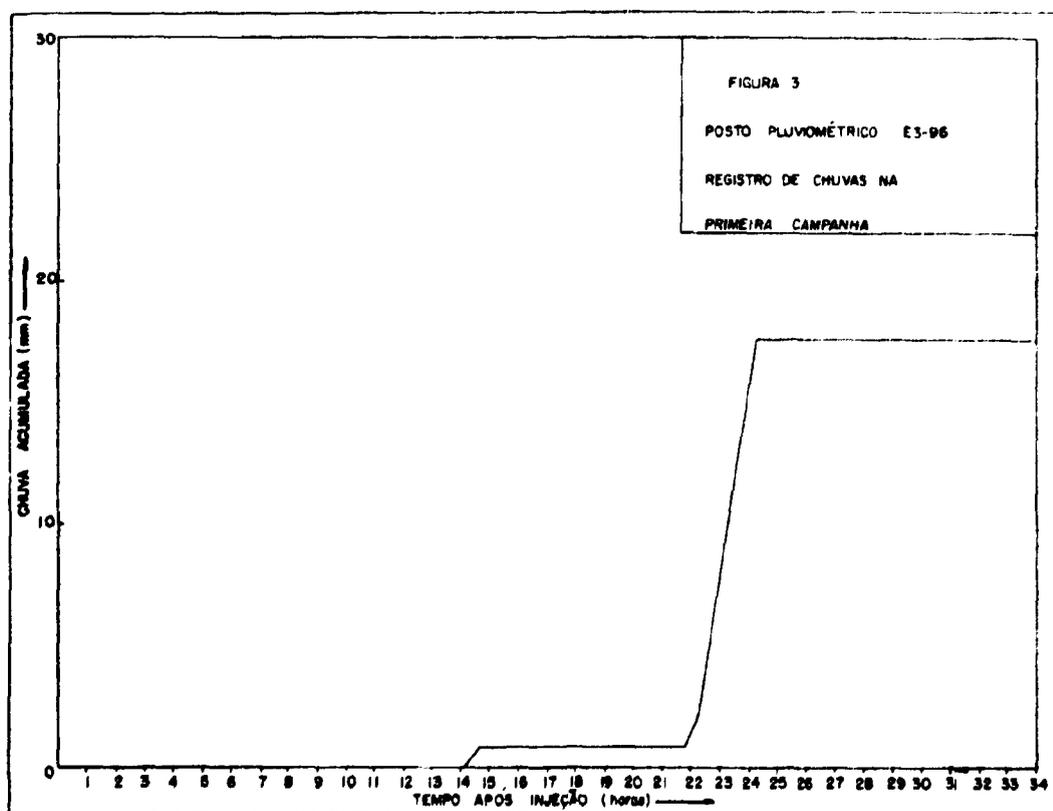


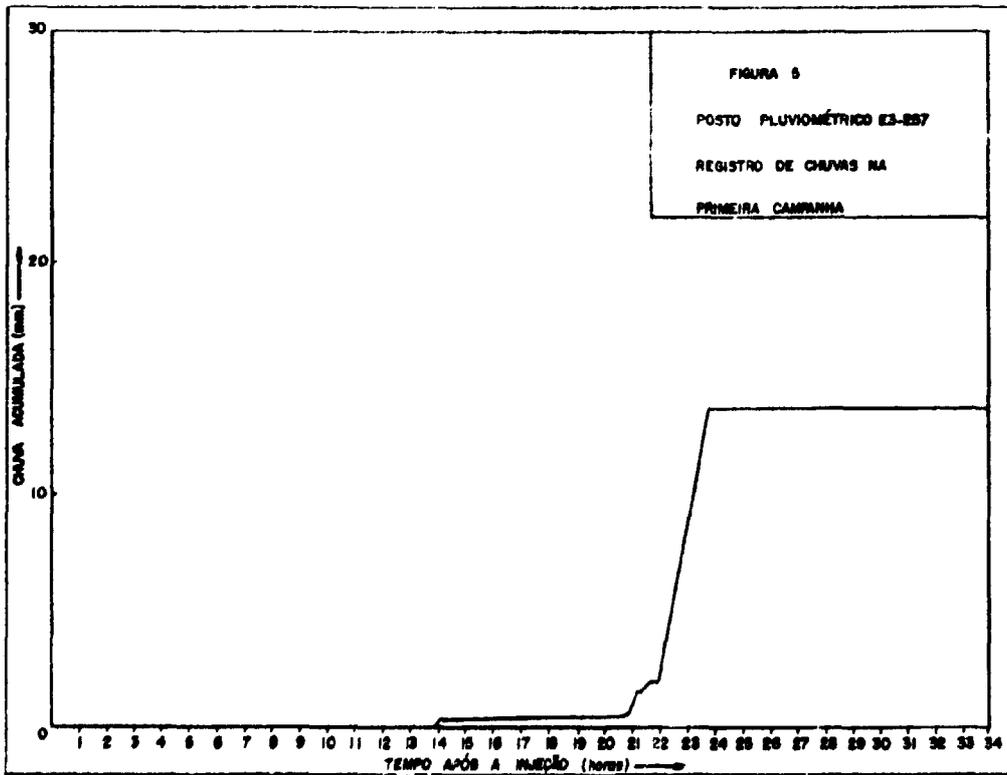
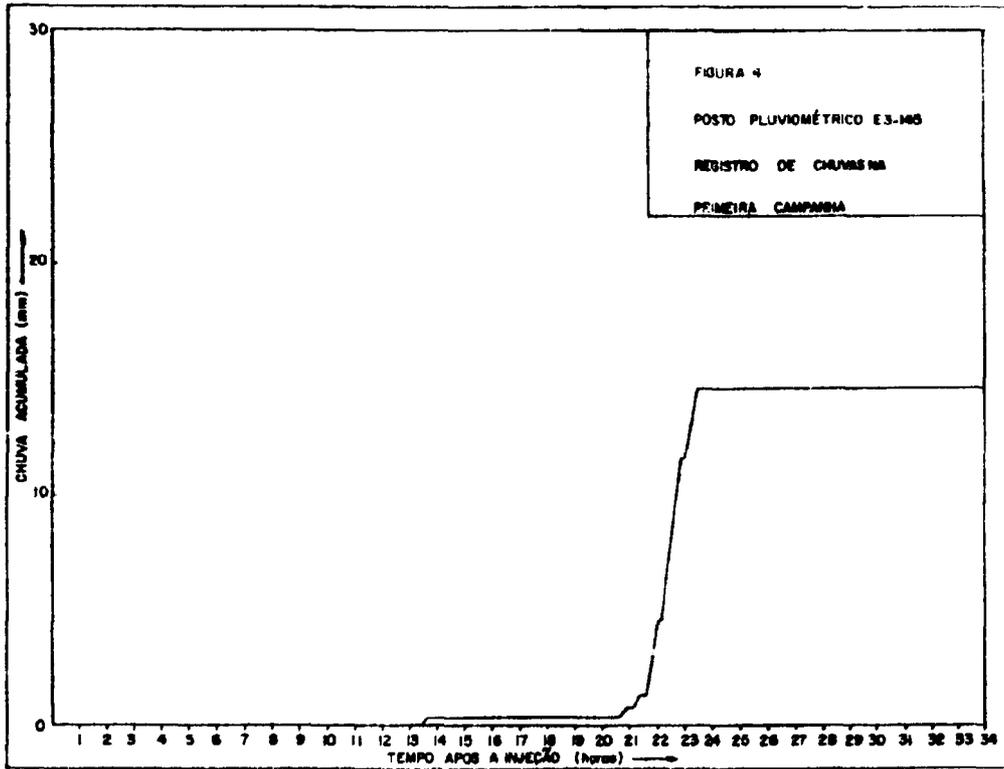
FIGURA 2 - CURVAS DE PASSAGEM DO TRACADOR PELAS DIVERSAS SECÇÕES DE CONTROLE (15 CAMPANHA)

TABELA I

Tempos de Trânsito - 1ª Campanha

| SECÇÃO DE CONTROLE | TEMPO DE TRÂNSITO PARCIAL (HORAS) | TEMPO DE TRÂNSITO A PARTIR DE P ₀ (HORAS) |
|--------------------|-----------------------------------|--|
| P ₀ | 0 | 0 |
| P ₁ | 0,56 | 0,56 |
| P ₂ | 1,14 | 1,70 |
| P ₃ | 2,85 | 4,55 |
| P ₄ | 3,61 | 8,16 |
| P ₅ | 3,54 | 11,7 |
| P ₇ | 5,90 | 17,6 |
| P ₈ | 6,70 | 24,3 |
| P ₁₀ | 8,30 | 32,6 |





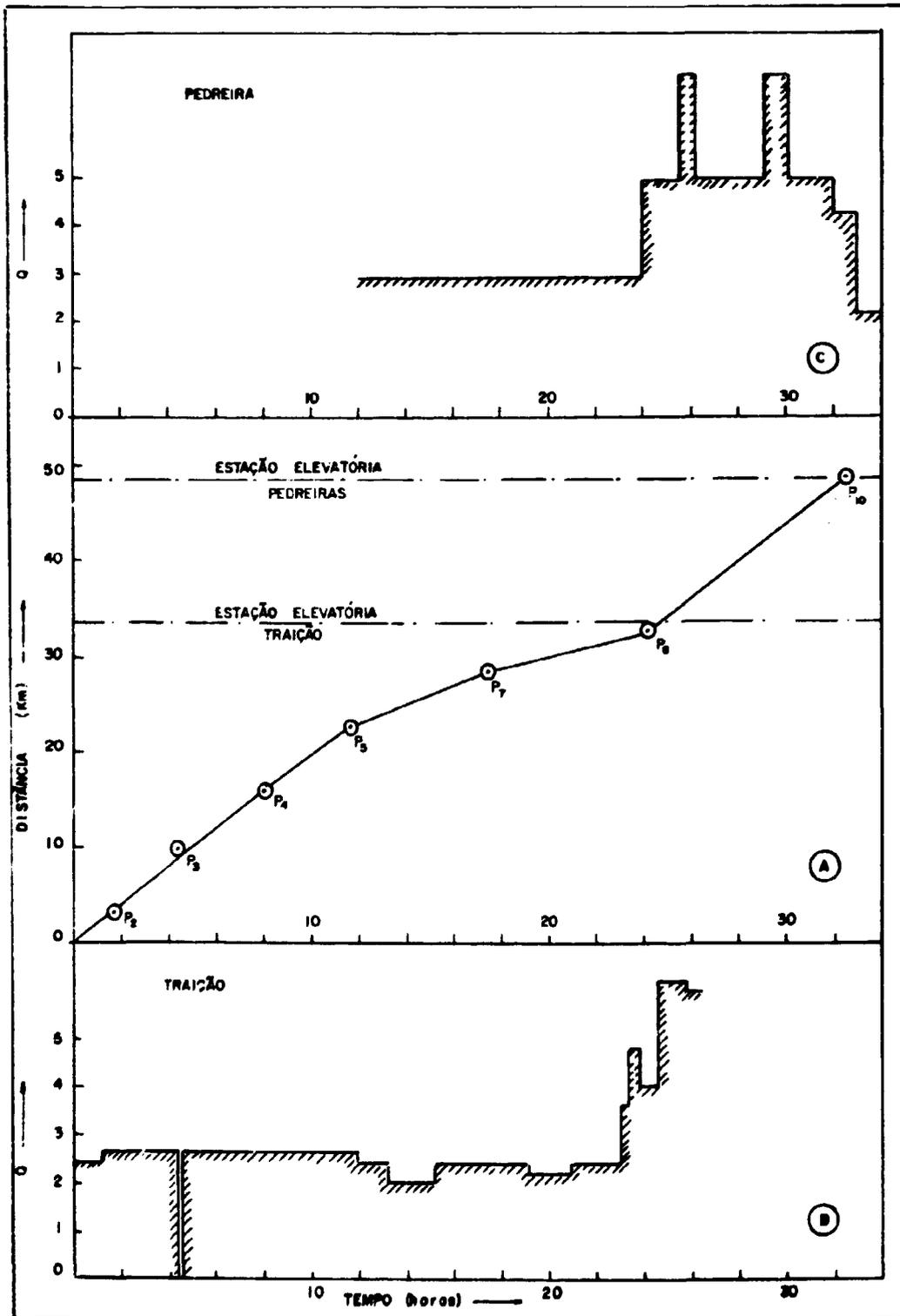


FIGURA 6 (A) TEMPO DE TRÂNSITO (# CAMPANHA).
 (B) (C) TAXA DE BOMBAMENTO DAS ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DA TRAIÇÃO E PEDREIRA RESPECTIVAMENTE (EM UNIDADES ARBITRÁRIAS).

Mostram-se, na figura 7, as curvas representativas da passagem da nuvem radioativa pelas diversas secções de controle.

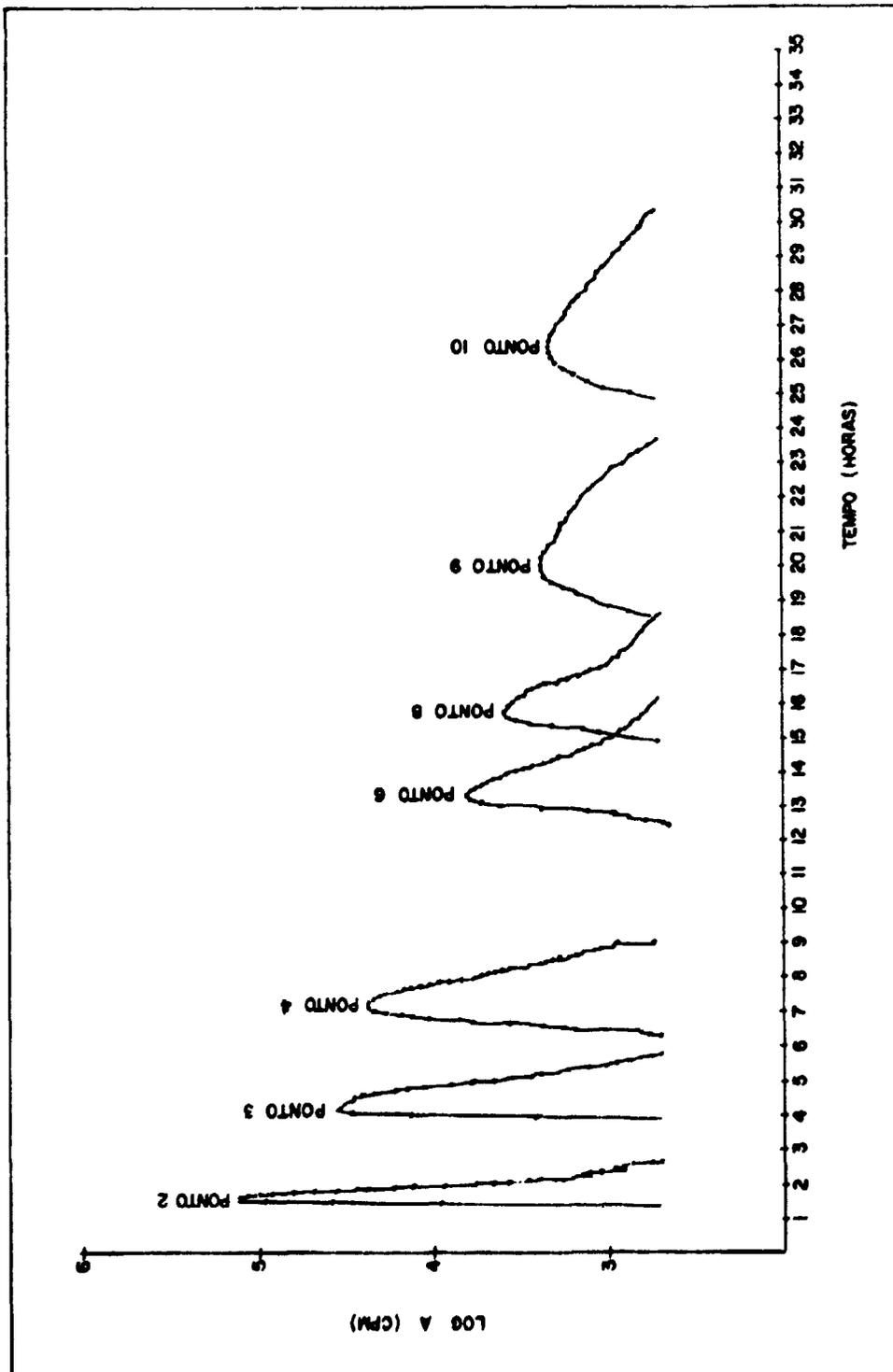


FIGURA 7 - CURVA DE PASSAGEM DO TRAÇADOR PELAS
DIVERSAS SECÇÕES DE CONTROLE (2ª CAMPANHA).

TABELA II

Medidas de Vazão dos Rios Tietê e Afluentes

| RIO | VAZÃO (m ³ /s) | DATA | HORA |
|----------------------------|---------------------------|----------|-------|
| Tiguatira | 0,54 | 01/11/74 | 16:16 |
| Tiguatira | 0,54 | 12/12/74 | 11:19 |
| Aricanduva | 3,36 | 12/12/74 | 12:40 |
| Cabuçu de Cima | 1,13 | 06/11/74 | 10:57 |
| Cabuçu de Cima | 1,36 | 12/12/74 | 9:42 |
| Tamanduatef | 11,8 | 08/11/74 | 12:00 |
| Tamanduatef | 10,1 | 08/11/74 | 12:50 |
| Tamanduatef | 9,5 | 08/11/74 | 16:34 |
| Tamanduatef | 18,3 | 21/11/74 | 10:42 |
| Tamanduatef | 15,8 | 21/11/74 | 12:10 |
| Tamanduatef | 12,2 | 21/11/74 | 14:50 |
| Tietê (em P ₁) | 26,6 | 07/11/74 | 16:47 |
| Tietê (em P ₂) | 30,8 | 16/12/74 | 11:53 |
| Mandaqui | 1,05 | 05/11/74 | 12:46 |
| Mandaqui | 1,25 | 12/12/74 | 14:33 |
| Cabuçu de Baixo | 0,39 | 05/11/74 | 16:30 |
| Água da Pedra | 0,09 | 07/11/74 | 10:55 |
| Rio Verde | 0,26 | 07/11/74 | 12:49 |
| Rio Verde | 0,24 | 12/12/74 | 17:04 |

TABELA III

Comparação entre os Valores de Vazão do Rio Tietê, obtidos pela Equação (5) e pelo Cálculo das Contribuições dos Afluentes.

| SECÇÃO DE CONTROLE | VAZÃO DO TIETÊ (m ³ /s) | |
|-----------------------|------------------------------------|---|
| | Equação 5 | Cálculo, com a Contribuição dos Afluentes |
| P ₂ | 30,0 | 30,0 |
| P ₃ | 30,3 | 30,0 |
| P ₄ | 41,7 | 41,8 |
| P ₅ | 42,3 | 42,4 |
| P ₇ | 47,4 | |

Método 1 - Utilizando a equação (5).

Método 2 - Computando as vazões do Tietê e afluentes (Tabela II).

Os valores dos tempos de trânsito calculados estão representados na Tabela IV

TABELA IV
Tempos de Trânsito - 2ª Campanha

| SECÇÃO DE CONTROLE | TEMPO DE TRÂNSITO PARCIAL (HORAS) | TEMPO DE TRÂNSITO A PARTIR DE P ₀ (HORAS) |
|--------------------|-----------------------------------|--|
| P ₀ | 0 | 0 |
| P ₁ | 1,7 | 1,7 |
| P ₂ | 2,74 | 4,44 |
| P ₃ | 2,94 | 7,38 |
| P ₄ | 6,31 | 13,69 |
| P ₅ | 2,43 | 16,12 |
| P ₆ | 4,55 | 20,67 |
| P ₁₀ | 6,30 | 26,97 |

Os dados relativos as medições de vazão do rio Tietê e de seus tributários acham-se reunidos na Tabela II, junto com os dados da primeira campanha

Acham-se representadas, na figura 8, as variações da vazão de bombeamento das estações elevatórias da Traição e da Pedreira. Nota-se, na estação elevatória da Traição, um regime de bombeamento mais irregular e superior ao da primeira campanha

Quando a nuvem radioativa passava pela secção de controle P₃ teve início uma precipitação atmosférica intensa que acumulou 11.5 milímetros em uma hora e meia. Os dados fornecidos pelas três estações pluviométricas consideradas permitiram construir as curvas da precipitação acumulada em função do tempo, e que estão representados nas figuras 9, 10 e 11. Essa chuva provocou uma diluição parcial do traçador radioativo, não havendo homogeneização com o volume do rio Tietê, na secção de controle P₃. Assim, a medição nessa secção não podia ser aproveitada no cálculo de incremento de vazão do rio Tietê. A partir da secção de controle P₄ o traçador radioativo já estava novamente homogeneizado com a massa líquida.

A partir da secção de controle P₄, notou-se que o movimento das águas do rio Tietê foi fortemente influenciado pelo regime variável de bombeamento das estações elevatórias, não permitindo com isso calcular o aumento de vazão nas secções seguintes.

Outro acontecimento registrado foi a entrada em funcionamento da bomba de recalque da

Barragem Edgard de Souza, (Pirapora) 15 horas após o lançamento do traçador radioativo, introduzindo um volume de água não especificado no sistema hidrico em estudo. Esse fato invalidou a utilização da equação (5) no cálculo do incremento de vazão

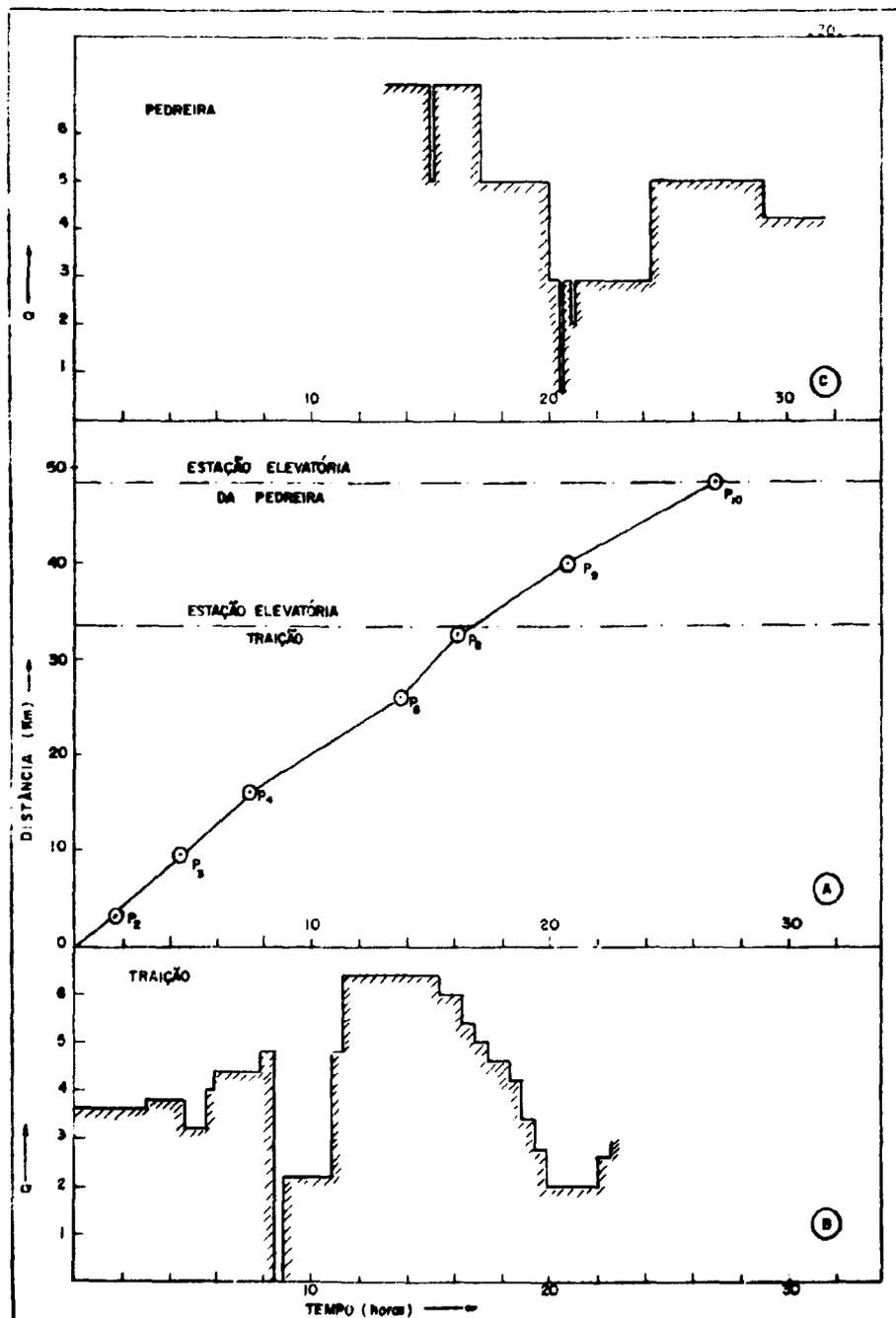
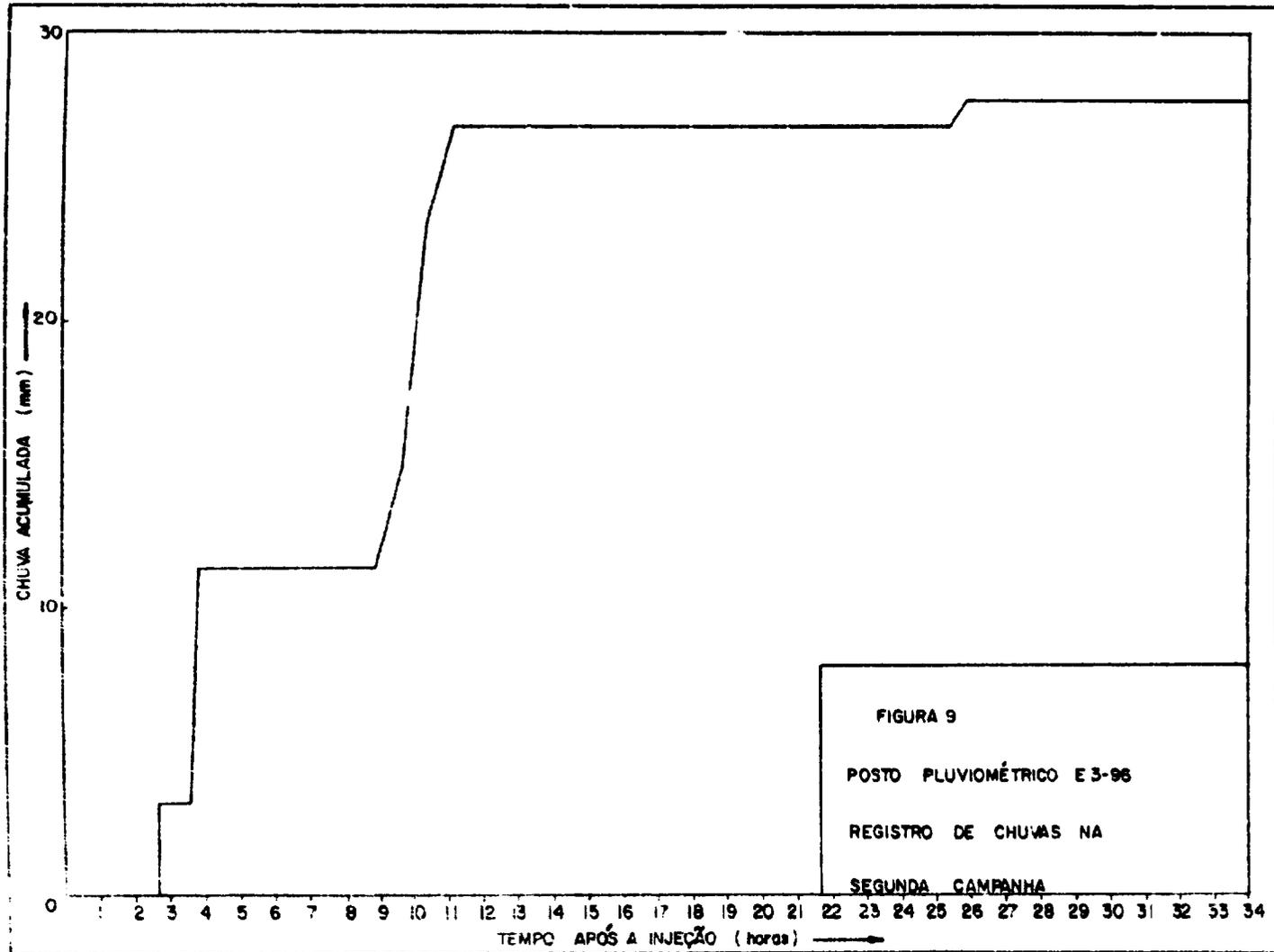
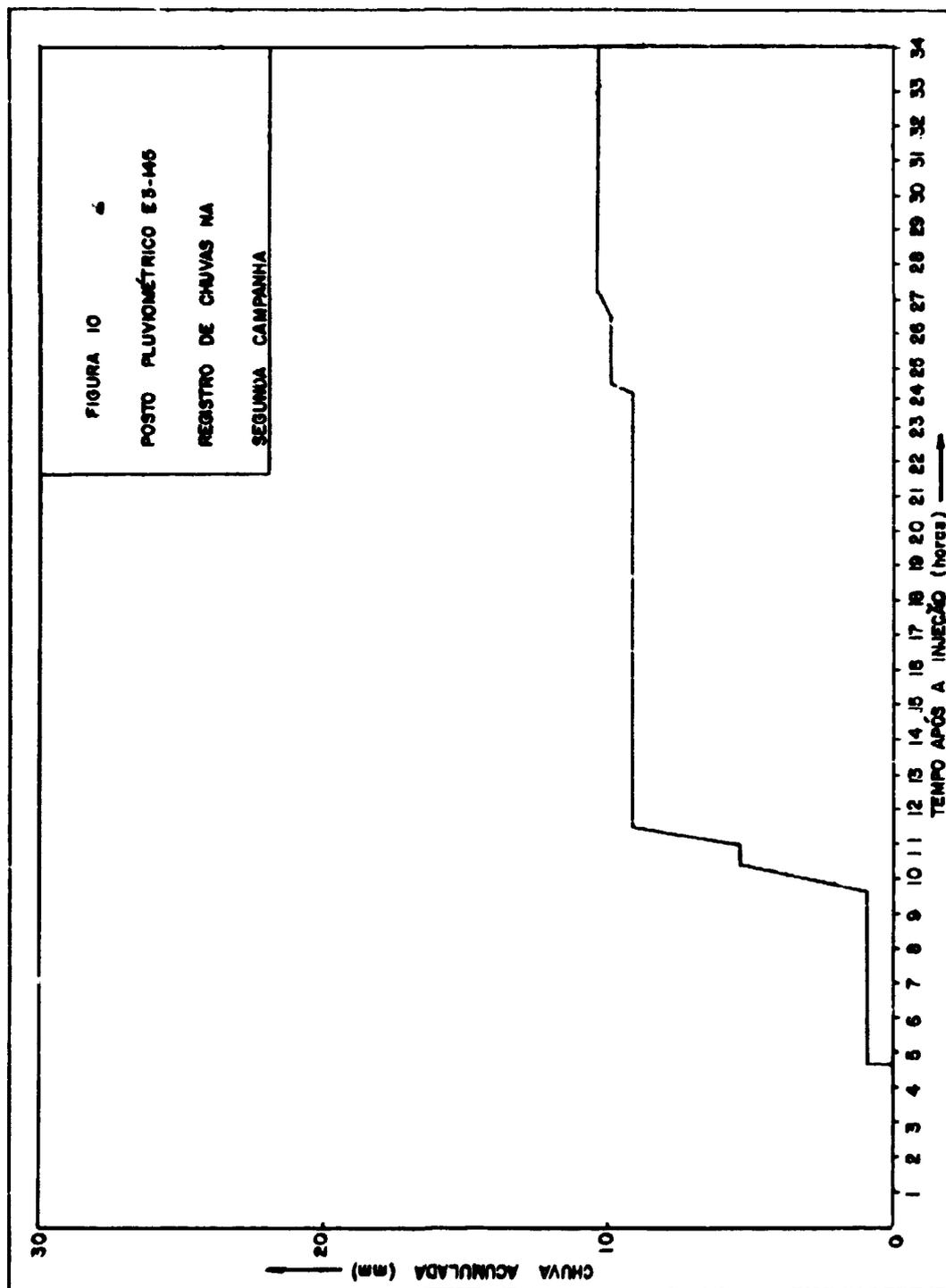
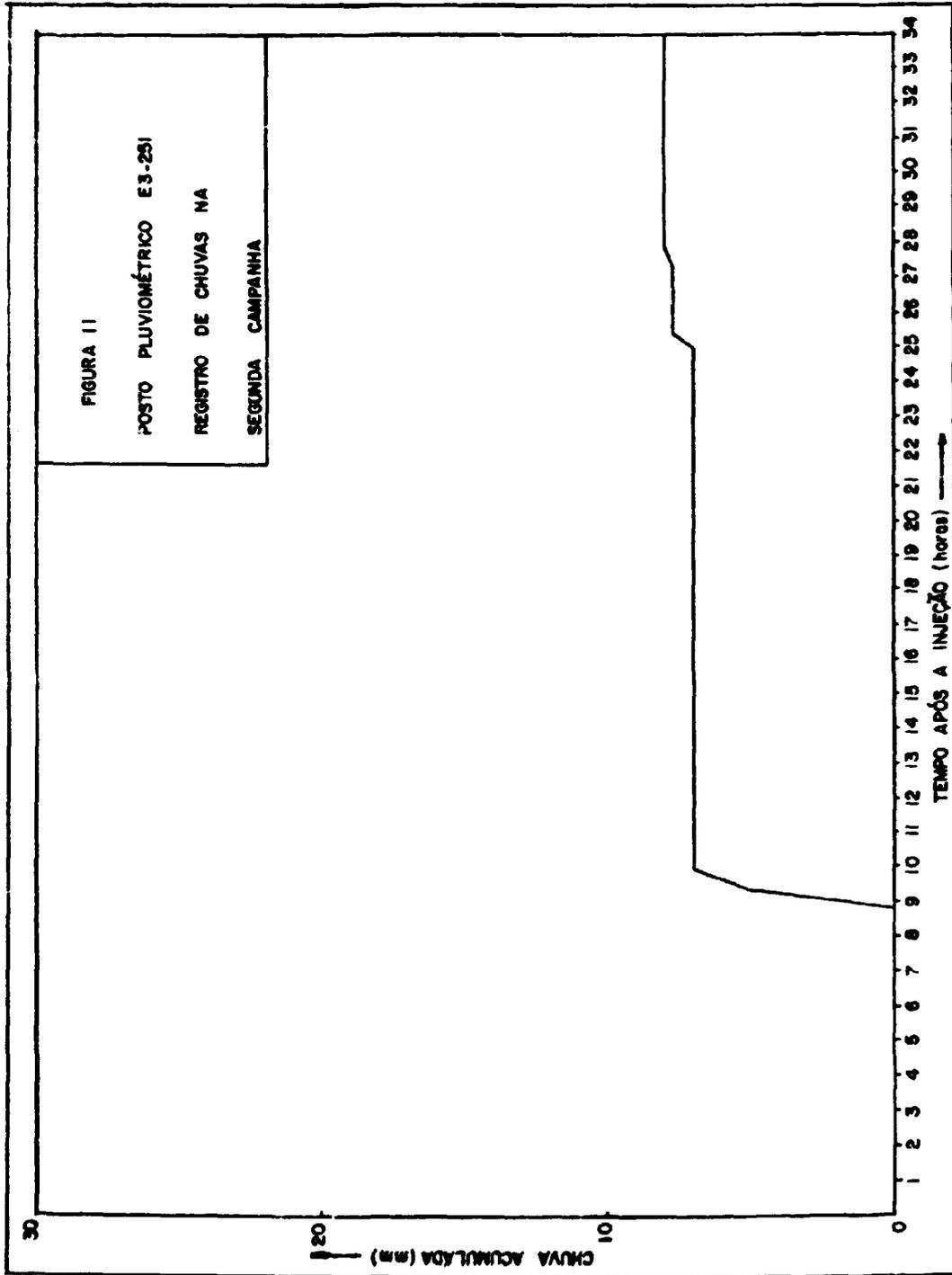


FIGURA 8 - (A) TEMPO DE TRÂNSITO (2ª CAMPANHA).
(B) e (C) TAXA DE BOMBAMENTO DAS ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DA TRAIÇÃO E PEDREIRA RESPECTIVAMENTE (EM UNIDADES ARBITRÁRIAS).







CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com as medições do tempo de trânsito entre secções de controle sucessivas mostraram que a partir da secção de controle P₅ (Ponte da Estrada dos Remédios) a velocidade de deslocamento da massa líquida é influenciada, de forma acentuada, pelo regime de operação das bombas das estações elevatórias de Pedreiras e da Traição. Comparando-se as figuras 6 e 8 observa-se que as duas retas apresentam a mesma declividade até atingir o ponto correspondente à secção de controle P₅. Significa que a partir dessa secção o regime de bombeamento da estação de Traição passa a influir na velocidade de deslocamento das águas do rio Tietê.

Na primeira campanha, quando as pequenas variações de vazão de bombeamento nas estações elevatórias de Pedreiras e da Traição não perturbaram o regime do rio, os valores de vazão relativa entre as secções P₂ e P₇ indicam que não existem outras contribuições significativas além dos córregos e rios tributários.

Para calcular-se com precisão qual a contribuição efetiva dos esgotos e das águas pluviais na vazão do rio Tietê, na área estudada, seria necessário efetuar outras campanhas com programação adequada ao regime de bombeamento das estações de recalque de Pedreiras, e da Traição.

ABSTRACT

A study of the water time of travel in the Tietê and Pinheiros rivers was performed using radiotracer techniques. The section studied was about 50 Km long in the metropolitan area of São Paulo City.

The passage of the radioactive cloud was measured in several control sections between the injection point and the Pedreira dam in the Billings reservoir where the water from those rivers is pumped.

The increase of rate flow along the way of the rivers, due to afluent and sewage contributions was also calculated using the total count method.

The flow rate of the principal afluent and the Tietê river were also simultaneously measured using radiotracer techniques.

The influence of several factors, as pumping rate in the pumping stations and rain water contribution are also discussed.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DUARTE, U. *Métodos de determinação de vazão com o emprego de traçadores radioativos*. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1973. (Dissertação Mestrado)
2. GARCIA AGUDO, E. et alii. *Estudos para o sistema de disposição oceânica de esgotos de Santos e São Vicente. Relatório parcial nº 3: medição de vazão do esgoto*. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, 1973. (IEA-319)
3. GARCIA AGUDO, E. et alii. *Tempo de trânsito das águas do rio Juqueri ao longo do braço leste da Represa Pirapora*. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, 1975. (IEA-388)
4. GOMEZ, H. R. *Aplicación de radioisótopos en hidrología: 6º Curso Regional, Universidad Nacional de Cuyo, San Juan, Argentina, 13 de outubro a 20 de novembro de 1970*. s.l., s.d.
5. HULL, D. E. Dispersion and persistence of tracer in river flow measurements. *Int. J. appl. Radiat. Isotopes*, Oxford, 13:63-73, 1962.

6 HULL, D E The total count technique: a new principle in flow measurements. *Int. J. appl. Radiat. Isotopes*, Oxford, 4:1-15, 1958.

