
Dinâmica de Lagos e Reservatórios de Grande Porte utilizando Traçadores Radioativos*

E. GARCIA AGUDO
W. SANCHEZ
J. L. DOS SANTOS
A. MERIGHI JUNIOR

1 — INTRODUÇÃO

A contaminação das águas naturais é um problema crescente no mundo inteiro. É comum a existência de sistemas hídricos onde as mesmas águas são utilizadas seqüencialmente para diversos usos. É fato normal que um mesmo curso de água sirva para dispersar e transportar os esgotos provenientes de uma cidade ou os efluentes de uma ou mais indústrias, e, a jusante, a mesma água seja utilizada para abastecimento público.

Todo sistema hídrico tem sua própria capacidade de autodepuração. Para um planejamento racional dos diversos usos das águas, torna-se imprescindível conhecer ou determinar essa capacidade. A necessidade cada vez maior de fontes de energia faz com que muitos cursos de água sejam represados para aproveitar seu potencial hidroelétrico, criando grandes lagos ou reservatórios artificiais em que os processos de auto-

depuração continuam desenvolvendo-se.

Um parâmetro de grande importância para os estudos da capacidade autodepuradora de um sistema hídrico entre duas seções de interesse é o tempo de trânsito das águas entre essas seções.

A determinação desses tempos de trânsito é simples no caso de rios e canais, utilizando métodos convencionais. Já quando entre as seções a considerar existem lagos ou reservatórios, o problema complica-se bastante.

O tempo médio de permanência das águas em lagoas e reservatórios é uma função complexa das vazões de entrada e de saída no sistema. Geralmente os reservatórios apresentam contornos irregulares, com braços e regiões mortas, em que a circulação das águas é restrita. Como consequência, o volume das águas em movimento é inferior ao volume nominal do reservatório.

Os valores de tempos de permanência calculados utilizando-se diversos modelos matemáticos são apenas aproximações dos valores reais; porquanto as hipóteses adotadas nos modelos raramente ocorrem na prática.

Torna-se portanto conveniente determinar experimentalmente o valor dos tempos de trânsito ou de residência de cada sistema em particular.

A CETESB, Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente, tem utilizado rotineiramente traçadores radioativos para a determinação destes tempos de trânsito ou de permanência em vários sistemas hídricos (1, 2, 3).

Atualmente está sendo desenvolvido na CETESB um estudo integrado do Reservatório Billings, receptor das águas poluídas da cidade de São Paulo, com uma capacidade superior a 10^9 m³, com o objetivo de estabelecer as qualidades da água na represa em função das cargas poluidoras introduzidas no sistema, determinando-se com esse fim a capacidade de autodepuração das águas e caracterizando os processos de eutrofização que nelas se desenvolvem.

Como parte integrante desse estudo, resultou necessário conhecer as características hidráulicas do sistema e, em particular, caracterizar o movimento das águas dentro do reservatório, a interação das águas

(*) Este trabalho, apresentado ao VIII Congresso de Engenharia Sanitária, em novembro de 1975, no Rio de Janeiro, foi selecionado pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, seção brasileira da AIDIS, para representar o Brasil no XV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária.

do corpo principal com as dos diversos braços, os tempos de trânsito das águas entre diversas seções de controle e o tempo total de permanência das águas dentro do reservatório.

É a primeira vez que se determina experimentalmente o tempo de permanência das águas em um sistema com a capacidade do Reservatório Billings e, mais uma vez, os traçadores radioativos mostraram ser uma ferramenta muito poderosa para este tipo de trabalho.

2 — CARACTERÍSTICAS DO RESERVATÓRIO BILLINGS

O Reservatório Billings encontra-se situado na região metropolitana de São Paulo, ao sul da cidade, e possui uma capacidade nominal de 1.200 milhões de metros cúbicos, com uma área superior a 120 milhões de metros quadrados e profundidade média de aproximadamente 10 metros.

Esse reservatório foi construído para a geração de energia elétrica, aproveitando o desnível de mais de 700 m existente entre a represa e a usina de Cubatão, na vertente oceânica.

Para esse fim foi revertido o sentido de escoamento do rio Pinheiros, recalçando suas águas para o Reservatório Billings através da estação elevatória de Pedreira, de tal forma que o reservatório recebe praticamente todas as águas da bacia do Alto do Tietê.

O contorno do reservatório é muito irregular, apresentando vários braços com capacidades variáveis, destacando-se, entre outros, os braços do rio Grande, do Taquacetuba, do rio Pequeno e do Capivari (fig. 1).

A entrada de água é realizada principalmente através de barragem da Pedreira, sendo o rio Grande a única outra contribuição importante. Após percorrer aproximadamente 22 km, as águas do reservatório passam através da barragem reguladora do Summit Control para o reservatório do rio das Pedras, com volume nominal de 16,5 milhões de metros cúbicos, e acabam descendo a serra do Mar, na vertente oceânica, aproveitando-se seu potencial hidroelétrico na Usina de Cubatão. Após passarem pelas turbinas, as águas caem no rio Cubatão e vão contribuir para o abastecimento das grandes indústrias situadas na Baixada Santista, antes de serem lançadas ao estuário de Santos.

TABELA I
Tempo de trânsito das águas da represa Billings

Seção	$\int_0^{\infty} A dt$ (U.T. x dia)	$\int_0^{\infty} A x t dt$ (U.T. x d ²)	Tempo de trânsito desde pedra (dias)
R ₁	2.210	36.100	16,3
R ₂	2.060	42.100	20,4
R ₃	2.710	71.500	26,4
R ₄	2.400	84.400	35,2
R ₅	2.820	230.600	81,8
R ₆	2.485	255.800	102,9

A Represa Billings atua também como corpo receptor das águas poluídas da metrópole. As cargas poluidoras que vem recebendo aumentaram extraordinariamente nestes últimos vinte anos, paralelamente com o crescimento da população, que atualmente se encontra por volta dos 10 milhões de habitantes.

Estima-se em 420 toneladas de DBO a carga poluidora diária que recebe atualmente o Reservatório Billings.

Como conseqüência dessa carga poluidora, as águas do reservatório experimentaram deteriorização crescente, sendo que, atualmente, uma grande parte do reservatório se tornou permanentemente anaeróbia.

3 — METODOLOGIA

Para o estudo da dinâmica de sistemas relativamente pequenos, podem-se utilizar técnicas clássicas, como o uso de corantes ou substâncias químicas para determinação dos tempos de trânsito ou detenção.

A técnica normalmente utilizada consiste em lançar em forma instantânea e pontual uma quantidade de traçador na entrada do sistema e estudar a curva de passagem do traçador por diversas seções de controle e na saída do sistema.

O intervalo de tempo transcorrido entre o instante de injeção e a passagem do centro de gravidade da distribuição temporal do traçador por uma determinada seção define-se como tempo de trânsito.

O uso de traçadores radioativos para resolver este tipo de problema está também amplamente difundido, devido especialmente a sua grande sensibilidade de detecção e a sua especificidade (4, 5, 6); porém, quanto maior é o volume do sistema a ser estudado, tanto maior é a quantidade de traçador que deve ser utilizada. A manipulação de altas atividades de radioisótopos é difícil, devido aos problemas de blindagem e proteção radiológica do pessoal envolvido no trabalho.

No caso particular da Represa Billings, o problema apresentou-se como bastante complexo, devido à grande capacidade do reservatório e aos grandes tempos de retenção esperados, e optou-se por utilizar técnicas radioisotópicas para a determinação dos tempos de trânsito. Os traçadores radioativos mais utilizados para este tipo de trabalho são o ¹³¹I, ⁸²Br, ⁵¹Cr-EDTA, ⁵⁸Co(CN)₃, K, e Tritio (H).

Entre eles, o ⁸²Br apresenta uma meia vida de 36 horas, sendo só utilizável em estudos com apenas alguns dias de duração. Os dois complexos, ⁵¹Cr-EDTA e ⁵⁸Co(CN)₃, embora com meia vida apropriada para o estudo (26,5 d e 71 d, respectivamente), são produtos caros e de uso limitado. O trítio não pode ser medido "in situ", requerendo um processamento prévio a medição em laboratório.

Foi decidido utilizar ¹³¹I como traçador em uma primeira tentativa para determinar as características hidráulicas do Reservatório Billings.

4 — O PRIMEIRO ENSAIO

4.1 Injeção do traçador

Para a primeira etapa do trabalho, selecionou-se o ¹³¹I como traçador, na forma química de NaI. Sendo a sua meia vida de oito dias, permitiria estudar o sistema por um período de aproximadamente seis semanas. Estimou-se em 20 Ci a atividade mínima necessária para caracterizar o comportamento hidráulico do reservatório. O lançamento do traçador efetuou-se de forma instantânea e puntiforme na sucção das bombas de recalque, em agosto de 1974.

O volume de água acumulado no reservatório na época do lançamento era de aproximadamente 800 milhões de metros cúbicos, sendo de 47 m³/s a vazão média de entrada de água no sistema, através da estação de bombeamento da Pedreira, e de 90 m³/s a vazão média da descarga no Summit Control.

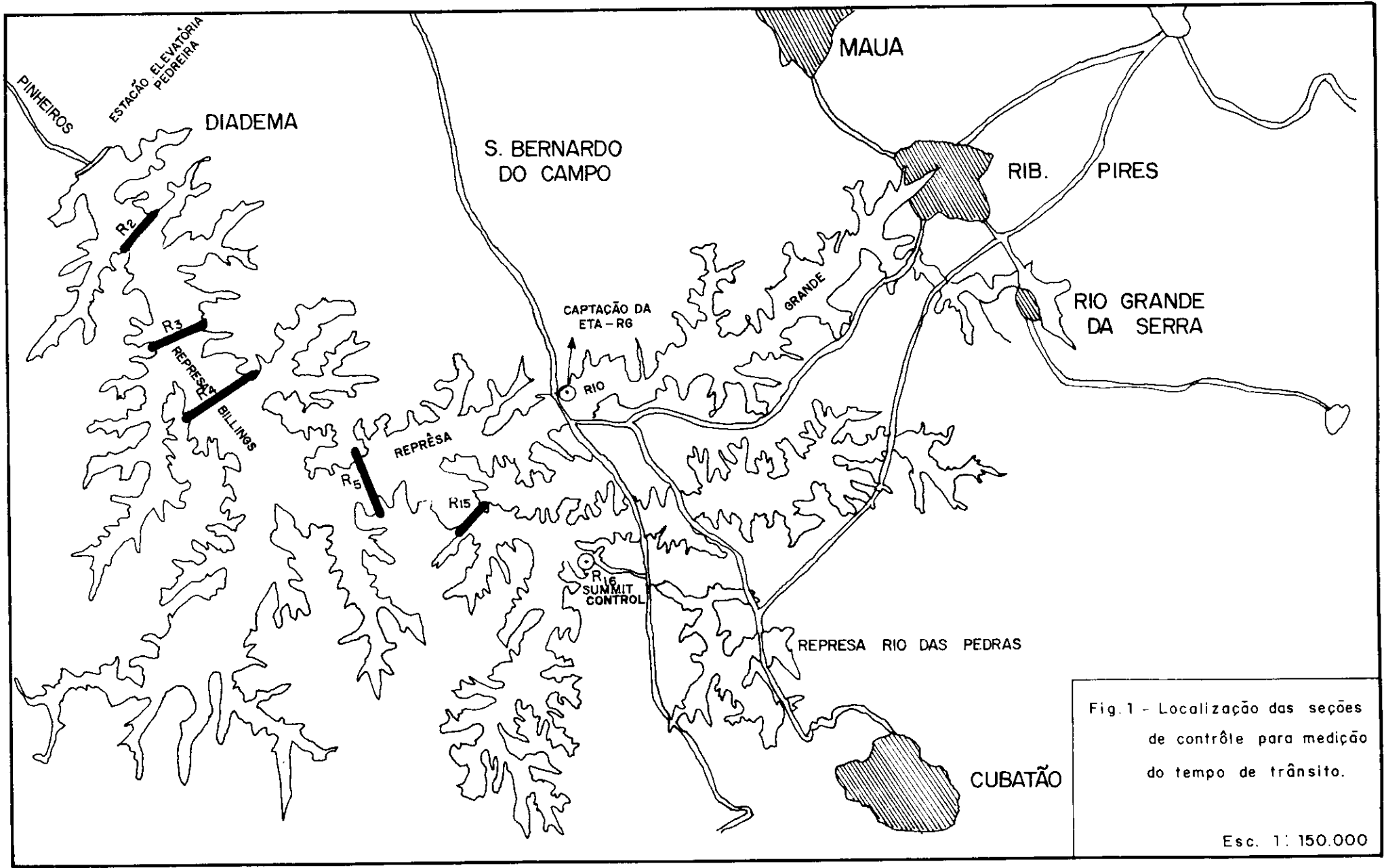


Fig.1 - Localização das seções de contrôle para medição do tempo de trânsito.

Esc. 1: 150.000

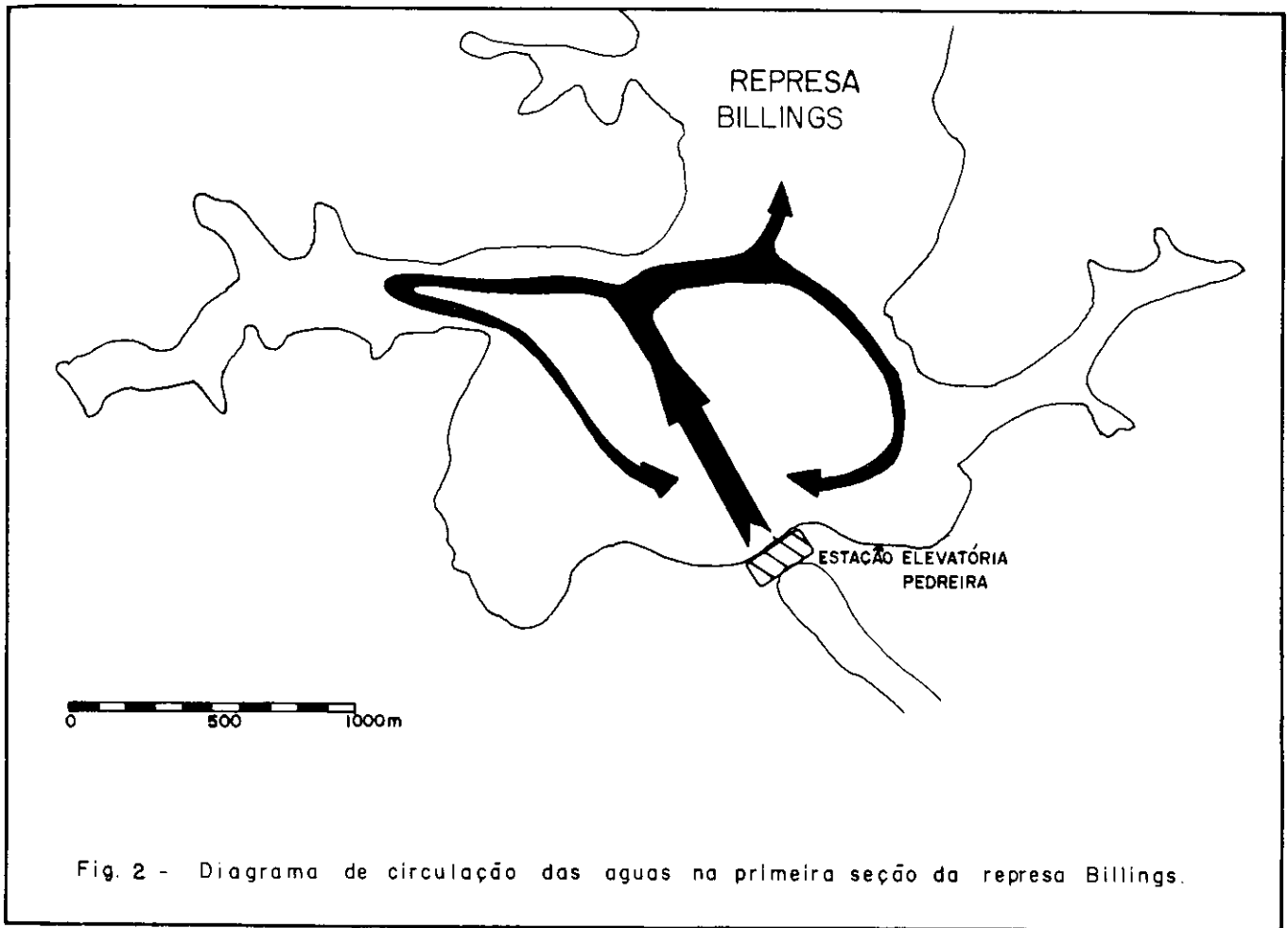


Fig. 2 - Diagrama de circulação das águas na primeira seção da represa Billings.

4.2 Medição do traçador

Mediu-se a distribuição espacial do traçador no corpo do reservatório com detectores de cintilação mergulháveis, associados a contadores de radiação, marca BASC, com sensibilidade de aproximadamente 10 cps/ $\mu\text{Ci}^{131}\text{I}/\text{m}^3$ para geometria infinita.

A saída das bombas está localizada aproximadamente a 16 m por baixo do nível de água do reservatório. Devido à configuração da saída das bombas, a água recalçada para o reservatório atinge rapidamente a superfície.

Nos dias seguintes estudou-se a evolução espacial do traçador dentro do reservatório, percorrendo várias seções transversais e longitudinais, com o detector de radiação mergulhado na água e registrando-se em forma contínua a taxa de contagem medida.

O traçador experimentou uma diluição inicial muito grande.

Seis dias após a injeção, o valor máximo de atividade registrado nas águas do reservatório era de apenas duas vezes o valor da radiação de fundo ("background"), dando muita imprecisão nas medições de taxa de contagem.

A partir desse instante, começaram-se a realizar medições pontuais, com barco ancorado, em locais pré-selecionados, acumulando as contagens durante um certo tempo para melhorar a qualidade dos resultados. Estas medições realizaram-se a três profundidades diferentes. Esta técnica de medição prolongou-se por mais dez dias, até que o traçador atingiu o seu limite de detecção, devido à diluição e ao decaimento radioativo que ele tinha experimentado.

A partir desse instante procedeu-se à coleta periódica de amostras de 20 litros cada, a duas profundidades, em pontos preestabelecidos.

O ^{131}I presente nas amostras era posteriormente separado por precipitação, adicionando uma solução de AgNO_3 . O precipitado de AgI formado era filtrado e contado em um detector de $\text{NaI}(\text{Tl})$, de 3" x 3", tipo poço, de alta eficiência.

Por meio das técnicas de medição acima descritas, acompanhou-se o deslocamento do traçador por aproximadamente quarenta dias.

A partir do dia 21 de setembro de 1974 observou-se um aumento da concentração de ^{131}I em todo o corpo de água do reservatório.

Esse aumento da radioatividade coincidiu com as primeiras chuvas

após uma longa época de estiagem e foi devido à precipitação radioativa ("fall out") proveniente das explosões nucleares realizadas nos meses de junho, julho e agosto de 1974 no Pacífico Sul (7).

A contaminação de todo o reservatório do "fall out" impediu o prosseguimento dos ensaios.

4.3 Resultados da primeira etapa

Esta primeira tentativa, embora não tenha atingido completamente o objetivo final de determinar o tempo de residência das águas no Reservatório Billings, permitiu caracterizar o comportamento hidráulico no primeiro trecho do reservatório.

As saídas das bombas da estação de recalque Pedreira encontram-se orientadas obliquamente com referência ao eixo da Represa Billings. A água bombeada atinge rapidamente a superfície, deslocando-se em direção oblíqua e gerando uma corrente de recirculação na primeira seção da represa, segundo o esquema apresentado na figura 2.

Devido à existência desta corrente de recirculação, as águas poluídas que entram na Billings misturam-se com as existentes, mais velhas e depuradas, ficando retidas, em mé-

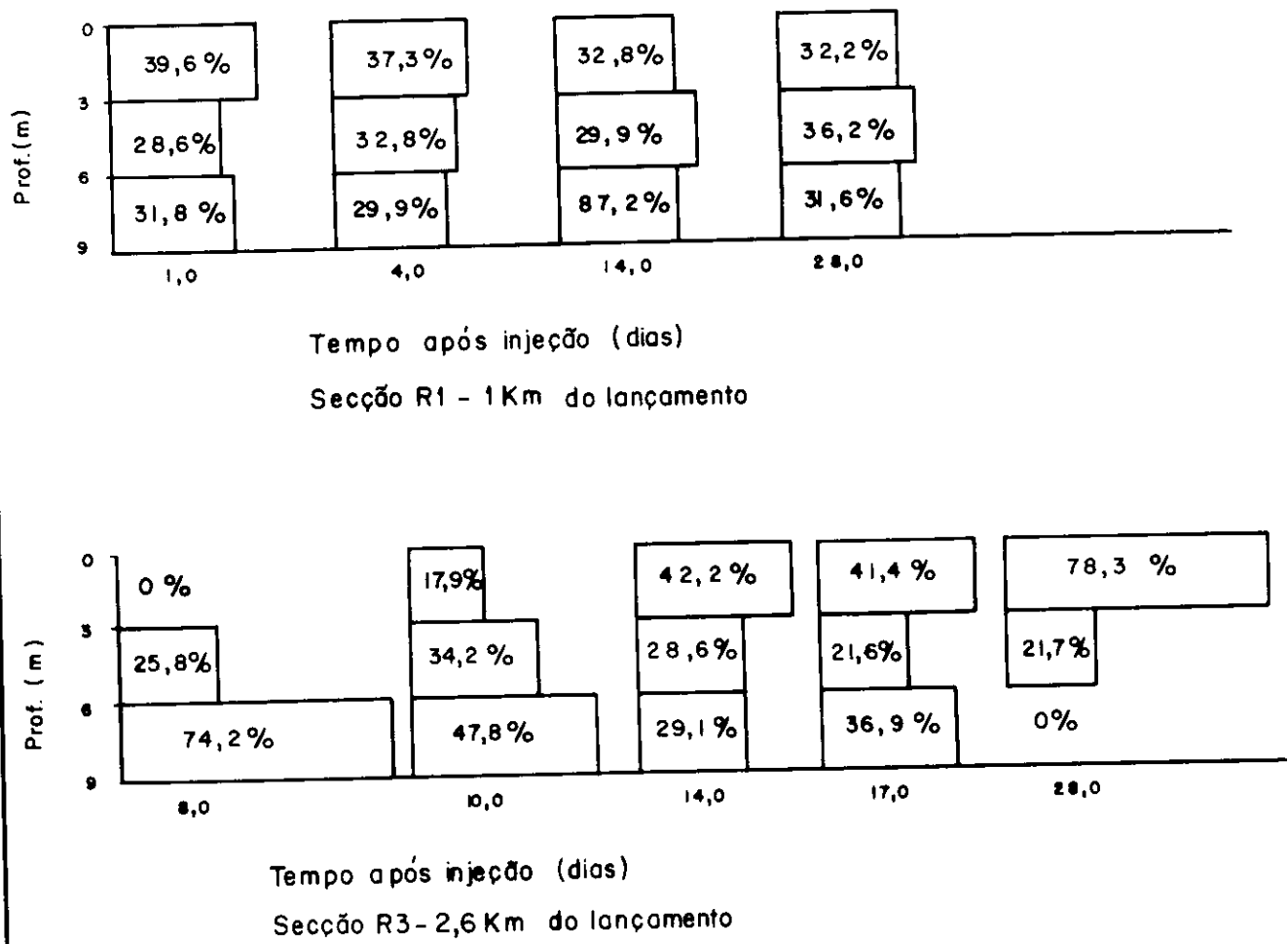


Fig. 3- Distribuição em profundidade do traçador radioativo em função do tempo, nas secções R1 e R3

dia, alguns dias neste primeiro trecho de 2 km de comprimento.

As medições realizadas "in situ" mostraram uma excelente homogeneidade do traçador no corpo de água da represa, tanto em largura quanto em profundidade, neste primeiro trecho.

A medida que o traçador se vai deslocando ao longo do reservatório, pode-se observar que o movimento nas camadas mais profundas é mais rápido que nas superficiais, como revelado pelos perfis de atividade da figura 3.

Realizaram-se medições ao longo dos diversos braços do reservatório, não tendo sido detectado o traçador nesses locais, o qual indica que na época de estiagem, quando se realizou o ensaio, o esgoto caminhou ao longo do corpo principal da represa, sem contaminar os braços.

Como consequência das medições, pode-se concluir que, na época em que foram realizados os ensaios com ¹³¹I, o primeiro trecho do reservatório comporta-se como um misturador. Na figura 4 mostram-se os perfis de atividade obtidos ao longo do eixo do reservatório em função do tempo. Pode-se observar que, ainda após 34 dias, a maior concentração de traçador radioativo encontra-se no primeiro trecho do reservatório.

Em regime de mistura completa, a concentração do traçador num ponto, em função do tempo, estará dada por:

$$C_t = C_0 e^{-t/T_p} \quad (1)$$

onde:

C_t = Concentração do traçador no tempo t

C_0 = Concentração inicial do traçador

T_p = Tempo de permanência

Utilizando-se os valores de concentração do traçador medidos no centro da primeira bacia (Ponto R₁, figura 1), calculou-se o tempo de permanência das águas por meio da equação 1, utilizando o método dos mínimos quadrados.

O valor obtido para o tempo de permanência foi $T_p = 6.4$ dias.

5 — SEGUNDO ENSAIO

Os grandes valores de diluição observados no primeiro ensaio com ¹³¹I, associados com os grandes tempos de trânsito esperados, demonstraram a impossibilidade de utilizar o ¹³¹I como traçador para a determinação das características hidráulicas do Reservatório Billings.

Optou-se finalmente pela utilização de trítio (³H), nos ensaios. O ³H, na forma de água tritiada, tem

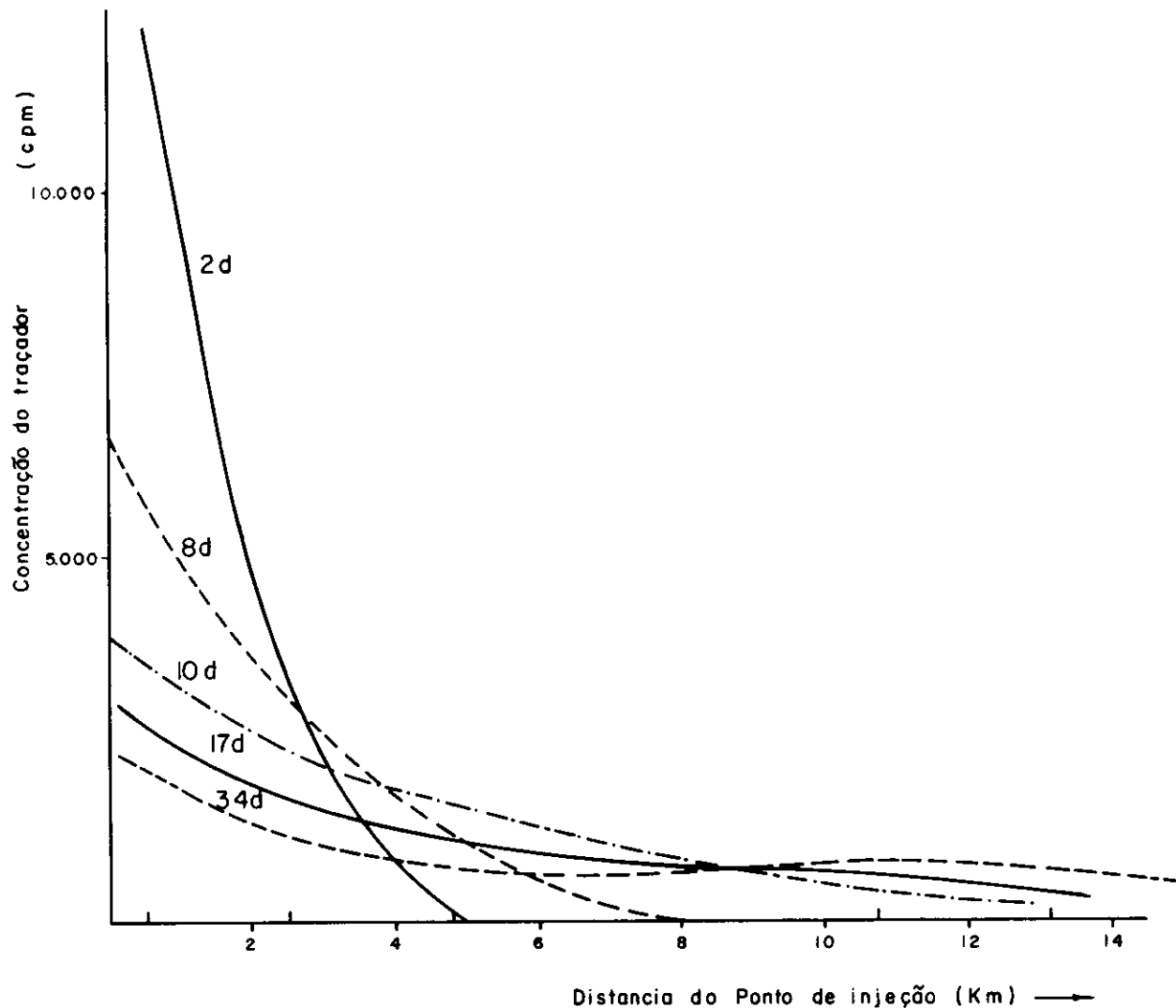


Fig. 4 Distribuição do ^{131}I ao longo do eixo principal do reservatório, em função do tempo

vido utilizado com grande sucesso como traçador em hidrologia, sendo considerado o traçador ideal para este tipo de aplicação. Sua meia vida é de 12,3 anos, possibilitando a realização de estudos de maior duração. Seu maior inconveniente é a impossibilidade de se detectar "in situ", sendo necessário retirar amostras que são posteriormente processadas e medidas no laboratório com aparelhos especiais de alta sensibilidade.

Existe uma pequena concentração de trítio nas águas naturais, proveniente em parte de reações nucleares produzidas na alta atmosfera pelos raios cósmicos e também liberado nas explosões termonucleares produzidas na atmosfera a partir de 1952.

O estudo da concentração deste trítio "natural" em sistemas hídricos

é de grande utilidade para caracterizar diversas propriedades.

Por esse motivo, antes de utilizar grande quantidade de trítio, como traçador, é necessário estudar as possibilidades de contaminação de aquíferos ou sistemas hídricos adjacentes, o que poderia prejudicar seriamente a realização de futuros estudos nesses sistemas.

No caso particular do Reservatório Billings, ele encontra-se localizado no Embasamento Cristalino, praticamente impermeável, desprovido de qualquer escoamento subterrâneo. (8) As águas do reservatório acabam saindo pelo rio Cubatão em direção ao mar, sem alimentar sistemas que possam ficar contaminados.

Ainda assim, para diminuir ao máximo a quantidade de trítio que se deveria utilizar nos estudos, utiliza-

ram-se as instalações do laboratório de enriquecimento eletrolítico de trítio do Instituto de Energia Atômica da Universidade de São Paulo, concentrando o trítio nas amostras antes de sua medição. O fator de enriquecimento obtido está na ordem de 40.

As condições de operação do reservatório no ano de 1975 são mostradas nas figuras 5 e 6.

O volume de água acumulado no reservatório em função do tempo está representado na figura 7.

5.1 Parte experimental

No dia 7 de janeiro de 1975 lançaram-se 100 Ci de trítio, como água tritiada, na sucção das bombas da Estação Elevatória Pedreira, iniciando as amostragens na Represa Billings, logo após o lançamento.

Foram escolhidas seis seções de

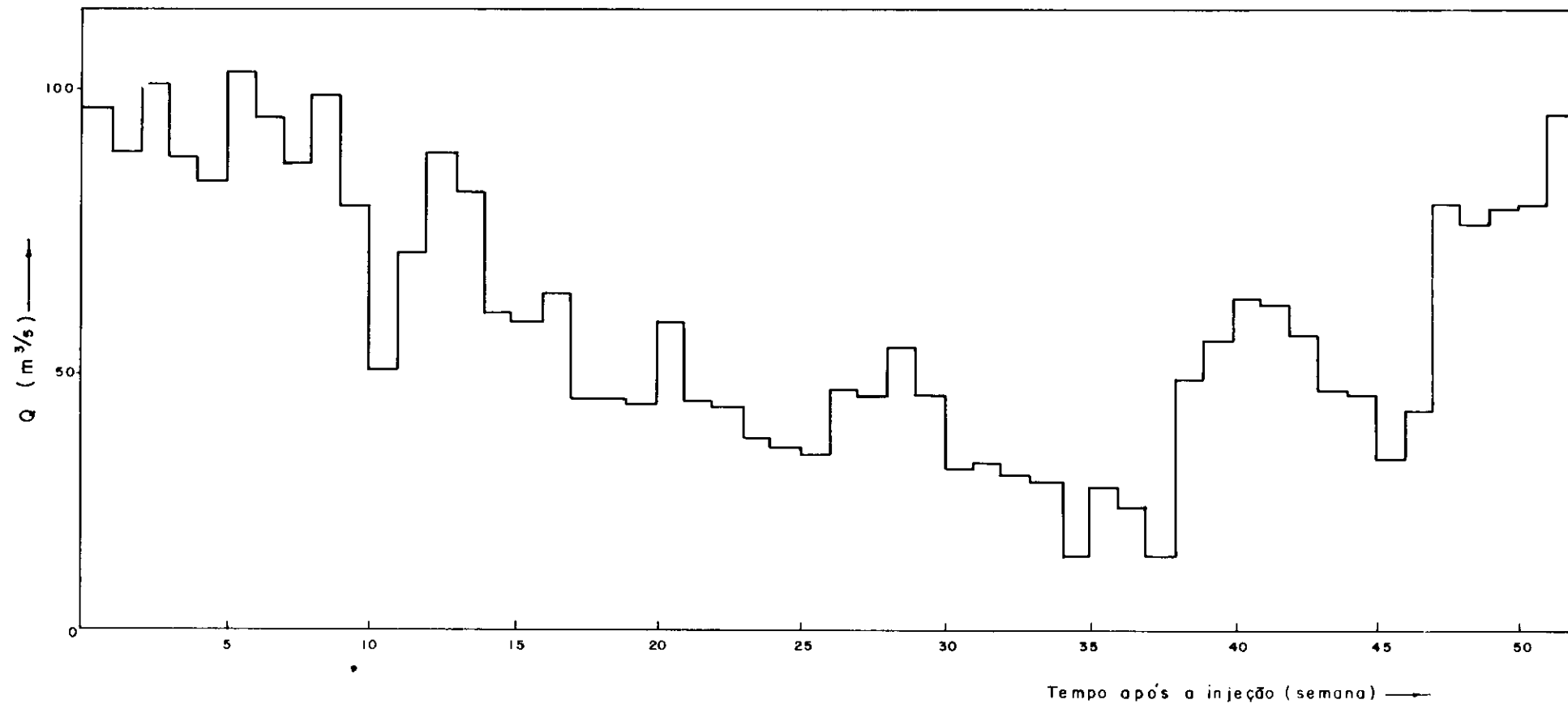


Fig. 5- Vazão média semanal bombeada na Estação Elevatória Pedreira (Entrada do reservatório)

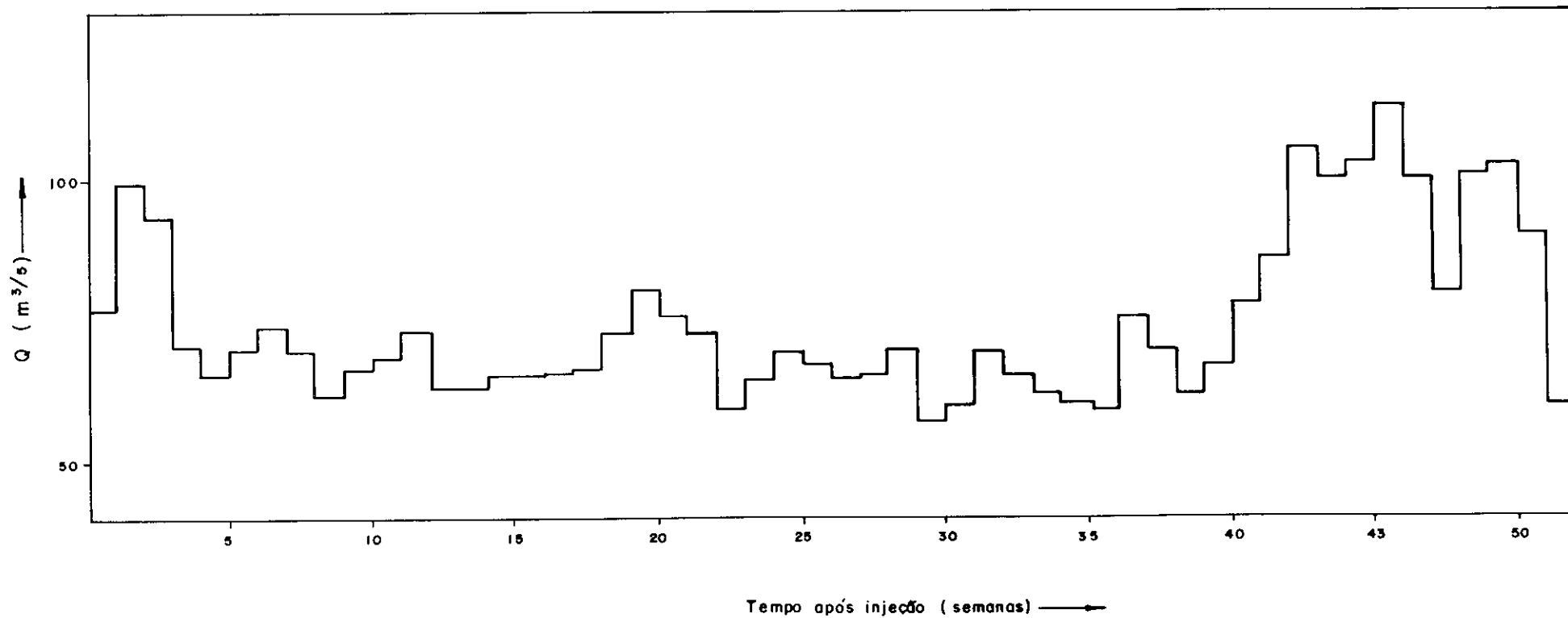


Fig. 6 - Vazão média semanal na saída do reservatório
(Summit Control)

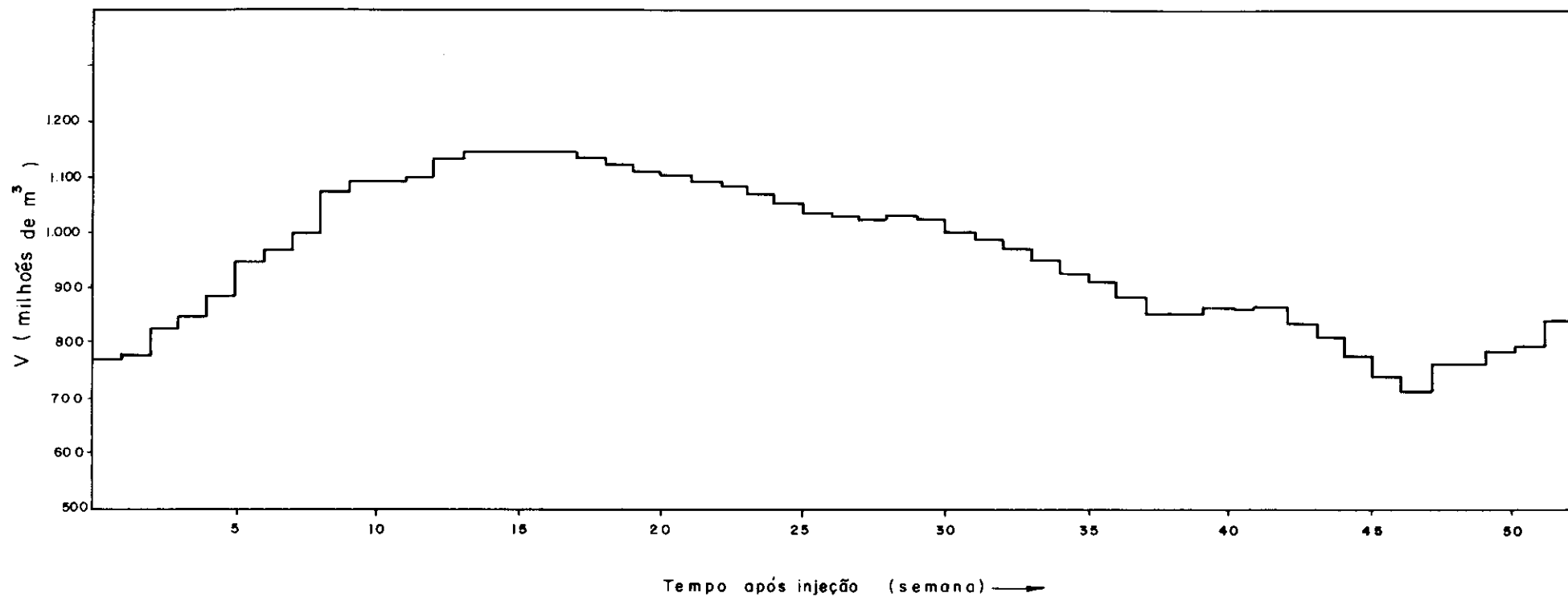


Fig. 7 Volume de água acumulada no reservatório Billings

controle ao longo da Represa Billings para amostragem de trítio. Elas foram identificadas como R₂, R₇, R₁₁, R₁₅, R₂₀ e R₁₀₀, correspondendo esta última à saída das águas do reservatório através do Summit Control.

A localização dessas seções encontra-se indicada na figura 1. Simultaneamente com a amostragem nas seções de controle, coletaram-se amostras na Estação de Tratamento de Águas existente no braço do rio Grande, visando a determinar a possível contribuição da água proveniente do corpo principal da represa, na água captada na estação.

O procedimento utilizado para a coleta de amostras foi o seguinte:

De cada seção de controle retirou-se uma amostra única, representativa da concentração média do traçador nessa seção. Para isso utilizou-se uma mangueira de 1/2" de diâmetro interno e com 10 m de comprimento, suficiente para chegar perto do fundo do reservatório, lastrada em uma das extremidades. Esta mangueira introduziu-se verticalmente na água desde o barco ancorado. Uma vez totalmente submersa, o extremo superior fechava-se com uma rolha. Quando recolhida para o interior do barco, a mangueira trazia em seu interior uma amostra integrada da coluna, que era então colocada em um recipiente. Tal procedimento foi repetido para cinco pontos criteriosamente escolhidos de cada seção. As cinco amostras assim obtidas foram homogeneizadas no mesmo recipiente, de onde se extraiu uma única amostra de 2 litros, representativa da seção.

Com base nos resultados do primeiro ensaio, programou-se a frequência de coletas e o processamento de amostras nas diversas seções de controle.

Para determinar o nível de trítio natural existente nas águas do Reservatório Billings, realizou-se uma amostragem de todas as seções antes do lançamento do traçador.

As amostras foram enriquecidas no Laboratório de Enriquecimento Eletrolítico de Trítio do Instituto de Energia Atômica de São Paulo e o conteúdo de trítio medido em espectrômetro de cintilação líquida. Essa concentração de trítio natural foi descontada dos valores obtidos nas amostras coletadas após o lançamento do traçador.

5.2 Resultados

As curvas de passagem de traçador através das diversas seções de

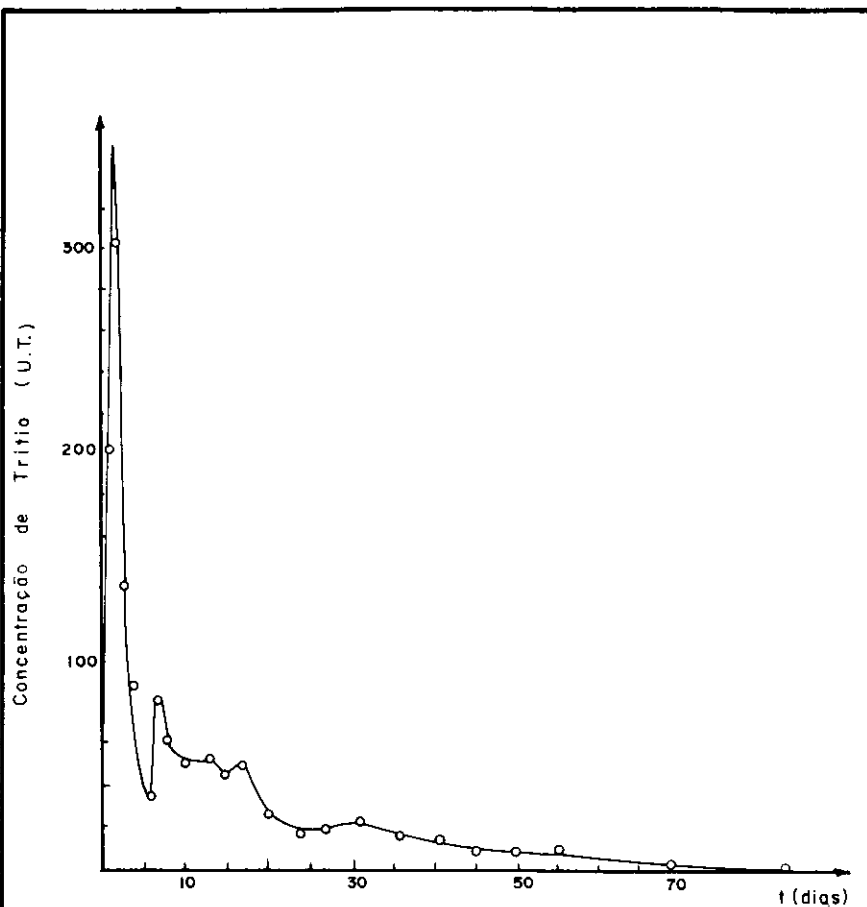


Fig. 8 - Curva de passagem do traçador pela seção R₂

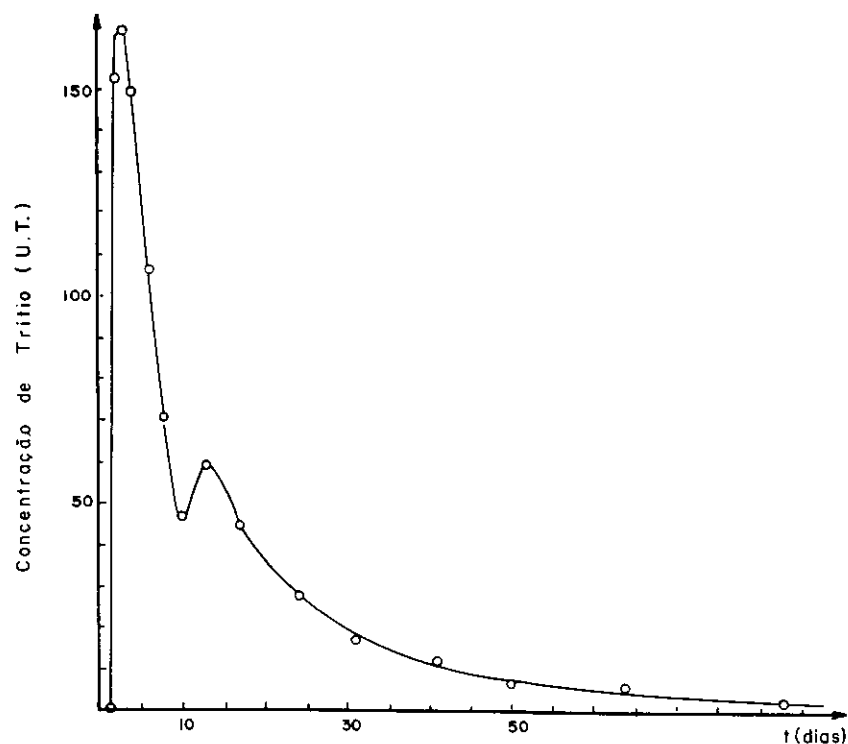


Fig. 9 - Curva de passagem do traçador pela seção R₃

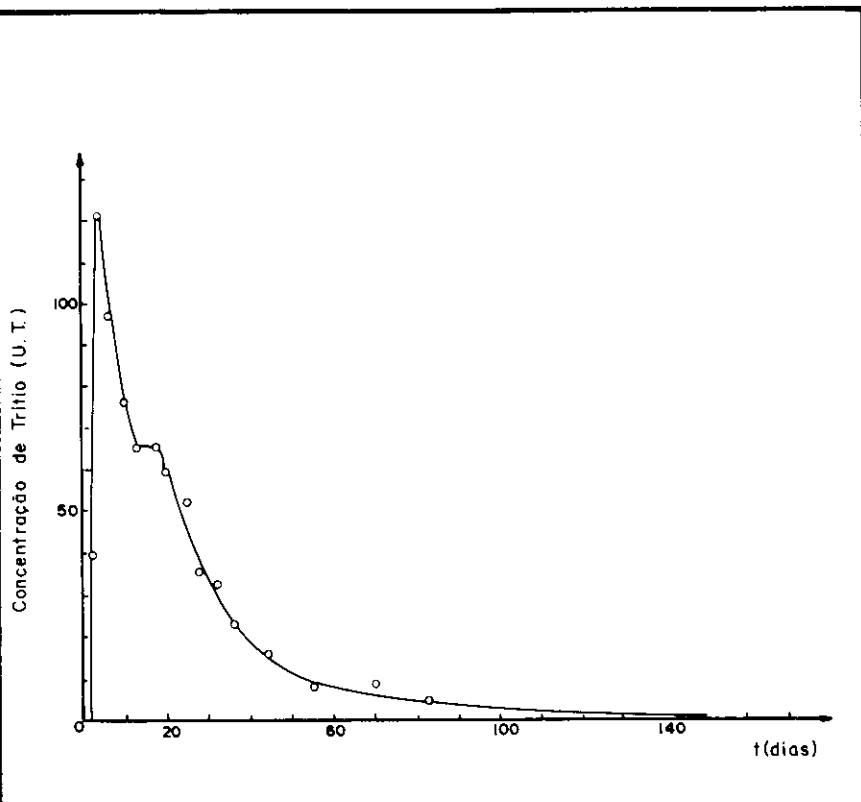


Fig.10 - Curva de passagem do traçador pela seção R₄

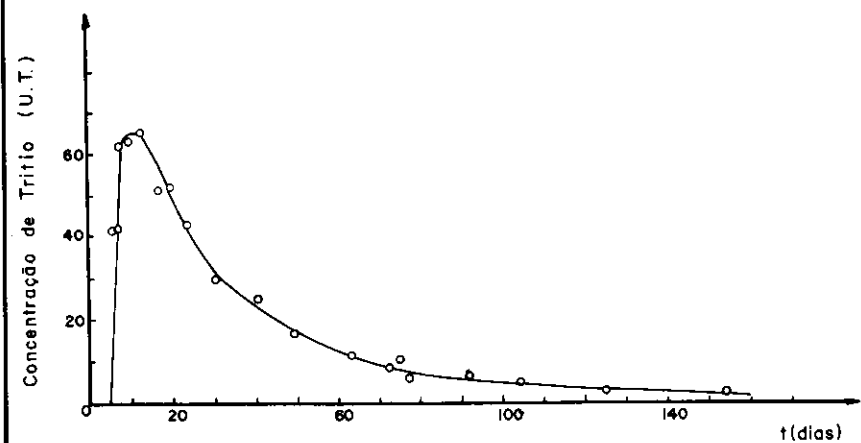


Fig.11 - Curva de passagem do traçador pela seção R₅
(Ponte da Rodovia dos Imigrantes)

controle encontram-se representadas nas figuras 8, 9, 10, 11, 12 e 13.

Observando a curva de passagem do traçador pela seção R₂ (fig. 8), observa-se um pico inicial de curta duração, com uma concentração máxima superior a 300 unidades de trítio (uma unidade de trítio, UT, corresponde a uma relação de átomos de trítio a átomos de hidrogênio de 10¹¹). A existência deste pico indica que uma parte do material que entra na represa sai diretamente da primeira bacia sem se misturar com o resto da água nela existente.

Por meio da relação entre a área sob o pico e a área total sob a curva, determinou-se que a fração de material que não recircula representa 26% da água total bombeada na Billings nas condições imperantes na época da realização dos ensaios.

Este pico de concentração de trítio continua sendo visível, na segunda e terceira curvas de passagem (figuras 9 e 10), porém cada vez mais diluído, como conseqüência da dispersão que o traçador experimenta no seu percurso, desaparecendo na curva de passagem que corresponde à seção da Rodovia dos Imigrantes (R₅).

Calcularam-se as posições dos centros de gravidade das diversas curvas e, com eles, os tempos de trânsito desde a Barragem da Pedreira até as diversas seções de controle.

Os resultados obtidos são mostrados na tabela I. Na fig. 14 representou-se o diagrama de velocidade das águas entre seções sucessivas.

Analisando esta última figura, pode-se concluir que o comportamento hidráulico do material na represa até a ponte da Rodovia dos Imigrantes (R₅) é o mesmo, deslocando-se com velocidade praticamente constante em todo o percurso. A velocidade média entre as seções R₂ e R₅ resultou de 500 m/dia.

Já entre as seções R₃ e R₁₃, o comportamento resultou diferente. O tempo de trânsito foi bem maior do que o esperado. Este fato pode ser explicado considerando que uma parte do material entrou no braço do Rio Grande, atingindo até pelo menos a captação da ETA-RG, tendo posteriormente voltado para o corpo principal. Esta hipótese está reforçada pelo fato de ter sido detectada a presença de trítio nas águas bombeadas pela ETA-RG nos meses de fevereiro e março, confirmando que o traçador chegou pelo menos até este local.

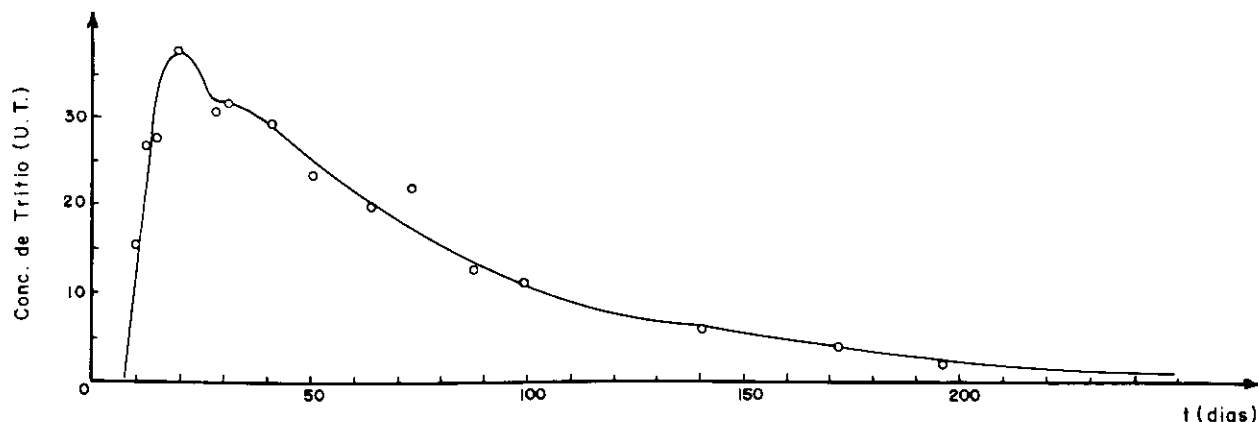


Fig. 12 - Curva de passagem do traçador pela seção R₁₅

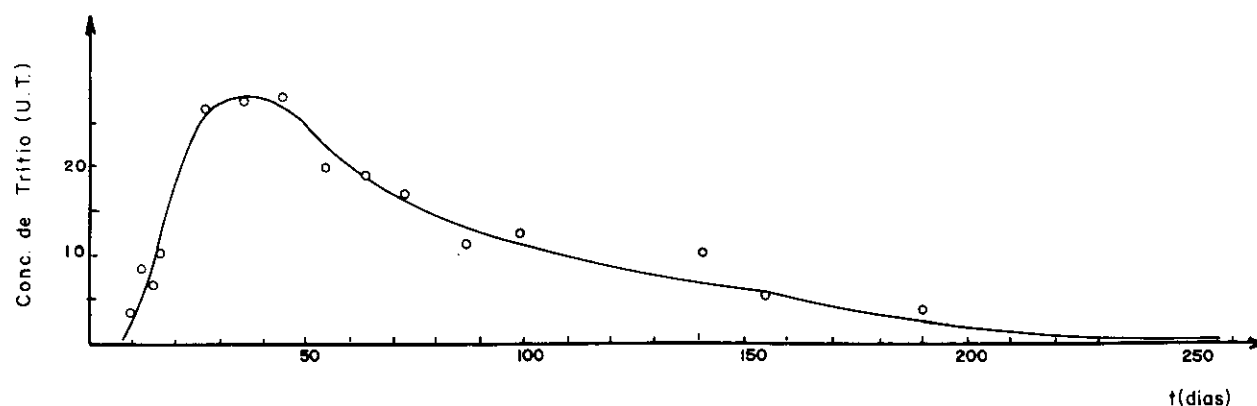


Fig. 13 - Curva de passagem do traçador pela seção R₁₆
(Summit Control)

Este material acabou saindo pelo Summit Control, porém com certo retardo, de acordo com o indicado pelas curvas de passagem do trítio pelas seções R₁₅ e R₁₆ (figuras 12 e 13).

A concentração de trítio detectada na ETA-RG permitiu estimar em aproximadamente 20% a contribuição das águas provenientes do corpo principal da represa no volume total tratado na ETA, no mês de fevereiro de 1975. As análises colimétricas realizadas em amostras de água colhidas no local confirmaram a contribuição de águas poluídas nessa época.

6 — CONCLUSÕES

A utilização de trítio artificial como traçador para a determinação dos tempos de trânsito e permanência das águas de um sistema como o Reservatório Billings, com um volume superior a 1 bilhão de metros cúbicos, tem-se mostrado uma técnica muito satisfatória, especialmente quando associada com o enriqueci-

mento eletrolítico das amostras antes da sua medição.

Embora a quantidade de trítio utilizado não fosse muito elevada, ele foi detectado sem inconvenientes na saída do sistema, depois de ter experimentado grande diluição.

A concentração máxima de trítio nas águas que deixaram o reservatório resultou de algo mais que 30 unidades de trítio, quantidade esta ligeiramente superior à concentração de trítio naturalmente presente nas águas do reservatório na época dos ensaios (23 UT), não representando nenhum risco de contaminação de sistemas hídricos que pudessem ser alimentados por elas.

Utilizando as informações obtidas através dos dois ensaios realizados com radioisótopos, resultou possível interpretar o movimento das águas dentro do Reservatório Billings.

Se as amostras coletadas no segundo ensaio não tivessem sido enriquecidas eletroliticamente antes de sua medição, teriam sido necessários 4000 Ci de trítio para a realização dos ensaios.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Plata, A. et al.: "Tempo de trânsito das águas do rio Juqueri ao longo do braço leste da Represa Pirapora". Publicação IEA n.º 388 — Abril, 1975.
- (2) Garcia Agudo, E. et al.: "Estudo do tempo de trânsito das águas dos rios Tietê e Pinheiros". Publicação IEA n.º 404 — Março, 1976.
- (3) Garcia Agudo, E. et al.: "Tempos de trânsito das águas do rio Paraíba e Jaguari". Relatório CETESB — Tec/Gar — Outubro, 1975.
- (4) Gat, J. R. — "Dynamics of lakes and reservoirs" — Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, Technical Reports Series n.º 91, IAEA, Vienna, 1968.
- (5) Ljunggren, K. — "Review of the use of radioactive tracers for evaluating parameters pertaining to the flow of materials in plant and natural systems" — Radioisotope Tracers in Industry and Geophysics (Proc. Symp. Prague, 1966) IAEA, Vienna, 1967, pág. 203.
- (6) Gilath, C. Stuhl, Z. — "Concentration dynamics in a lake with a water current flowing through it" — Nuclear Techniques in Environmental Pollution (Proc. Symp. Salzburg, 1970), IAEA, Vienna, 1971, pág. 183.
- (7) Menossi, C.A., et al.: "Contaminación radioactiva en la Argentina debida a las explosiones en el Pacifico Sur durante 1974" — Informe CNEA-NT-7/75, 1975.
- (8) D.A.E.E. "Estudo das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Avaliação Preliminar" — Relatório DAEE, junho, 1972.

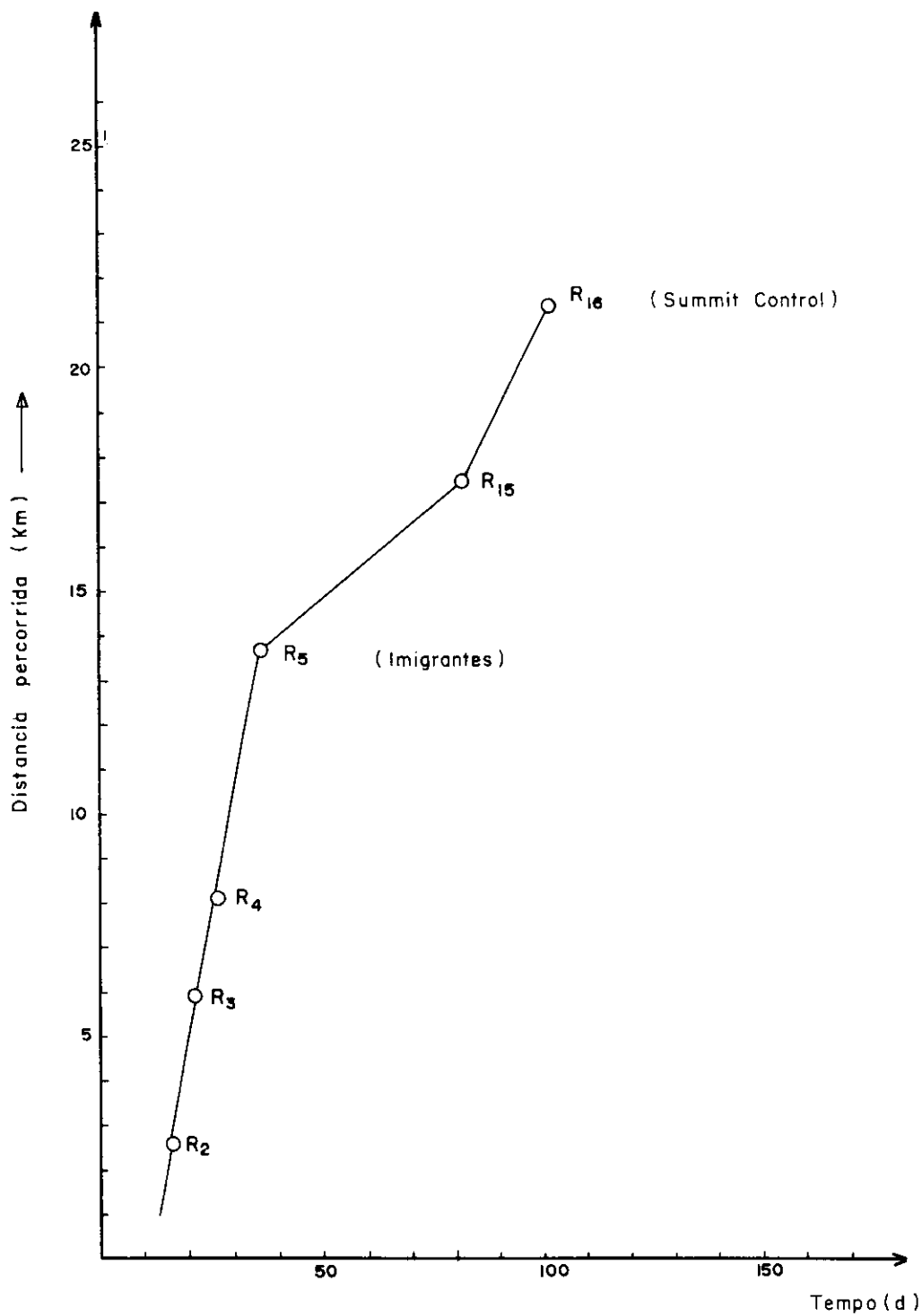


Fig.14 - Diagrama de velocidades das águas da represa Billings.