

**TÉCNICA PARA O ACOMPANHAMENTO E LOCALIZAÇÃO DE
RASPADORES ("SCRAPERS") EM TUBULAÇÕES SUBTERRÂNEAS
PROFUNDAS, UTILIZANDO FONTES ENCAPSULADAS DE ^{24}Na**

*CLAUDIO SZULAK, A. C. CASTAGNET, MOHSEN SAID, TAIZIRO
OHARA e URIEL DUARTE*

PUBLICAÇÃO IEA N.º 331
Abril — 1974

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"
SAO PAULO — BRASIL

**TÉCNICA PARA O ACOMPANHAMENTO E LOCALIZAÇÃO DE
RASPADORES ("SCRAPERS") EM TUBULAÇÕES SUBTERRÂNEAS
PROFUNDAS, UTILIZANDO FONTES ENCAPSULADAS DE ^{24}Na .**

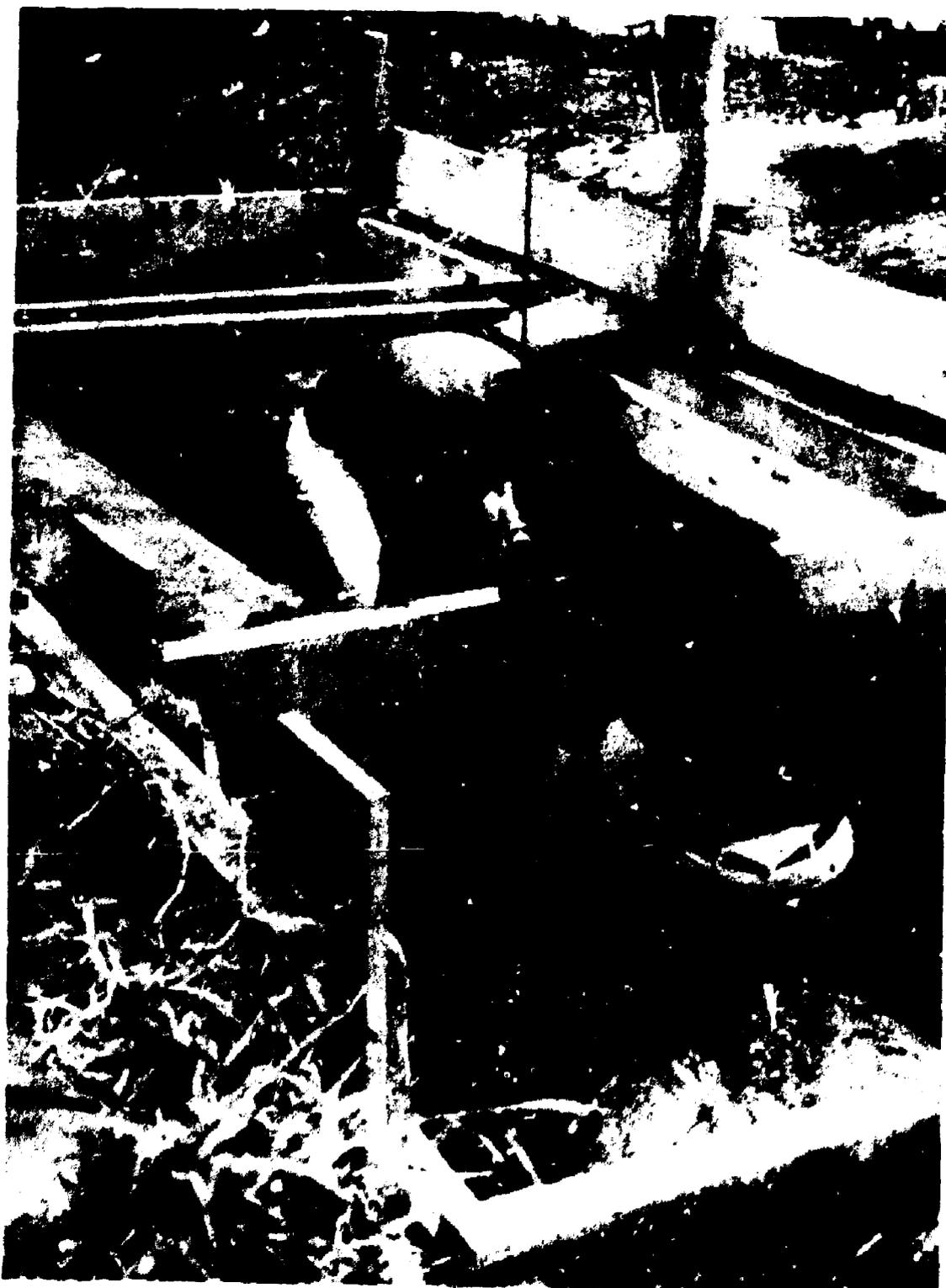
Cláudio Szulak, A. C. Castagnet, Mohsen Said, Taiziro Ohara, Uriel Duarte

**Coordenadoria de Aplicação de Radioisótopos
na Engenharia e na Indústria
Instituto de Energia Atômica
São Paulo - Brasil**

**Publicação IEA Nº 331
Abril - 1974**

ÍNDICE

SEÇÃO	TEMA	Pág.
1.0.0	INTRODUÇÃO	2
1.1.0	OBJETIVOS E FUNDAMENTOS DOS TRABALHOS	2
1.2.0	DESCRIÇÃO GERAL DAS OPERAÇÕES	2
2.0.0	METODOLOGIA	3
2.1.0	ESCOLHA DA FONTE RADIOATIVA	3
2.2.0	CÁLCULO DA ATIVIDADE DA FONTE	3
2.3.0	PROJETO E CONSTRUÇÃO DA FONTE	9
2.4.0	DISPOSITIVO PARA O MANUSEIO E FIXAÇÃO DA FONTE	10
2.5.0	SISTEMA DE DETEÇÃO E REGISTRO	10
2.6.0	PROGRAMA OPERATIVO PARA O ACOMPANHAMENTO	11
2.7.0	LOCALIZAÇÃO DO "SCRAPER"	11
3.0.0	RESULTADOS E CONCLUSÕES	12



Inserção da fonte radioativa no corpo do raspador, ao início dos trabalhos

TÉCNICA PARA O ACOMPANHAMENTO E LOCALIZAÇÃO DE RASPADORES ("SCRAPERS") EM TUBULAÇÕES SUBTERRÂNEAS PROFUNDAS, UTILIZANDO FONTES ENCAPSULADAS DE ^{24}Na .

Cláudio Szulak, A. C. Castagnet, Mohsen Said, Taiziro Ohara, Uriel Duarte

RESUMO

A Coordenadoria de Aplicação de Radioisótopos na Engenharia e na Indústria (C.A.R.E.I.) do Instituto de Energia Atômica de São Paulo (I.E.A.) vem realizando serviços com radiotraçadores para o acompanhamento e eventual localização de raspadores ("scrapers") utilizados na limpeza das principais adutoras da rede de distribuição de água de São Paulo.

As adutoras de água consistem em tubulações de ferro fundido ou concreto com diâmetro em torno de 1 metro, localizadas na maior parte de seu percurso sob ruas pavimentadas, em profundidades variáveis que podem exceder 3 metros.

Os raspadores são do tipo designado comercialmente como "Polly-Pig"; são essencialmente corpos cilíndricos de espuma plástica, recobertos externamente com bandas abrasivas ou com escovas de aço. Os corpos tem um diâmetro que excede levemente o diâmetro interno da tubulação e um comprimento que varia de 1 a 1,5 metros.

A introdução do raspador na linha é efetuada numa secção localizada logo após as válvulas de controle de vazão de estação de recalque; a presença da pressão hidráulica a montante causa o seu posterior deslocamento até a estação receptora situada no final da adutora. Para maior rendimento na limpeza, a velocidade média do Polly-Pig durante este deslocamento deve ser mantida entre 20 e 25 metros por minuto.

A fim de controlar o avanço do raspador e possibilitar sua localização no caso de retenção por uma eventual obstrução, desenvolveu-se e aplicou-se uma técnica baseada na utilização de fontes encapsuladas de ^{24}Na para "marcar" o raspador.

As fontes em questão tinham uma atividade de 2 Ci cada uma. Esta atividade, determinada em função dos fatores que afetam a detecção de uma fonte deslocando-se dentro de um absorvedor de grande espessura, foi obtida por irradiação no reator IEAR-1 de 10 gramas de carbonato de sódio encapsulados num invólucro de aço inoxidável.

Para a colocação da fonte utilizou-se um dispositivo de manipulação, especialmente projetado para reduzir o tempo de operação e consequentemente a dose recebida pelos operadores.

Como sistema de detecção utilizou-se uma sonda com cristal de NaI (Tl) associada a um integrador portátil com registrador gráfico.

O relatório descreve a metodologia, alcances e limitações desta técnica, apresentando ainda os resultados obtidos nos trabalhos efetuados pela C.A.R.E.I. para o acompanhamento de raspadores nas seguintes adutoras de água da Superintendência de Água e Esgotos da Capital (S.A.E.C.):

- a) - Segunda linha de recalque Alto da Boa Vista-Jabaquara; tubulação de concreto com 1200 mm de diâmetro e 6078 metros de comprimento;
- b) - Primeira linha de gravidade Alto da Boa Vista-Jardim Paulista; tubulação de concreto com 1100 mm de diâmetro e 8358 metros de comprimento;
- c) - Primeira linha de gravidade Alto da Boa Vista-Estação elevatória França Pinto; tubulação de ferro fundido com 1000 mm de diâmetro e 5480 metros de comprimento.

Nestes três casos verificou-se um aumento na vazão de 8 a 15%, conforme a adutora, o que indica uma eficiência de limpeza altamente satisfatória.

1.0.0 - INTRODUÇÃO

1.1.0 - OBJETIVOS E FUNDAMENTOS DOS TRABALHOS

As tubulações das adutoras velhas, principalmente as de ferro fundido, apresentam incrustações que levam a uma diminuição da vazão de água destinada ao abastecimento das cidades.

A limpeza de uma adutora é feita atualmente (1973) usando-se um corpo cilíndrico de espuma plástica, chamado comercialmente "Polly-Pig", provido de lixas ou escovas de aço que raspam as paredes da tubulação. Dependendo das incrustações presentes, executa-se uma ou mais passadas do Polly-Pig, obtendo-se assim um decréscimo na espessura das incrustações e conseqüentemente um aumento da seção transversal efetiva da tubulação, o que se traduz num incremento na vazão de água para o mesmo gasto de bombeamento.

O objetivo dos trabalhos foi o de detetar a passagem do Polly-Pig durante essas operações e localizar sua posição no caso de detecção em algum ponto da adutora, em virtude de uma obstrução de qualquer natureza.

O método utilizado teve por base a colocação de uma fonte radioativa no centro do Polly-Pig e a detecção da radiação em pontos localizados na superfície do solo ou em acessos existentes à tubulação, como ventosas, registros, ou inspeções de descarga.

Esta técnica foi aplicada nas seguintes adutoras da Superintendência de Água e esgotos da Capital (S.A.E.C.):

- a) - Segunda linha de recalque Alto da Boa Vista-Jabaquara; tubulação de concreto com 1200 mm de diâmetro e 6078 metros de comprimento;
- b) - Primeira linha de gravidade Alto da Boa Vista-Jardim Paulista; tubulação de concreto com 1100 mm de diâmetro e 8358 metros de comprimento;
- c) - Primeira linha de gravidade Alto da Boa Vista-Estação elevatória França Pinto; tubulação de ferro fundido com 1000 mm de diâmetro e 5480 metros de comprimento.

1.2.0 - DESCRIÇÃO GERAL DAS OPERAÇÕES

O avanço do Polly-Pig pode ser acompanhado continuamente em todo o percurso da adutora, detetando-se na superfície do solo a radiação emitida pela fonte. A profundidade da linha, sendo maior que 2 metros, torna necessário incorporar ao raspador uma fonte com atividade muito elevada o que dificulta a sua manipulação e aumenta a dose recebida pelos operadores. Uma outra possibilidade consiste na utilização de estações de detecção, posicionadas nas ventosas ou em outros acessos diretos à tubulação, que possam existir ao longo da trajetória da adutora. Neste caso a detecção se torna mais fácil embora seja descontínua.

Por esta razão optou-se pela segunda alternativa, isto é, a detecção da passagem do Polly-Pig por estações fixas, determinadas pela existência de ventosas ou descargas e onde o detetor pode ser colocado encostado à parede externa da adutora evitando-se assim a absorção da radiação por parte do solo.

A passagem do Polly-Pig por uma dada estação de medida, traduz-se num incremento de curta duração na intensidade da radiação detetada, gerando-se assim um pico ou máximo no correspondente registro gráfico.

Na prática, por razões de segurança, utilizaram-se simultaneamente três estações detetoras consecutivas. Registrada a passagem do Polly-Pig pela primeira estação, o operador da mesma transmitia por rádio o instante da passagem para as duas estações seguintes e deslocava-se em seguida para a quarta estação. Procedendo analogamente com as demais estações, cobria-se todo o percurso da adutora até a estação terminal de saída do Polly-Pig.

Conhecidos os instantes de passagem do Polly-Pig pelas estações de deteção e as distâncias entre estações, pode-se determinar a velocidade média de trânsito no trecho entre duas estações consecutivas e a velocidade média de trânsito entre a estação inicial e cada estação de deteção.

Caso o Polly-Pig seja retido por qualquer motivo, sua localização se torna fácil e o ponto exato de sua parada pode ser conhecido varrendo-se desde a superfície o trecho em questão com uma sonda detetora, ou aplicando o método descrito na Seção 2.7.0.

2.0.0 - METODOLOGIA

A aplicação da técnica radioisotópica referida anteriormente requereu a execução das seguintes tarefas prévias:

- a) - escolha da fonte radioativa;
- b) - cálculo da atividade mínima necessária para a deteção da radiação;
- c) - projeto e construção da cápsula radioativa;
- d) - projeto e construção do dispositivo de manuseio e colocação da cápsula no Polly-Pig;
- e) - estabelecimento das condições de deteção e registro, conforme estudo da trajetória da tubulação a partir das plantas de localização e da verificação "in situ" de todo o percurso da mesma.

2.1.0 - ESCOLHA DA FONTE RADIOATIVA

O composto a ser ativado devia satisfazer os seguintes requisitos:

- a) - emitir radiação gama de energia adequada para facilitar sua deteção através do solo, na hipótese do Polly-Pig ficar detido em um trecho qualquer da adutora;
- b) - ter uma meia vida compatível com o tempo de trânsito do raspador e relativamente curta para evitar problemas no caso de perda da cápsula dentro da tubulação, por qualquer motivo.

Optou-se pelo sódio-24 ($T_{1/2} = 15$ horas; $E_{\gamma} = 2,76$ e $1,38$ MeV), obtido a partir de seu isótopo estável ^{23}Na na forma de carbonato de sódio NaCO_3 .

Irradiando 10 gramas de NaCO_3 encapsuladas em aço inoxidável durante 8 horas no reator IEAR-1, obtém-se uma atividade de 4,6 Ci de ^{24}Na . Após decaimento de 15 horas dispõe-se de 2,3 Ci como atividade inicial de operação.

2.2.0 - CÁLCULO DA ATIVIDADE DA FONTE

A passagem do Polly-Pig pode ser detetada com certeza, se o pulso ou pico gerado no registro gráfico pela aproximação transitória da fonte ao detetor é discernível de forma inequívoca das flutuações estatísticas da radiação de fundo ou "background", as quais estão sendo registradas simultaneamente. É esta a condição que permite calcular a atividade mínima que deve possuir a fonte incorporada ao Polly-Pig, para possibilitar a execução dos trabalhos.

A amplitude do pulso registrado numa estação detetora, concomitante com a passagem do Polly-Pig marcado, dependerá, dentre outras condições fixadas, dos seguintes parâmetros:

- atividade da fonte radioativa;
- distância fonte-detetor;
- espessura e densidade dos materiais pela radiação em seu caminho até o detetor;
- velocidade de deslocamento do Polly-Pig;
- constante de tempo RC do integrador ("rate-meter").

Para estabelecer a relação entre a amplitude do pulso registrado e os parâmetros acima mencionados, deve-se analisar a resposta do sistema de detecção e registro, frente ao campo de radiação em movimento

A distribuição da intensidade do campo de radiação I (MeV/cm² . s) na superfície do solo, ao longo da trajetória da fonte, pode ser expressa em função da atividade A (Ci) da fonte, da profundidade y_0 (cm) do solo até o eixo da tubulação e da distância x (cm) entre o ponto considerado e a vertical que passa pela fonte. Conforme a Figura 1 e supondo-se uma fonte mono-energética, tem-se:

$$I(x) = \frac{3,7 \cdot 10^{10} \eta h\nu AB}{4\pi d^2} \exp \left[- \left(\frac{\mu_1 \rho_1 \epsilon_1}{\cos \phi} + \frac{\mu_2 \rho_2 \epsilon_2}{\cos \phi} + \frac{\mu_3 \rho_3 \epsilon_3}{\cos \phi} + \frac{\mu_4 \rho_4 \epsilon_4}{\cos \phi} \right) \right] \frac{\text{MeV}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \quad (1)$$

onde:

- η - rendimento de fótons (fótons/desintegração);
- $h\nu$ - energia dos fótons (MeV/fóton)
- B - fator de multiplicação ou "build-up" energético;
- μ_i - coeficiente mássico de atenuação da radiação no material "i" (cm²/g);
- ρ_i - densidade do material "i" (g/cm³);
- ϵ_i - espessura do material "i" (cm).

Denominando

$$G = \frac{3,7 \cdot 10^{10} \eta h\nu}{4\pi} \text{ MeV/Ci} \cdot \text{s}$$

e levando em consideração que

$$d = (y_0^2 + x^2)^{1/2} \text{ cm}$$

a equação (1) transforma-se em:

$$I(x) = \frac{GAB}{y_0^2 + x^2} \exp \left[- \frac{1}{\cos \phi} (\mu_1 \rho_1 \epsilon_1 + \mu_2 \rho_2 \epsilon_2 + \mu_3 \rho_3 \epsilon_3 + \mu_4 \rho_4 \epsilon_4) \right] \text{ MeV/cm}^2 \cdot \text{s} \quad (2)$$

Para a faixa de energias das fontes empregadas como traçadores neste tipo de trabalho, resulta:

$$\mu_1 \cong \mu_2 \cong \mu_3 \cong \mu_4 \cong \bar{\mu} \text{ cm}^2/\text{g}$$

Para $\cos \phi$ emprega-se a expressão:

$$\cos \phi = \left[1 + (x/\gamma_0)^2 \right]^{-1/2}$$

Por substituição de $\bar{\mu}$ e $\cos \phi$ na equação (2), obtém-se:

$$I(x) = \frac{GAB}{\gamma_0^2 + x^2} \exp \left\{ -\bar{\mu} \left[1 + (x/\gamma_0)^2 \right]^{1/2} (\rho_1 \epsilon_1 + \rho_2 \epsilon_2 + \rho_3 \epsilon_3 + \rho_4 \epsilon_4) \right\} \text{ MeV/cm}^2 \cdot \text{s} \quad (3)$$

Considerando-se, ainda, uma densidade média $\bar{\rho}$, de modo que:

$$\gamma_0 \bar{\rho} = \rho_1 \epsilon_1 + \rho_2 \epsilon_2 + \rho_3 \epsilon_3 + \rho_4 \epsilon_4 \quad \text{g/cm}^2$$

ou

$$\bar{\rho} = \frac{1}{\gamma_0} (\rho_1 \epsilon_1 + \rho_2 \epsilon_2 + \rho_3 \epsilon_3 + \rho_4 \epsilon_4) \quad \text{g/cm}^3$$

podemos finalmente escrever a função $I(x)$ na forma

$$I(x) = \frac{GAB}{\gamma_0^2 + x^2} \exp \left\{ -\bar{\mu} \bar{\rho} \gamma_0 \left[1 + (x/\gamma_0)^2 \right]^{1/2} \right\} \text{ MeV/cm}^2 \cdot \text{s} \quad (4)$$

que é a função procurada.

O campo de radiação representado pela equação (4) desloca-se com a mesma velocidade da fonte, isto é, com a velocidade V (cm/s) do Polly-Pig, de modo que a resposta do sistema de medição equivalerá à resposta frente a uma intensidade de radiação que varia em função do tempo.

Supondo-se, por simplicidade, que para $t = 0$ corresponde o instante em que a fonte e o detector estão sobre a mesma vertical, a intensidade de radiação $I(t)$ para um outro instante qualquer pode ser calculada através da equação (4) fazendo-se $x = Vt$. Neste caso a equação (4) adquire a seguinte forma:

$$I(t) = \frac{GAB}{\gamma_0^2 + (Vt)^2} \exp \left\{ -\bar{\mu} \bar{\rho} \gamma_0 \left[1 + (Vt/\gamma_0)^2 \right]^{1/2} \right\} \text{ MeV/cm}^2 \cdot \text{s} \quad (5)$$

A resposta $n(t)$ em cps do registro gráfico será conseqüentemente:

$$n(t) = f \left[I(t), RC \right] \text{ cps} \quad (6)$$

A expressão analítica de $n(t)$ depende da função de entrada $I(t)$ e é bastante simples quando esta função assume formas lineares típicas, tais como as funções degrau, impulso ou

rampa. A função $I(t)$ dada por (5) é relativamente complexa, quando comparada com as mencionadas acima, o que torna a determinação exata de $n(t)$ bastante trabalhosa.

Para os efeitos práticos pode-se substituir $I(t)$ por uma função impulso de amplitude \bar{I} e de duração ΔT adequadas. Neste caso optou-se por uma função impulso com as seguintes características:

$$\Delta T = 2\sigma(t) \quad \text{s} \quad (7)$$

$$\bar{I} \Delta T = 2 \int_0^{\sigma(t)} I(t) \cdot dt \quad \text{MeV/cm}^2 \quad (8)$$

ou

$$\bar{I} = \frac{1}{\sigma(t)} \int_0^{\sigma(t)} I(t) \cdot dt \quad \text{MeV/cm}^2 \cdot \text{s} \quad (9)$$

onde:

$\sigma(t)$ = desvio padrão do tempo em segundos, da distribuição dada pela equação (5).

Por definição, o desvio padrão do tempo é dado pela expressão:

$$\sigma(t) = \left[\frac{\int_0^{\infty} t^2 I(t) \cdot dt}{\int_0^{\infty} I(t) \cdot dt} \right]^{1/2} \quad \text{s} \quad (10)$$

As equações (7) e (8) indicam que a função impulso escolhida tem uma duração equivalente a dois desvios padrões do tempo, da distribuição real de $I(t)$, e uma amplitude constante de modo que a área do pulso retangular em questão é equivalente a área envolvida por $I(t)$ entre $t = -\sigma(t)$ e $t = +\sigma(t)$.

A amplitude e duração do impulso de radiação na entrada do detetor determinam a amplitude do pulso registrado pelo sistema de medição. No equilíbrio, a resposta do sistema é proporcional à intensidade da radiação incidente no detetor. Por outro lado, se no instante t_0 ocorre um acréscimo brusco de amplitude \bar{I} nesta intensidade, a resposta $n(t)$ líquida correspondente será expressa, a partir deste instante, pela função:

$$n(t) = K \bar{I} \left[1 - \exp \left(-\frac{(t_0 - t)}{RC} \right) \right] \quad \text{cps} \quad (11)$$

onde:

K = constante de proporcionalidade que relaciona a intensidade do campo de radiação com as contagens (cps/MeV/cm² · s);

RC = constante de tempo do sistema de medição (s).

Quando $(t - t_0) \gg RC$ ter-se-á $n(t) = K \bar{I}$, valor máximo da função (11). Entretanto, no caso considerado, o valor máximo de $n(t)$ será atingido quando $t - t_0 = 2\sigma(t)$, que é o intervalo de tempo durante o qual o pulso de radiação está presente no detetor.

Substituindo $t - t_0$ por $2\sigma(t)$ na expressão (11) obtém-se:

$$n_{\max} = K\bar{I} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{2\sigma(t)}{RC} \right] \right\} \quad \text{cps} \quad (12)$$

Para que n_{\max} possa ser discriminado, sem dúvida nenhuma, das máximas flutuações estatísticas da radiação de fundo, deve-se cumprir a seguinte relação:

$$n_{\max} > 6 \sigma(n_f) \quad \text{cps} \quad (13)$$

onde:

n_f = taxa de contagem da radiação de fundo (cps);

$\sigma(n_f)$ = desvio padrão de n_f (cps).

A condição imposta na relação (13) pode ser inferida da Figura 2. Na mesma figura observa-se também que o valor máximo $\Delta n = K\bar{I}$ somente seria atingido se a duração do pulso retangular considerado fosse muito maior que a constante de tempo RC.

Sendo RC a constante de tempo do sistema de medição, o desvio padrão da taxa de contagem da radiação de fundo é expresso por:

$$\sigma(n_f) = \left(\frac{n_f}{2RC} \right)^{1/2} \quad \text{cps} \quad (14)$$

A partir das relações (12), (13) e (14) tem-se:

$$\bar{I} > \frac{6 \left(\frac{n_f}{2RC} \right)^{1/2}}{K \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{2\sigma(t)}{RC} \right] \right\}} \quad \text{MeV/cm}^2 \cdot \text{s} \quad (15)$$

e a partir das relações (5) e (9):

$$\bar{I} = \frac{GAB}{\sigma(t)} \int_0^{\sigma(t)} \frac{1}{y_0^2 + (Vt)^2} \exp \left\{ -\bar{\mu}\bar{\rho}y_0 \left[1 + (Vt/y_0)^2 \right]^{1/2} \right\} dt \quad \text{MeV/cm}^2 \cdot \text{s} \quad (16)$$

Comparando-se as relações (15) e (16) e considerando-se apenas a igualdade, a atividade A virá expressa por:

$$A = \frac{6(n_f)^{1/2} \sigma(t)}{(2RC)^{1/2} \cdot K \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{2\sigma(t)}{RC} \right] \right\} \cdot BG \int_0^{\sigma(t)} \frac{1}{y_0^2 + (Vt)^2} \exp \left\{ -\bar{\mu}\bar{\rho}y_0 \left[1 + (Vt/y_0)^2 \right]^{1/2} \right\} dt} \quad \text{Ci} \quad (17)$$

e a partir da relação (10), $\sigma(t)$ é calculado pela equação:

$$\sigma(t) = \frac{\left[\int_0^{\sigma(t)} \frac{t^2}{y_0^2 + (Vt)^2} \exp \left\{ -\bar{\mu}\bar{\rho}y_0 \left[1 + (Vt/y_0)^2 \right]^{1/2} \right\} dt \right]^{1/2}}{\left[\int_0^{\sigma(t)} \frac{1}{y_0^2 + (Vt)^2} \exp \left\{ -\bar{\mu}\bar{\rho}y_0 \left[1 + (Vt/y_0)^2 \right]^{1/2} \right\} dt \right]} \quad \text{s} \quad (18)$$

Da equação (17) é possível se estabelecer uma relação entre $\sigma(t)$ e RC para a qual o valor

da atividade é mínimo e, conseqüentemente, determinar o valor ótimo da constante de tempo a ser utilizada. Para tanto basta determinar o ponto de máxima da função em RC que aparece no denominador da equação (17), expressa por:

$$f(\text{RC}) = (\text{RC})^{1/2} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{2\sigma(t)}{\text{RC}} \right] \right\} \quad (19)$$

Derivando-se a função (19) em relação a RC e tornando nula esta derivada chega-se à expressão:

$$\frac{2\sigma(t)}{\text{RC}} = \frac{1 - \exp \left[-\frac{2\sigma(t)}{\text{RC}} \right]}{2 \exp \left[-\frac{2\sigma(t)}{\text{RC}} \right]} \quad (20)$$

cujas solução é

$$\frac{2\sigma(t)}{\text{RC}} = 1,26 \quad (21)$$

Deste modo, o valor da constante de tempo RC que torna mínima a atividade da fonte a ser utilizada, resulta, então:

$$\text{RC}_{\text{ótimo}} = 1,59 \sigma(t) \text{ s} \quad (22)$$

Finalmente, substituindo-se as expressões (21) e (22) na equação (17), a atividade mínima será dada pela equação:

$$A_{\text{mín}} = \frac{4,7 \left[n_f \sigma(t) \right]^{1/2}}{\text{KGB} \int_0^{\sigma(t)} \frac{1}{y_0^2 + (Vt)^2} \exp \left\{ -\bar{\mu} \cdot \bar{\rho} \cdot y_0 \cdot \left[1 + (Vt/y_0)^2 \right]^{1/2} \right\} dt} \text{ Ci} \quad (23)$$

A constante K deve ser determinada experimentalmente com uma fonte de ^{24}Na com atividade conhecida, utilizando-se o mesmo sistema de medição a ser empregado na prática.

O fator B de multiplicação ou "build up" pode ser obtido, para diferentes materiais, em função do produto $\bar{\mu} \bar{\rho} y_0$, e da energia $h\nu$, através de gráficos ou tabelas.

Para ilustrar a aplicação das equações vistas, suponha-se um caso típico onde:

$$\begin{aligned} V &= 30 \text{ cm/s} \\ \bar{\mu} &= 0,037 \text{ cm}^2/\text{g} \text{ (para a energia } h\nu = 2,76 \text{ MeV do } ^{24}\text{Na)} \\ \bar{\rho} &= 1,2 \text{ g/cm}^3 \\ y_0 &= 250 \text{ cm} \\ n_f &= 25 \text{ cps} \\ \eta &= 1 \end{aligned}$$

Utilizando-se um computador para a solução da equação (18), obtém-se:

$$\sigma(t) = 2,47 \text{ s}$$

$$\int_0^{2,47} \frac{1}{Y_0^2 + (Vt)^2} \exp \left\{ -\bar{\mu}\bar{\rho}Y_0 \left[1 + (Vt/Y_0)^2 \right]^{1/2} \right\} dt = 4,44 \cdot 10^{-10} \text{ s/cm}^2$$

A constante G vale, neste caso ($h\nu = 2,76 \text{ MeV}$):

$$G = \frac{3,7 \cdot 10^{10} \cdot 1 \cdot 2,76}{4\pi} = 0,813 \cdot 10^{10} \text{ MeV/Ci} \cdot \text{s}$$

O fator de "build up" em concreto, para $h\nu = 2,76 \text{ MeV}$ e $\bar{\mu}\bar{\rho}Y_0 = 11,1$, resulta:

$$B \cong 11$$

Portanto, da equação (23):

$$A_{\min} = \frac{4,7(25 \cdot 2,47)^{1/2}}{K \cdot 0,813 \cdot 11 \cdot 4,44} = \frac{0,94}{K} \text{ Ci}$$

Supondo-se uma eficiência de detecção de 30% (cristal de 1"x1" e $h\nu = 2,76 \text{ MeV}$), cada 100 fótons por segundo incidentes sobre o cristal resultariam em 30 cps no registro. Como cada fóton tem uma energia de 2,76 MeV, o total de energia incidente por segundo na superfície $S = 5,1 \text{ cm}^2$ do cristal será (para 100 fótons):

$$E_T = 2,76 \cdot 100 = 276 \text{ MeV/s.}$$

A energia por cm^2 e por segundo resulta então:

$$E_T/S = 276/5,1 = 54 \text{ MeV/cm}^2 \cdot \text{s}$$

Como a taxa de contagem correspondente a esta intensidade de radiação é de 30 cps, a constante K valerá:

$$K = 30/54 = 0,555 \text{ cps/(MeV/cm}^2 \cdot \text{s)}$$

Finalmente a atividade mínima a utilizar neste caso resultaria:

$$A_{\min} = 0,94/0,555 = 1,7 \text{ Ci}$$

2.3.0 - PROJETO E CONSTRUÇÃO DA FONTE

O desenho da cápsula que contém a fonte está representado na Figura 3.

Trata-se de uma cápsula hermética de aço inoxidável, cujas dimensões estão indicadas na figura citada acima. Dentro deste involucro foram introduzidas 10 gramas de NaCO_3 para obter a atividade desejada.

O extremo inferior da cápsula termina em ponte a fim de facilitar sua introdução no corpo de espuma plástica do Polly-Pig. O outro extremo foi selado com uma tampa após a introdução do NaCO_3 . Esta tampa está provida de rebaxos para facilitar a soldagem e também de um furo rosqueado o qual, uma vez atizada a fonte, permite fixar uma peça de acoplamento destinada a permitir o seu manuseio à distância. (Seção 2.4.0).

Após a colocação do carbonato de sódio e soldada à tampa, a cápsula foi imersa num recipiente de vidro contendo parafina fundida durante um intervalo de 5 minutos aproximadamente, para testar sua hermeticidade.

Observando a cápsula dentro do recipiente poder-se-iam notar as bôlhas de ar que surgiriam, no caso de existir um defeito de solda.

2.4.0 - DISPOSITIVO PARA O MANUSEIO E FIXAÇÃO DA FONTE

Após a irradiação a cápsula é colocada, com o extremo cônico para baixo, no centro do recipiente de chumbo, como mostra a Figura 4, ficando apoiada no assento do obturador inferior. Em seguida um outro obturador é colocado por cima (não indicado na figura) completando a blindagem de proteção contra as radiações emitidas pela fonte.

Para a introdução da cápsula no corpo plástico do Polly-Pig, utiliza-se a haste de manuseio da Figura 5, em conjunto com a peça de acoplamento mostrada na Figura 6. Esta peça fica retida no extremo da haste mediante a tração exercida, através do cabo de aço, pela vareta de engate, como está ilustrado na Figura 5.

Para a inserção da fonte retira-se primeiro o obturador superior da blindagem (não mostrado), e rosqueia-se a peça de acoplamento no extremo da cápsula, fazendo com que a haste e a fonte resultem num conjunto rigidamente unido. A posição deste conjunto dentro da blindagem é fixada, temporariamente, mediante o parafuso lateral de fixação da haste.

Em seguida tira-se a barra de detenção que permite a caída do obturador inferior por gravidade. O conjunto blindagem-haste de manuseio é transportado para o setor da tubulação que contém o Polly-Pig e centrado sobre uma tomada aberta na geratriz superior da adutora. A inserção da fonte se realiza introduzindo-se a haste em questão, até a fonte atingir o centro do Polly-Pig, isto é, o eixo da adutora.

A retirada da haste de manuseio e da vareta é efetuada afrouxando-se, primeiramente, o parafuso de fixação lateral e, em seguida, girando levemente esta última até desacoplá-la do cabo de aço.

Terminada esta operação a arruela de engate no extremo do cabo de aço pode ser vista na superfície do Polly-Pig. O acesso fácil à esta arruela permite que no fim dos trabalhos de limpeza da adutora a retirada da fonte do interior do Polly-Pig seja efetuada com rapidez. A Figura 7 mostra a disposição final da cápsula radioativa dentro do corpo do Polly-Pig.

Finalmente, fecha-se a tomada de acesso à tubulação e delimita-se a área de segurança para evitar que, durante o intervalo de tempo que o Polly-Pig permanece no ponto de partida, alguém se exponha a um nível de radiação além do permíssivel. Os operadores dos equipamentos de detecção deslocam-se para as respectivas estações, ficando, ainda, um operador para comunicar à primeira estação o instante de partida do Polly-Pig, constatado através do decréscimo brusco do nível de radiação.

2.5.0 - SISTEMA DE DETECÇÃO E REGISTRO

Em cada uma das estações detetoras escolhidas utilizou-se um sistema composto por

(Figura 8):

- a) sonda detetora constituída por um cintilador com cristal de NaI(Tl);
- b) escalímetro-integrador BASC portátil com analisador monocanal;
- c) registrador gráfico tipo RUSTRAK;
- d) transmissor-receptor MIDLAND.

As condições de detecção foram estabelecidas conforme a trajetória de cada adutora, mediante o estudo das plantas de localização e da verificação "in situ" do percurso e dos acessos à tubulação.

A passagem do Polly-Pig por uma dada estação traduz-se num incremento da radiação incidente sobre o detetor, resultando em consequência, um pico cuja amplitude depende dos fatores mencionados na seção 2.2.0 e cuja largura depende da velocidade de trânsito do Polly-Pig, da velocidade do papel de registro e da constante de tempo do circuito integrador. A Figura 9 mostra esta variação de intensidade de radiação e na forma que é representada pelo registrador gráfico conectado ao sistema detetor.

2.6.0 - PROGRAMA OPERATIVO PARA O ACOMPANHAMENTO

Para o acompanhamento do Polly-Pig foi escolhido um programa de operações baseado no funcionamento simultâneo de três estações de registro consecutivas, cada uma atendida por um operador com um veículo para possibilitar seu deslocamento de uma estação para a outra.

A Figura 10 mostra a sequência de movimentação dos operadores para dez estações de detecção. As linhas verticais do diagrama indicam as estações de detecção enquanto que as outras representam o deslocamento dos operadores.

No decorrer das operações de marcação do Polly-Pig, (inserção da fonte) os três operadores com seus respectivos sistemas de detecção permanecem estacionados no ponto de partida do Polly-Pig, denominado estação 0. Marcado o raspador, os operadores se deslocam para as respectivas estações de detecção, como indicado no diagrama da Figura 10 pelas linhas 0 → 1, 0 → 2 e 0 → 3. O instante de saída do Polly-Pig é comunicado às três estações por um operador que, postado na estação 0, constata o decréscimo do nível de radiação nesta estação.

Uma vez detetada a passagem do Polly-Pig por uma estação, o operador desta comunica o instante de passagem para as demais estações, deslocando-se em seguida para a sua próxima estação. Esta sequência se repete até a chegada do Polly-Pig na estação terminal.

2.7.0 - LOCALIZAÇÃO DO "SCRAPER"

Em casos de detenção do Polly-Pig em algum ponto entre duas estações detecoras em razão de uma obstrução da adutora, ocorre a seguinte alternativa para a localização do "scraper":

- a) percorrer o trecho da adutora e procurar localizá-la a partir da superfície;
- b) efetuar perfurações até a adutora e com um espaçamento adequado, a fim de permitir a introdução do detetor.

A segunda opção somente é utilizada no caso da primeira resultar ineficaz. Neste caso, o espaçamento máximo entre as perfurações é determinado a partir do registro gráfico obtido pela última estação que detetou a passagem do Polly-Pig.

Isto pode ser ilustrado tomando-se por base o pico de passagem do Polly-Pig representado na Figura 11, cujas condições de detecção foram as seguintes:

- a) velocidade média de trânsito do Polly-Pig: 20 m/minuto
- b) constante de tempo (RC) do circuito integrador: 5 segundos
- c) velocidade do papel de registro: 48 polegadas/hora = 2 cm/minuto
- d) contagem de fundo: 3000 cpm = 50 cps.

A largura do pico em questão e que corresponde a uma certa distância percorrida pelo "scraper", pode ser avaliada com maior precisão tomando-se sobre a ordenada situada $3\sigma(n_f)$ acima da linha média de contagem da radiação de fundo.

Sendo

$$\sigma(n_f) = (n_f/2RC)^{1/2} = 2,24 \text{ cps} = 134 \text{ cpm}$$

tem-se

$$3\sigma(n_f) = 3 \times 134 \cong 400 \text{ cpm}$$

Portanto, para a ordenada de 3400 cpm obtém-se a largura do pulso igual a 2,7 cm.

Sendo a velocidade do papel de registro de 2 cm/minuto e conhecida a largura do pulso, o tempo de detecção do Polly-Pig resulta em 1,35 minutos.

Finalmente, conhecida a velocidade média de trânsito e o tempo de detecção a distância percorrida pelo Polly-Pig durante a detecção resulta em 14,8 metros.

Em consequência, as perfurações ao longo da adutora deverão ter um espaçamento máximo de 15 metros para que seja possível a localização do ponto de detenção do Polly-Pig ainda no caso mais desfavorável.

3.0.0 RESULTADOS E CONCLUSÕES

Durante os trabalhos de acompanhamento do "Pig" nas três adutoras citadas neste relatório, elaboraram-se tabelas mostrando as características principais destas operações. Nelas foram lançados os pontos de detecção, tipos das estações de observação (desc = descarga e vent = ventosa), distância entre elas, tempos de percurso e todas as outras grandezas calculadas a partir destas.

A Tabela 1 mostra os dados obtidos durante o acompanhamento do "Pig" na primeira linha de gravidade Alto da Boa Vista-Jardim Paulista. Trata-se de uma tubulação de concreto com 8.368 metros de comprimento e 1,1 metros de diâmetro.

A Tabela 2 refere-se à primeira linha de gravidade Alto da Boa Vista-Estação Elevatória

França Pinto, em uma tubulação de ferro fundido de 5.480 metros de comprimento e 1.0 metro de diâmetro.

As Tabelas 3 e 4 referem-se à segunda linha de recalque Alto da Boa Vista-Jabaquara, em uma tubulação de concreto de 6.078 metros de comprimento e 1,2 metros de diâmetro.

Os resultados obtidos foram plenamente satisfatórios, quer no que se refere à limpeza da tubulação como também na parte da operação do acompanhamento do "Polly-Pig" durante o seu percurso.

Quanto à limpeza, analisando-se por meio da tabela 5 e Figura 12 (tirados da revista D.A.E. ano XXXIII número 91 de setembro de 1973) os dados correspondentes a linha Alto da Boa Vista-Jabaquara, após a primeira passagem do Pig e após a sua segunda passagem, pode-se apreciar que o esforço despendido neste tipo de operação foi recompensado pelos resultados obtidos, os quais revelam um acréscimo real da vazão de 4,4% na primeira e de 11,5% na segunda passagem. O mesmo se deu com relação às outras duas linhas em que foram realizados os ensaios, sendo que os aumentos de vazão foram equivalentes à comentada.

Um dos aspectos mais importantes na execução deste serviço estava relacionado com a velocidade do corpo dentro da tubulação. Para se obter resultados satisfatórios era necessário que a velocidade se mantivesse constante dentro de certos limites, no intuito de que a raspagem das incrustações tivesse um ótimo rendimento.

Estes limites constam das normas fornecidas pela firma fabricante do Polly-Pig, sendo que no caso de tubulações de concreto de 1 metro de diâmetro eles são de 20 a 25 metros por minuto.

Como pode ser notado nas figuras 13, 14, 15 e 16, (obtidas respectivamente das tabelas 1, 2, 3 e 4), que representam as velocidades médias parciais e totais com relação à distância percorrida, estas velocidades após certo percurso puderam ser mantidas dentro dos padrões de especificação em virtude do pronto estabelecimento das velocidades reais em cada trecho. A velocidade era regulada pela vazão e pressão da água à montante do Polly-Pig, as quais foram controladas por operadores que recebiam, pelo rádio, informações da velocidade obtida em cada trecho.

Durante o serviço não foi notada a paralização do corpo raspador por causa de incrustações.

Em alguns trechos próximos às descargas, era feita a limpeza da linha até que a água se tornasse límpida. Nestes casos o Pig permanecia detido até o fechamento da descarga.

Um dos fatores mais importantes que influíram no bom rendimento deste trabalho, e que merece ser destacado, foi o perfeito entrosamento entre equipes de campo da SAEC e do IEA.

A coordenação das tarefas esteve a cargo dos técnicos da SAEC, que além de tudo tiveram a iniciativa de propor a realização deste tipo de aplicação de radioisótopos até então não cogitada no nosso meio, embora já utilizadas em outros países com idênticos ou similares objetivos.

ABSTRACT

The "Coordenadoria de Aplicação de Radionúcleos na Engenharia e na Indústria" (CAREI) of the Atomic Energy Institute of São Paulo, (Brazil), is performing radiotracer services for both tracking and eventual localization of the scrapers used to clean certain principal pipe line sections of the São Paulo water distribution network.

The sections consist of iron or concrete ducts having approximately 1 meter in diameter. Most part of the pipe lines are under paved streets, at variable depths that can reach more than 3 meters.

The scrapers are of the type commercially designated as "Polly-Pig". They are essentially foam plastic bodies of cylindrical shape, externally covered with abrasive bands. The "Polly-Pig" diameter exceeds slightly the internal diameter of the pipe, and its length varies from 1 to 1,5 meters.

The scraper is introduced in the pipe at the water pumping station, in a section located just after the flow rate control valves, from where it is impelled by hydraulic pressure up to the terminal station.

For a higher cleanness efficiency, the average velocity of the "Polly-Pig" must be maintained between 20 to 25 m/min.

In order to control the scraper motion and to make possible its localization in the case of its retention by an eventual obstruction, a technique based on the use of a ^{24}Na sealed source for tracing the "Polly-Pig", was developed and applied.

The sources used had an activity of 2 Ci each, which was calculated as a function of the factors affecting the detection of a moving source through a thick absorber. This activity was obtained by irradiating 10 grams of sodium carbonate, sealed in a stainless steel tube.

In order to introduce the source in the scraper, a manipulation device was especially designed to reduce the operation time, and consequently, the radiation dose received by operators.

The detection system consisted of a NaI(Tl) scintillation probe associated to a portable rate-meter and a graphical recorder.

This report describes the methodology, scope and limitations of the employed technique and also gives the results obtained by the "CAREI" from actual application in ~~the following~~ ^{some} water lines.

- a) - Second pumping line "Alto da Boa Vista - Jabaquara"; a concrete pipe having 1200 mm in diameter and 6078 meters in length;
- b) - First gravity line "Alto da Boa Vista - Jardim Paulista"; a concrete pipe having 1100 mm in diameter and 8358 meters in length;
- c) - First gravity line "Alto da Boa Vista - Estação elevatória França Pinto"; a cast iron pipe having 1000 mm in diameter and 5480 meters in length.

In the three above mentioned cases, the flow rate increase attained varied from 8 to 15% according to the duct in question, which indicates a satisfactory cleanness efficiency.

RÉSUMÉ

La "Coordenadoria de Aplicação de Radionúcleos na Engenharia e na Indústria" (CAREI) de l' "Instituto de Energia Atômica de São Paulo" (IEA), a réalisé des travaux avec des radiotraceurs pour l'accompagnement et la localisation éventuelle de racloirs ("scrapers"), utilisés dans le nettoyage des adducteurs principaux de l'ensemble de distribution d'eau de São Paulo.

Les adducteurs d'eau sont de ciment ou de fer fondu ayant un diamètre d'environ un mètre et sont localisés dans la plus grande partie de leur parcours sous des rues pavées, à une profondeur variable qui peut atteindre 3 mètres ou plus.

Les racloirs sont du type connu commercialement sous le nom de "Polly-Pig". Ce sont essentiellement des corps d'écume plastique de forme cylindrique, recouverts extérieurement par des bandes abrasives ou par des brosses d'acier. Ces corps ont un diamètre qui excède légèrement le diamètre interne du tube et une longueur qui varie de 1 à 1,5 mètres.

L'introduction du racloir dans la ligne est effectuée dans une section localisée tout de suite après les soupapes de contrôle de vidange d'où il se déplace par pression hydraulique jusqu'à la station finale.

Afin d'obtenir une efficacité de nettoyage plus grande, la vitesse du "Polly-Pig" doit être maintenue entre 20 et 25 mètres par minute.

Pour contrôler le mouvement du racloir et faciliter sa localisation, dans le cas où il est retenu par une obstruction éventuelle, la technique développée et appliquée a été l'utilisation comme traceur d'une source de ^{24}Na scellée.

Les sources utilisées avaient une activité de 2 Ci chacune. Cette activité, calculée en fonction des facteurs qui affectent la détection d'une source se déplaçant dans un absorbant de grande épaisseur, a été obtenue en irradiant 10 grammes de carbonate de soude scellés dans un tube d'acier inoxydable.

Afin de placer la source, on a utilisé un dispositif de manipulation, spécialement conçu pour réduire le temps d'opération et conséquemment la dose de radiation reçue par les opérateurs.

Le système de détection a été composé d'un cristal de scintillation $\text{NaI}(\text{Tl})$ associé à un intégrateur portatif et à un enregistreur graphique.

Ce rapport décrit la méthode, le but et les limitations de la technique employée et présente aussi les résultats obtenus par la "CAREI" dans les adducteurs suivants:

- a) - Seconde ligne de pompage "Alto da Boa Vista - Jabaquara"; un adducteur de ciment de 1200 mm de diamètre et 6078 mètres de longueur;
- b) - Première ligne de gravité "Alto da Boa Vista - Jardim Paulista"; un adducteur de 1100 mm de diamètre et 8358 mètres de longueur;
- c) - Première ligne de gravité "Alto da Boa Vista - Estação elevatória França Pinto"; un adducteur de 1000 mm de diamètre et 5480 mètres de longueur.

Dans les trois cas mentionnés ci-dessus, l'augmentation de vidange obtenue a varié entre 8 et 15% dépendant de l'adducteur en question, indiquant une efficacité de nettoyage satisfaisante.

TABELA 1

**Linha de Gravidade Alto da Boa Vista - Jardim Paulista
(ϕ 1100 m/m - Concreto)**

ESTAÇÃO		OPERADOR	COMPRIMENTO (m)		HORA DE CHEGADA	TEMPO DE PERCURSO (min)		VELOCIDADE MÉDIA (m/s)	
Nº	TIPO		PARCIAL	ACUMULADO		PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	TOTAL
01	desc.	—	—	—	12 : 48	—	—	—	—
02	vent.	A	536	536	12 : 58	10	10	0,89	0,89
03	desc.	B	544	1080	13 : 03	5	15	1,81	1,20
04	vent.	C	307	1387	13 : 08	5	20	1,02	1,16
05	vent.	A	1683	3070	14 : 29	81	101	0,35	0,51
06	vent.	B	604	3674	14 : 42	13	114	0,77	0,54
07	desc.	C	666	4340	14 : 52	10	124	1,11	0,58
08	vent.	A	453	4793	15 : 10	18	142	0,42	0,56
09	vent.	B	402	5195	15 : 17	7	149	0,26	0,58
10	desc.	C	774	5969	15 : 32	15	164	0,86	0,61
11	vent. c/tampa esg	A	369	6338	15 : 45	13	177	0,47	0,60
12	vent.	B	600	6938	16 : 00	15	192	0,67	0,60
13	vent.	C	274	7212	16 : 05	5	197	0,91	0,61
14	Deriv. p/linha 500	A	282	7494	16 : 11	6	203	0,78	0,62
15	vale	—	865	8359	16 : 52	41	244	0,35	0,57

TABELA 2

**Linha de Gravidade Alto da Boa Vista - Estação Elevatória - França Pinto.
(ϕ 1000 m/m - Ferro fundido)**

ESTAÇÃO		OPERADOR	COMPRIMENTO (m)		HORA DE CHEGADA	TEMPO DE PERCURSO (min)		VELOCIDADE MÉDIA (m/s)	
Nº	TIPO		PARCIAL	ACUMULADO		PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	TOTAL
01	desc.	-	-	-	12 : 07	-	-	-	-
02	vent.	A	305	305	12 : 40	33	33	0,15	0,15
03	vent.	B	613	918	12 : 48	8	41	1,28	0,37
04	vent.	C	357	1275	12 : 58	10	51	0,60	0,42
05	vent.	A	886	2161	13 : 20	22	73	0,67	0,49
06	vent.	B	515	2676	13 : 33	13	86	0,66	0,52
07	desc.	C	1704	4380	14 : 56	83	169	0,34	0,43
08	vale	-	1100	5480	15 : 10	14	183	1,31	0,50

TABELA 3

Linha de Recalque Alto da Boa Vista - Jabaquara (1ª Passagem)
 (φ 1200 m/m - concreto)

ESTAÇÃO		OPERADOR	COMPRIMENTO (m)		HORA DE CHEGADA	TEMPO DE PERCURSO (min)		VELOCIDADE MÉDIA (m/s)	
Nº	TIPO		PARCIAL	ACUMULADO		PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	TOTAL
01	desc.	—	—	—	13 : 01	—	—	—	—
02	vent.	A	465	465	13 : 26	25	25	0,31	0,31
03	desc.	B	233	698	13 : 33	07	32	0,55	0,36
04	vent.	C	119	817	13 : 47	14	46	0,14	0,30
05	desc.	A	444	1261	15 : 33	106	152	0,07	0,14
06	vent.	B	597	1858	15 : 58	25	177	0,40	0,18
07	vent.	C	762	2620	16 : 22	24	201	0,53	0,22
08	vent.	A	1015	3635	16 : 57	35	236	0,48	0,26
09	vent.	B	257	3892	17 : 07	10	246	0,43	0,26
10	vent.	C	293	4185	17 : 19	12	258	0,41	0,27
11	desc.	A	464	4649	17 : 53	34	292	0,23	0,27
12	vala	—	1069	5708	19 : 30	97	389	0,18	0,24

TABELA 4

Linha de Recalque Alto da Boa Vista - Jabaquara (2ª Passagem)
(ϕ 1200 m/m - concreto)

ESTAÇÃO		OPERADOR	COMPRIMENTO (m)		HORA DE CHEGADA	TEMPO DE PERCURSO (min)		VELOCIDADE MÉDIA (m/s)	
Nº	TIPO		PARCIAL	ACUMULADO		PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	TOTAL
01	vale	-	-	-	10 : 02	-	-	-	-
02	desc.	A	370	370	10 : 12	10	10	0,62	0,62
03	vent.	B	465	835	10 : 38	26	36	0,30	0,54
04	desc.	C	233	1068	10 : 43	05	41	0,78	0,43
05	vent.	A	119	1187	10 : 51	08	49	0,25	0,40
06	desc.	B	444	1631	10 : 56	05	54	1,48	0,50
07	vent.	C	597	2228	11 : 51	55	109	0,18	0,34
08	vent.	A	762	2990	12 : 24	33	142	0,38	0,35
09	TAP	B	1015	4005	13 : 27	63	205	0,27	0,32
10	vent.	C	257	4262	13 : 38	11	216	0,39	0,33
11	vent.	A	293	4555	13 : 51	13	229	0,38	0,33
12	desc	B	464	5019	14 : 05	14	243	0,55	0,34
13	cheg	-	1059	6978	15 : 35	90	333	0,20	0,30

TABELA 5

**Resultados obtidos com duas operações de limpeza pelo
processo Polly-Pig: Linha Alto da Boa Vista - Jabaquara
φ 1200 mm: Idade: tubulação: 12 anos**

Características/Fases	Vazão (m³/s)	Coefficiente H&W (C)	Acréscimo de Vazão (%)*	Acréscimo do coefic. C H&W (%)**
Antes do Polly-pig	1,13	109	—	—
Primeira limpeza	1,18	118	4,4	8,3
Segunda limpeza	1,26	127	11,5	16,5

* Acréscimo em relação à vazão inicial.

** Acréscimo em relação ao C inicial.

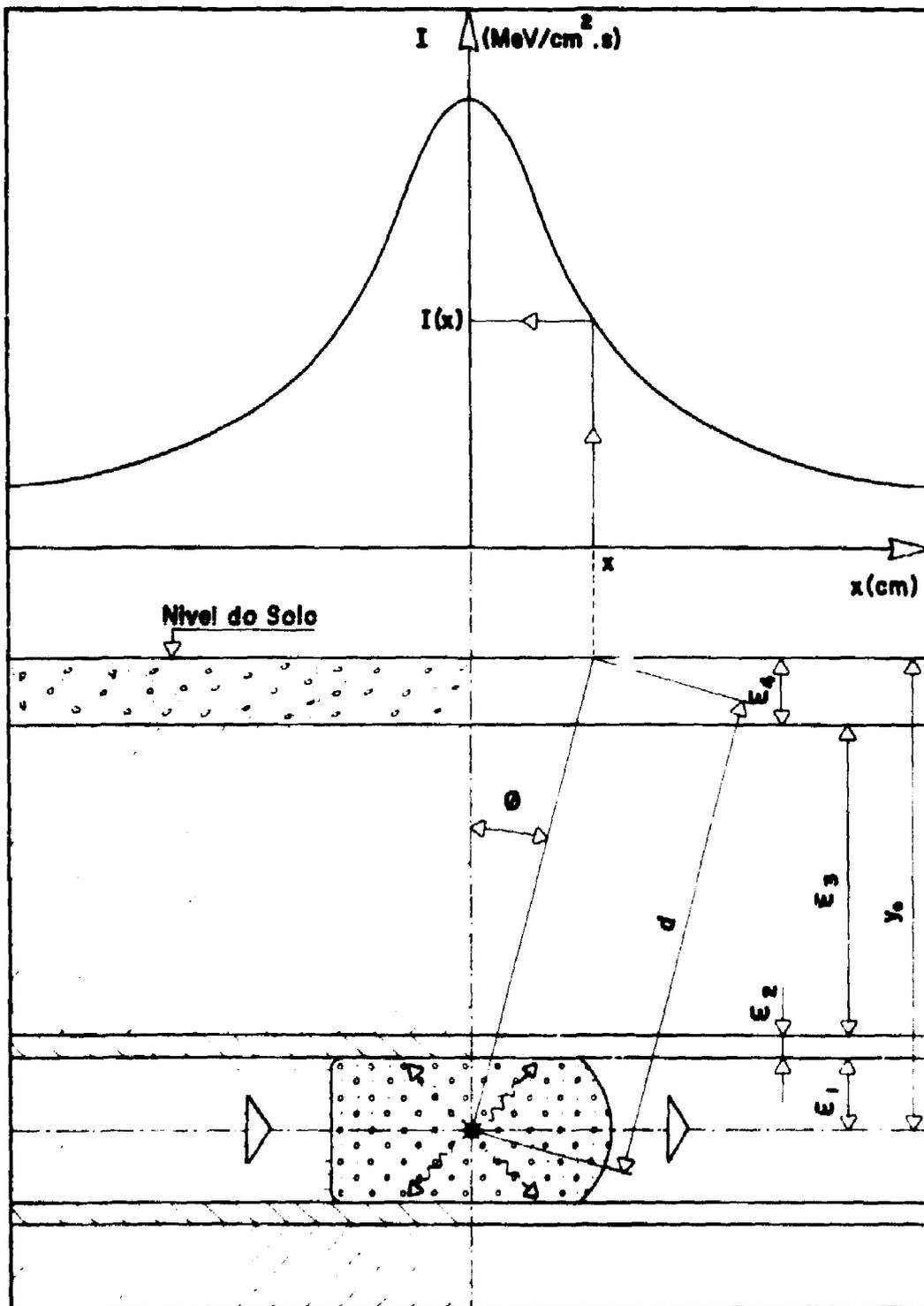


Figura 1. Geometria para estudar a distribuição da intensidade I de radiação na superfície do solo.

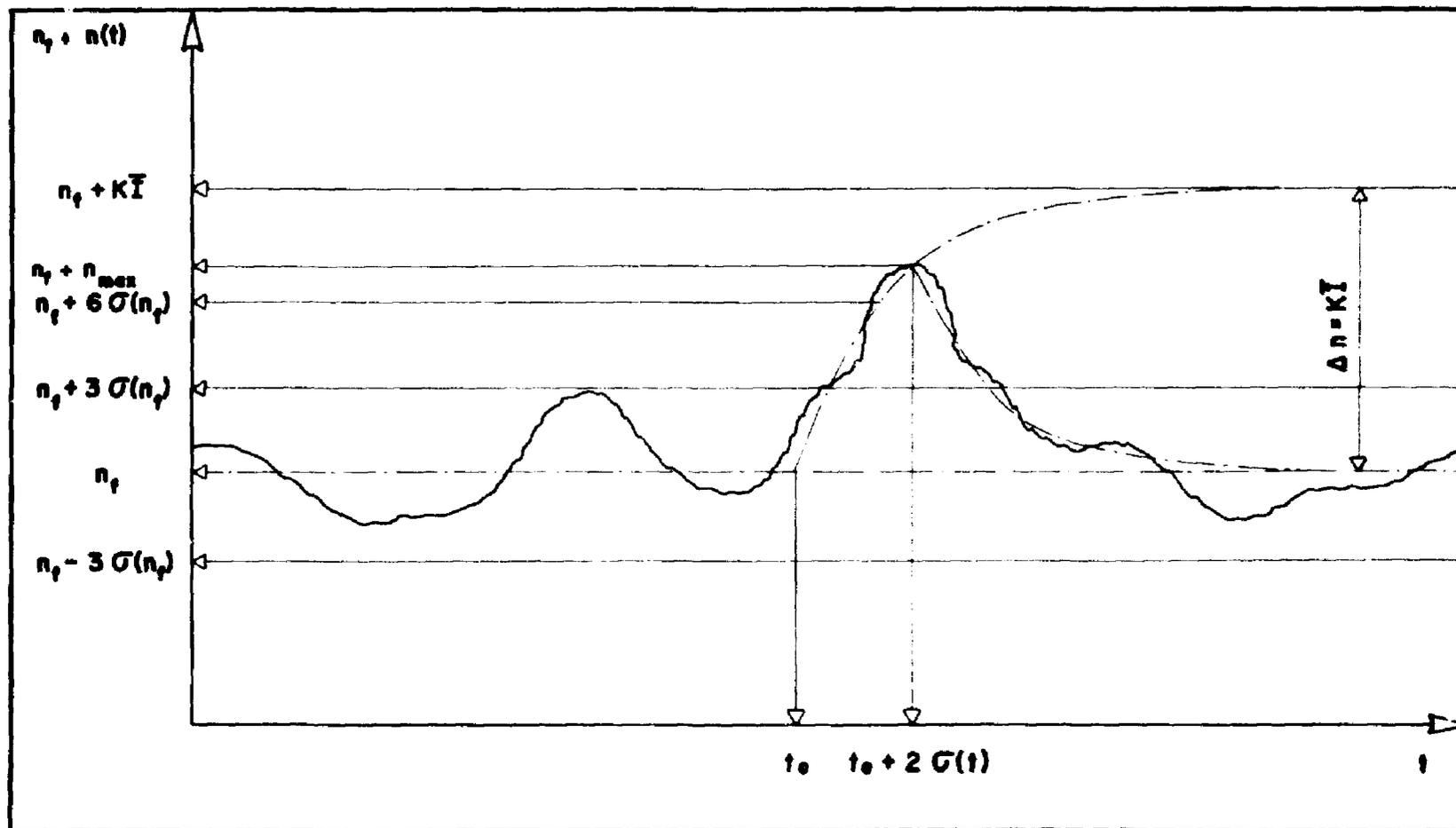


Figura 2. Registro gráfico da radiação de fundo e da variação ante um pulso retangular de amplitude \bar{I} e duração $2G(t)$.

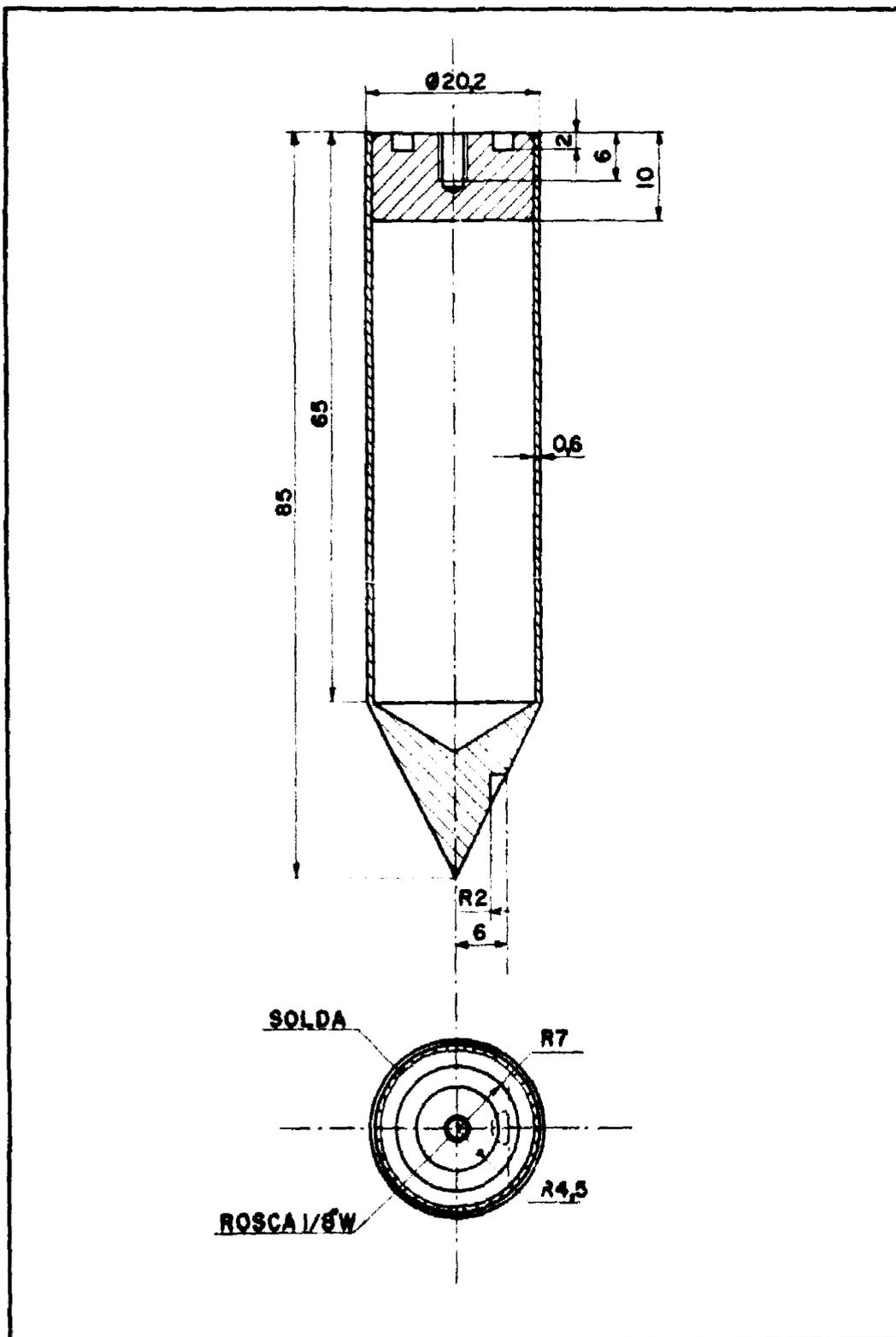


Figura 3. Cápsula para a fonte de ^{24}Na

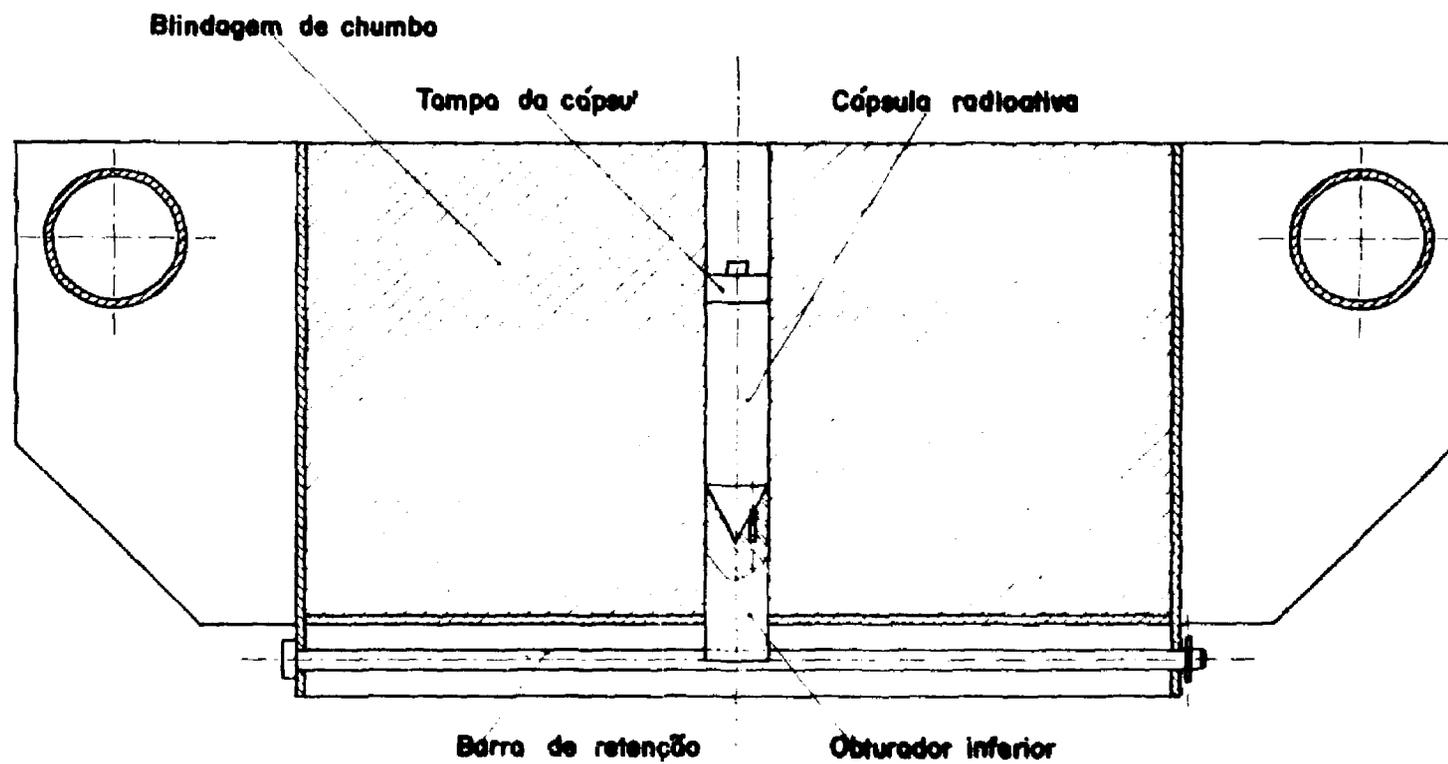


Figura 4 Recipiente de chumbo para o transporte e manuseio da cápsula radioativa

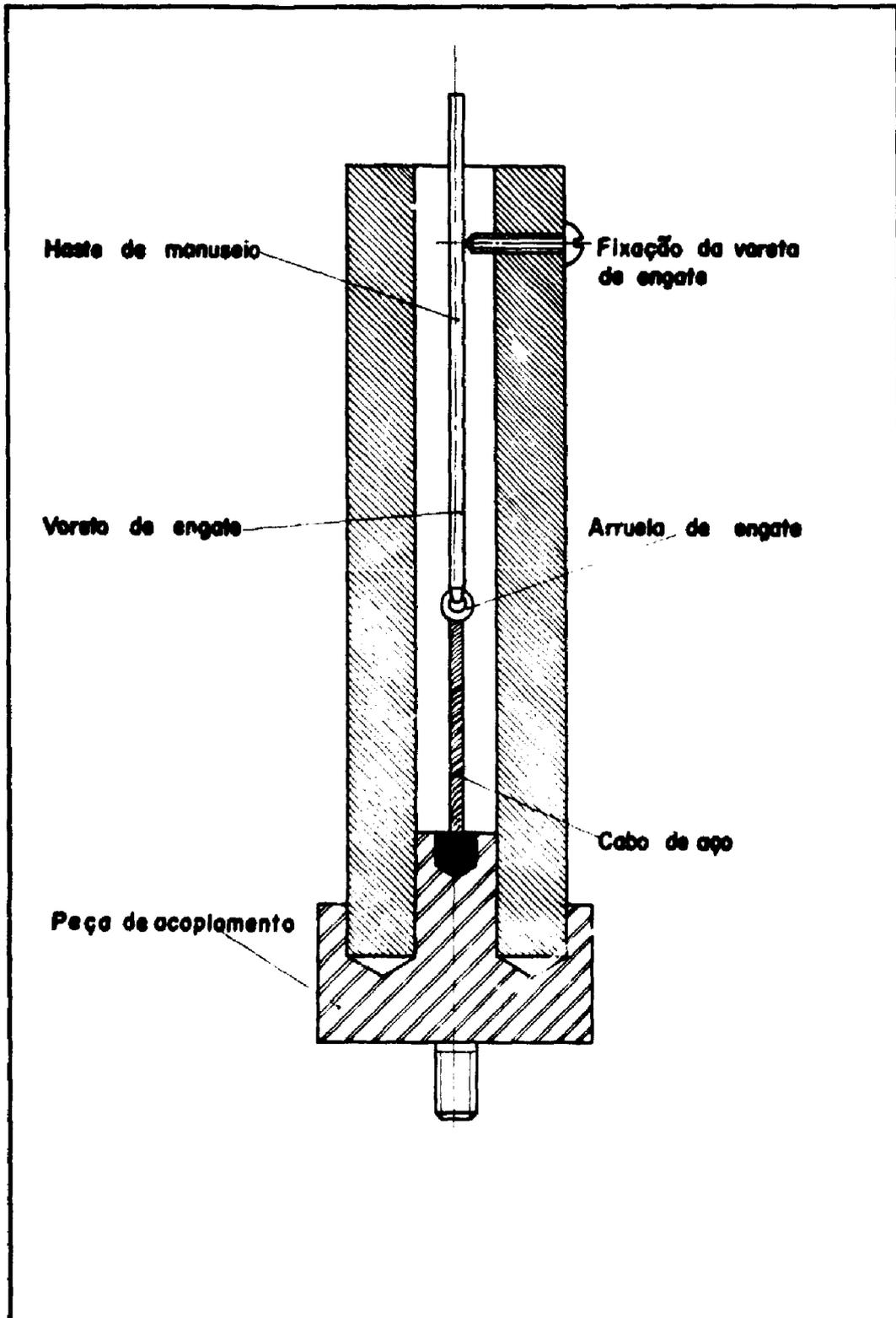


Figura 5 Haste de manuseio e peça de acoplamento

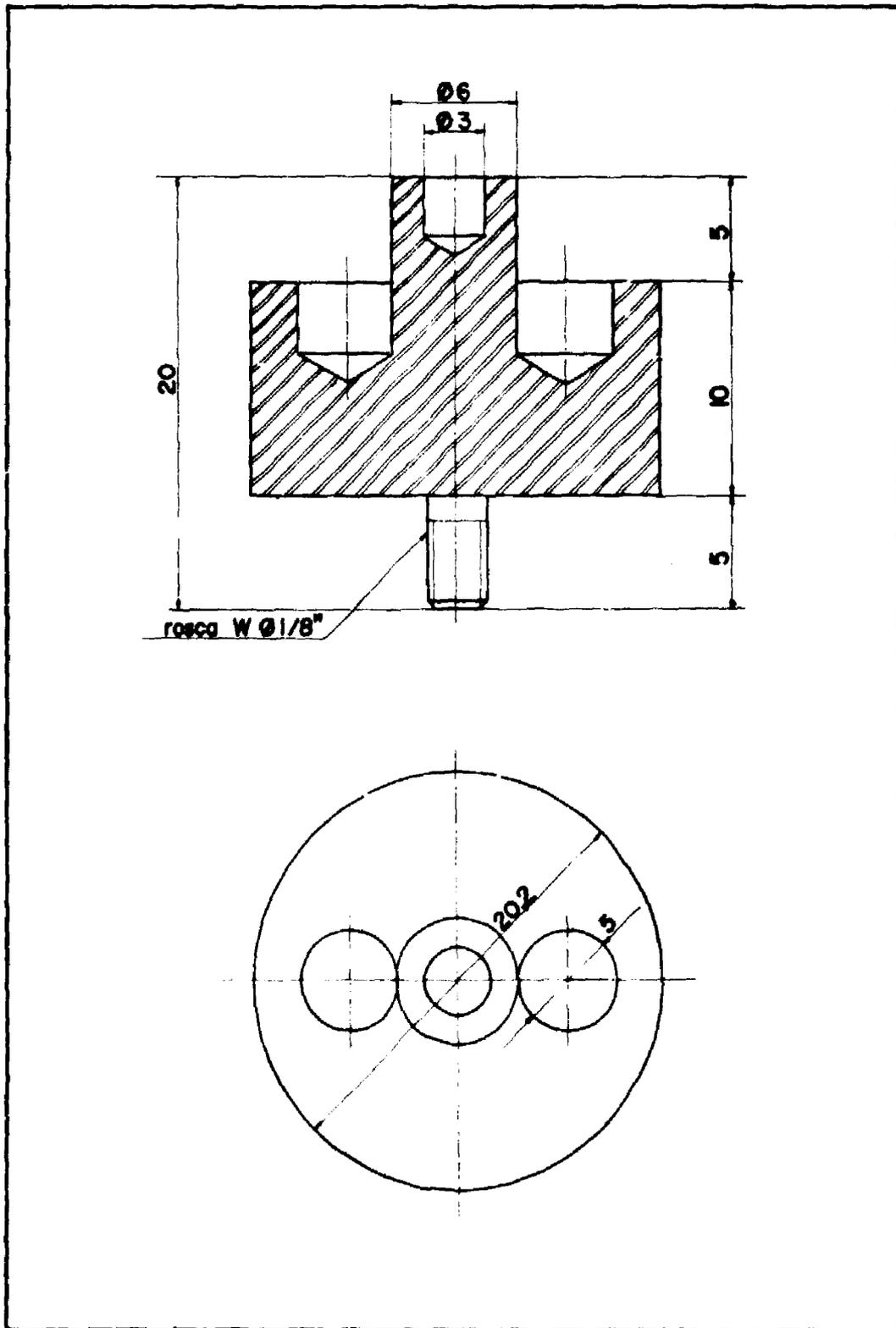


Figura 6 Detalhe da peça de acoplamento.

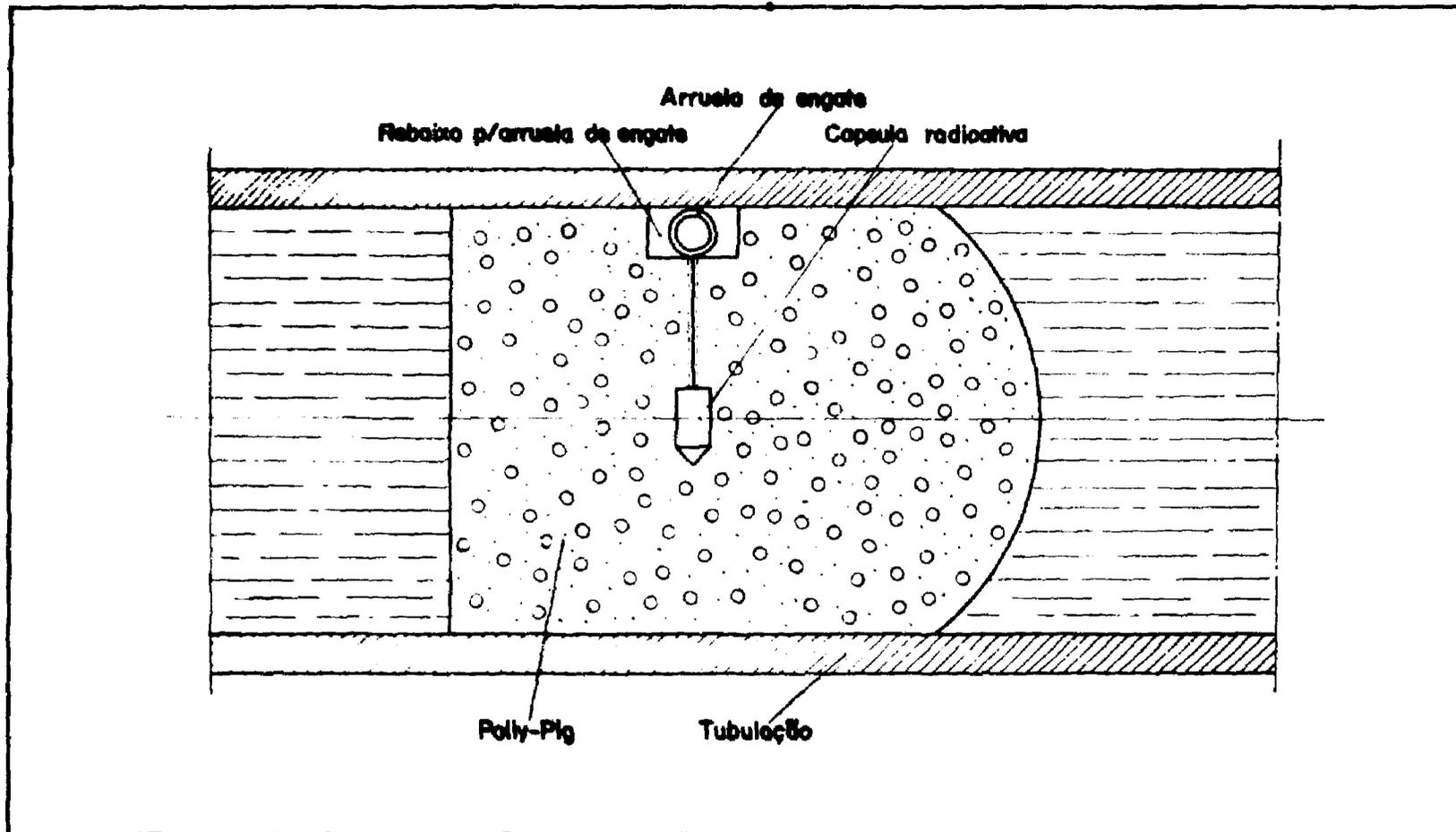


Figura 7 Disposição final da capela radioativa dentro do polly-pig.



Figura 8 – Sistema de medição empregado para detetar a passagem do "Polly-pig".

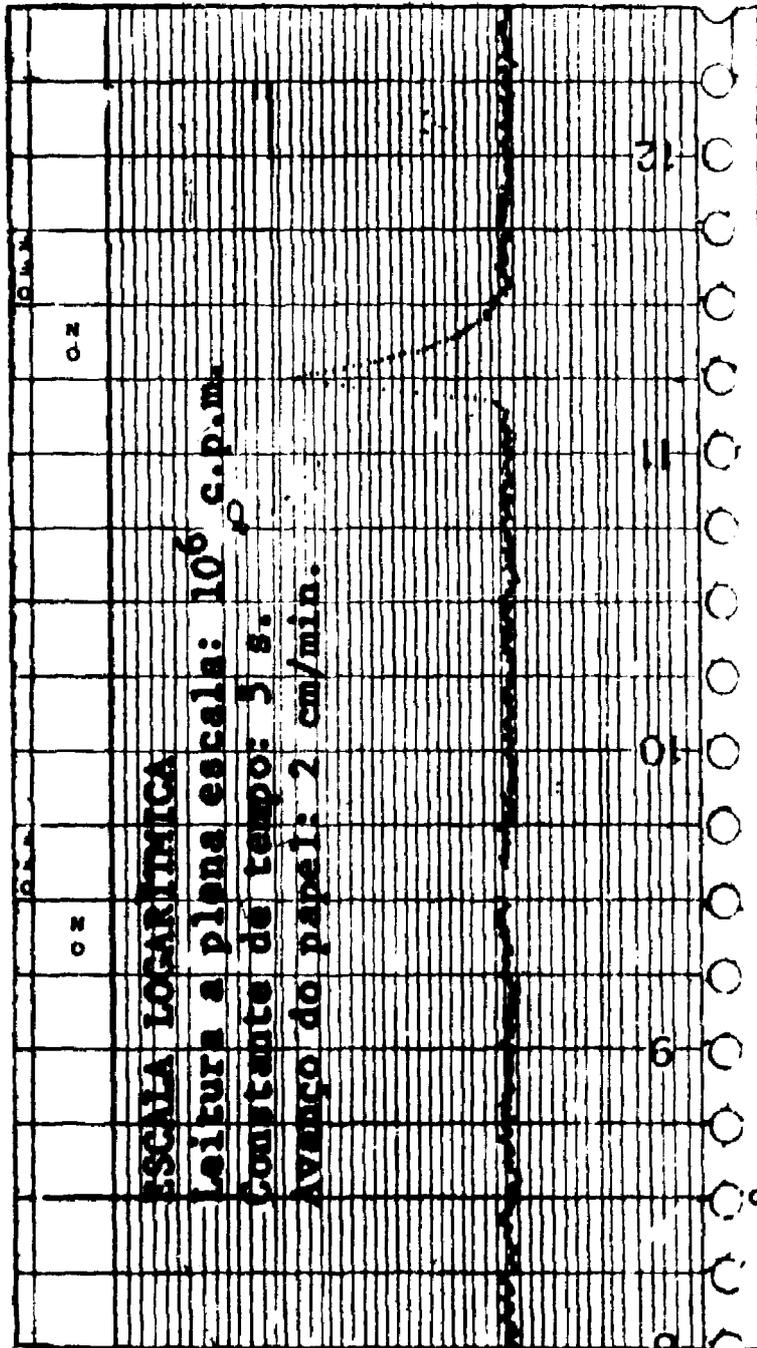


Fig. 9 - Pulso registrado durante a passagem do Polly-pig

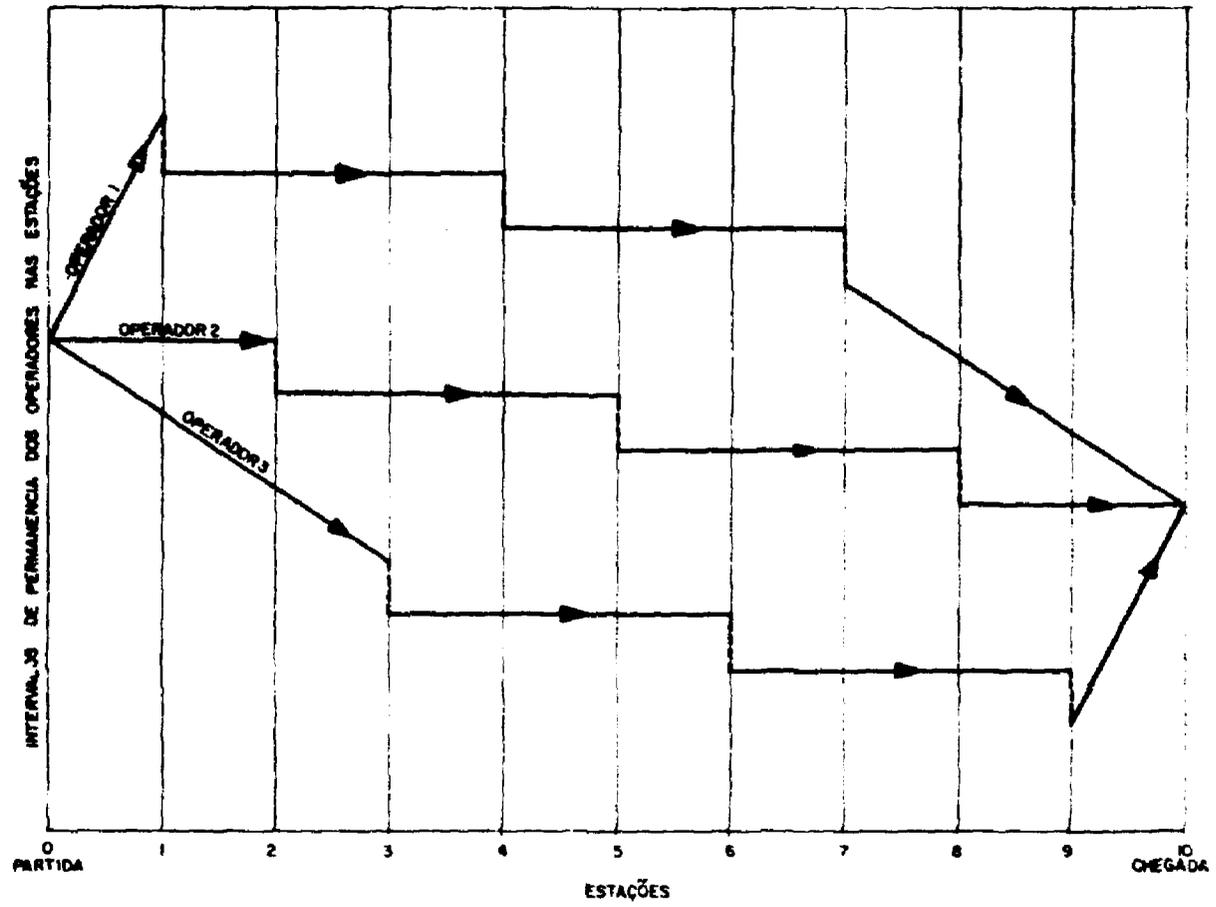


Fig. 10 SEQUENCIA DE MOVIMENTAÇÃO DOS OPERADORES ENTRE AS ESTAÇÕES DE DETECÇÃO

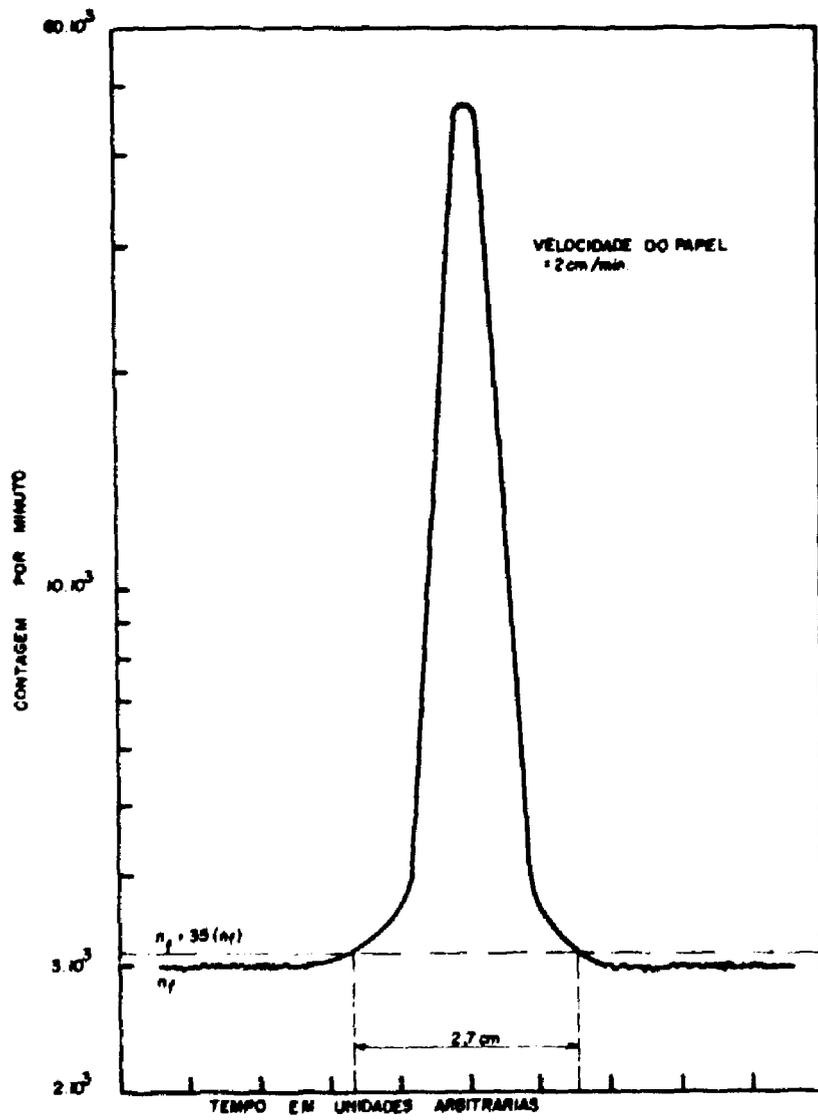


Fig 11 PULSO UTILIZADO PARA CALCULAR A DISTANCIA PERCORRIDA PELA FONTE DURANTE A DETEÇÃO DE SUA PASSAGEM.

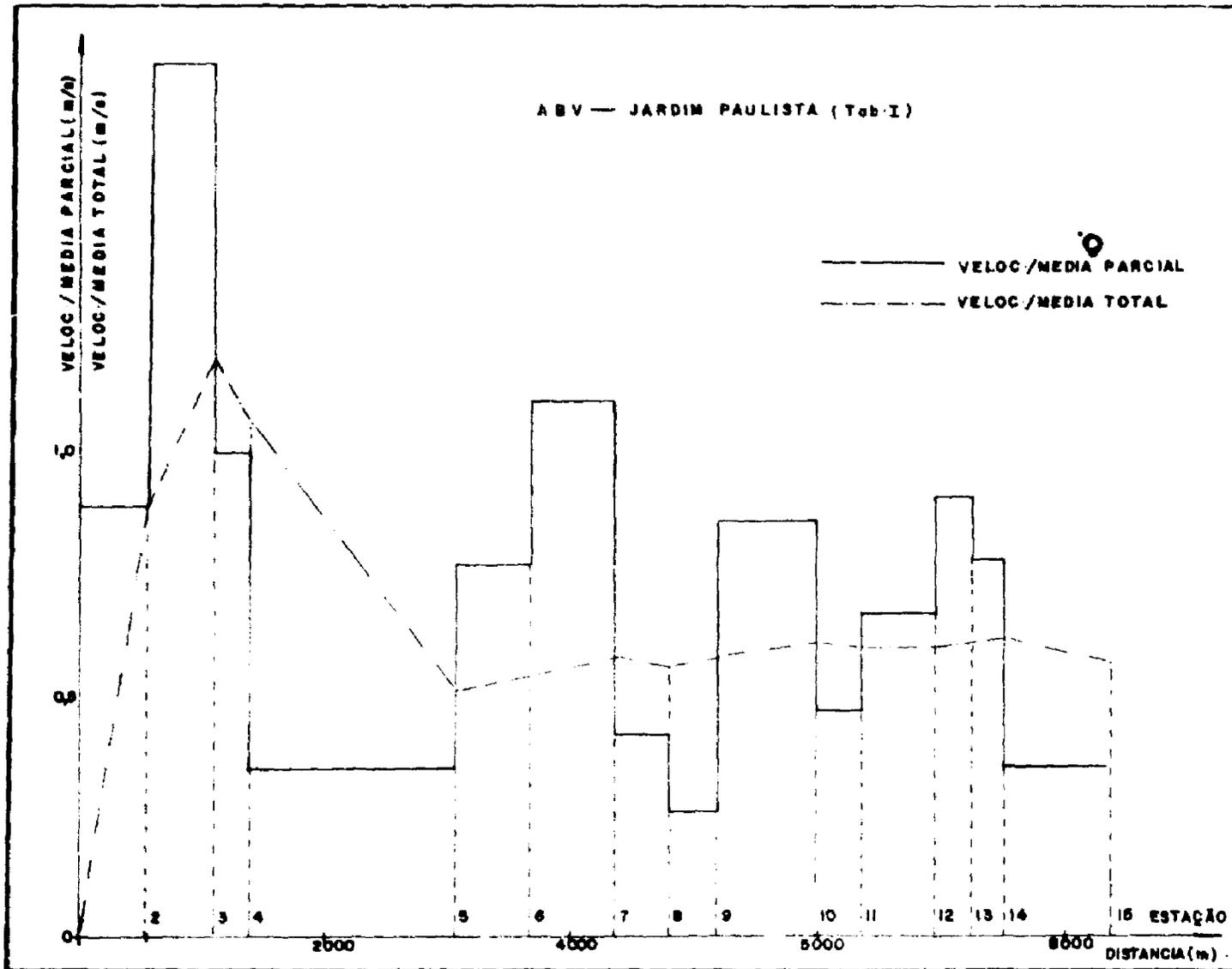


Figura 13 Velocidades médias parciais e totais do "Polly-pig" no percurso da primeira linha de gravidade Alto da Boa Vista-Jardim Paulista.

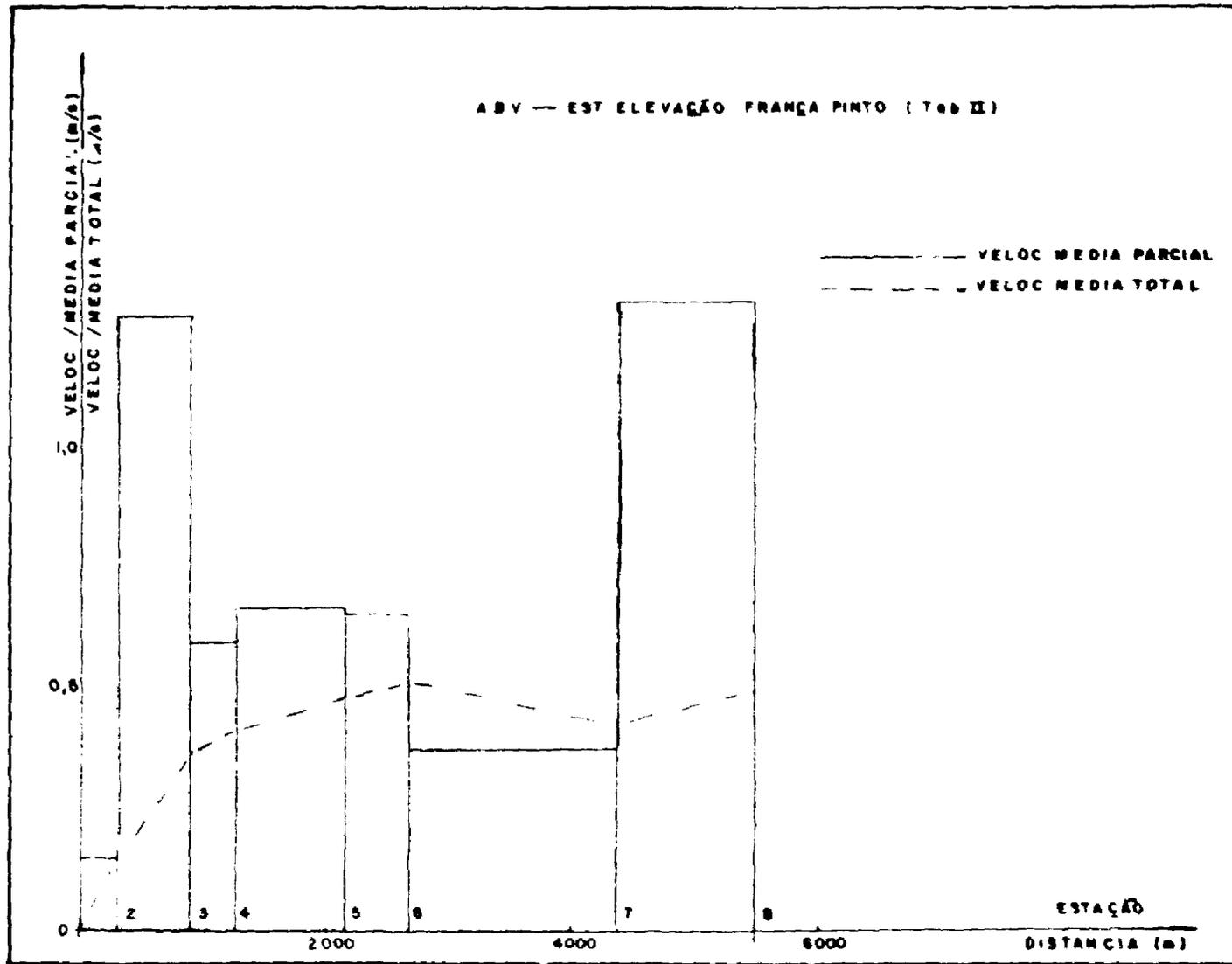


Figura 14 - Velocidades médias parciais e totais do "Polly-pig" no percurso da primeira linha de gravidade na linha Alto da Boa Vista - estação elevatória França Pinto.

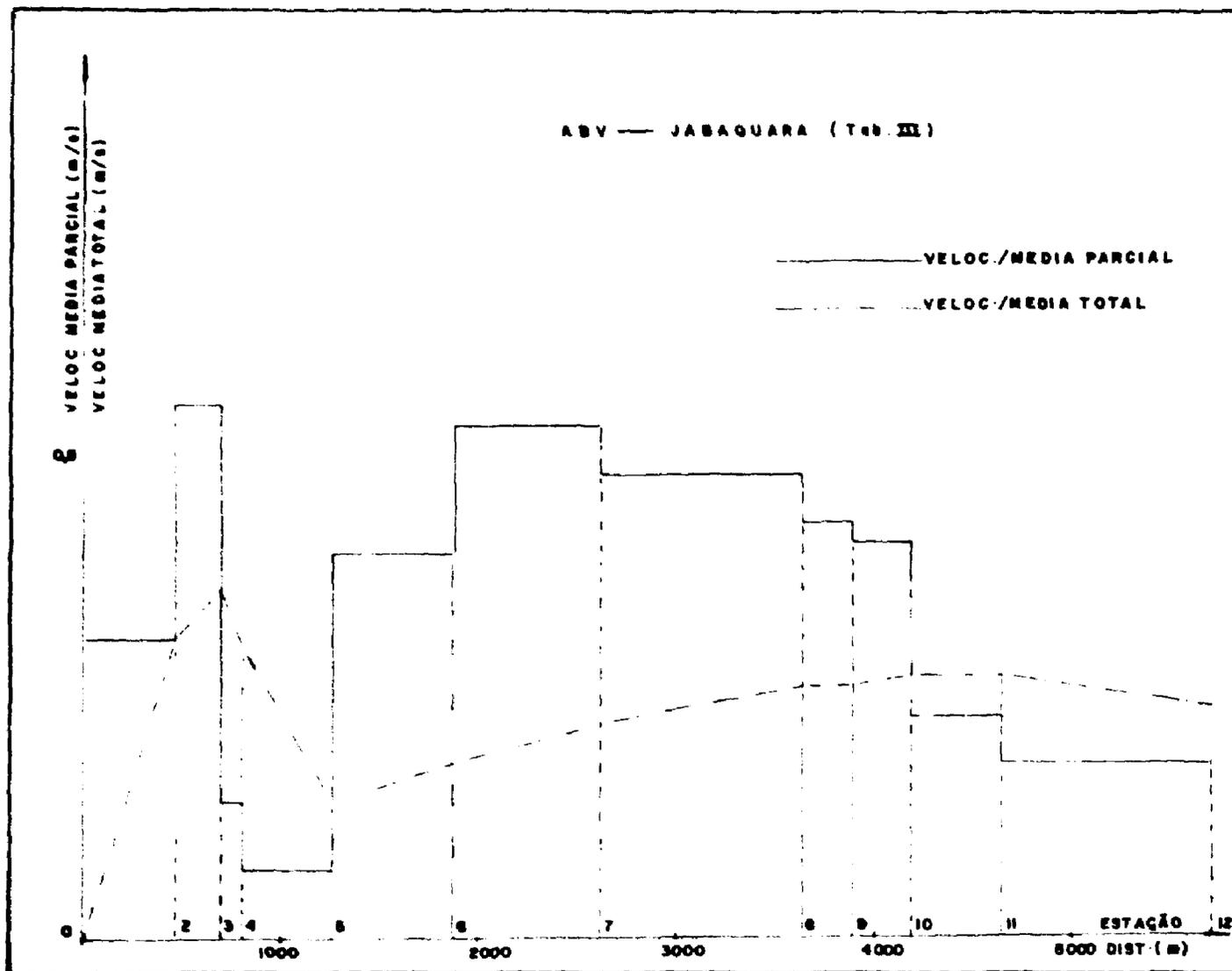


Figura 15 - Velocidades médias parciais e totais do "Polly-pig" (1ª passagem), no percurso da segunda linha de recalque Alto da Boa Vista - Jabaquara.

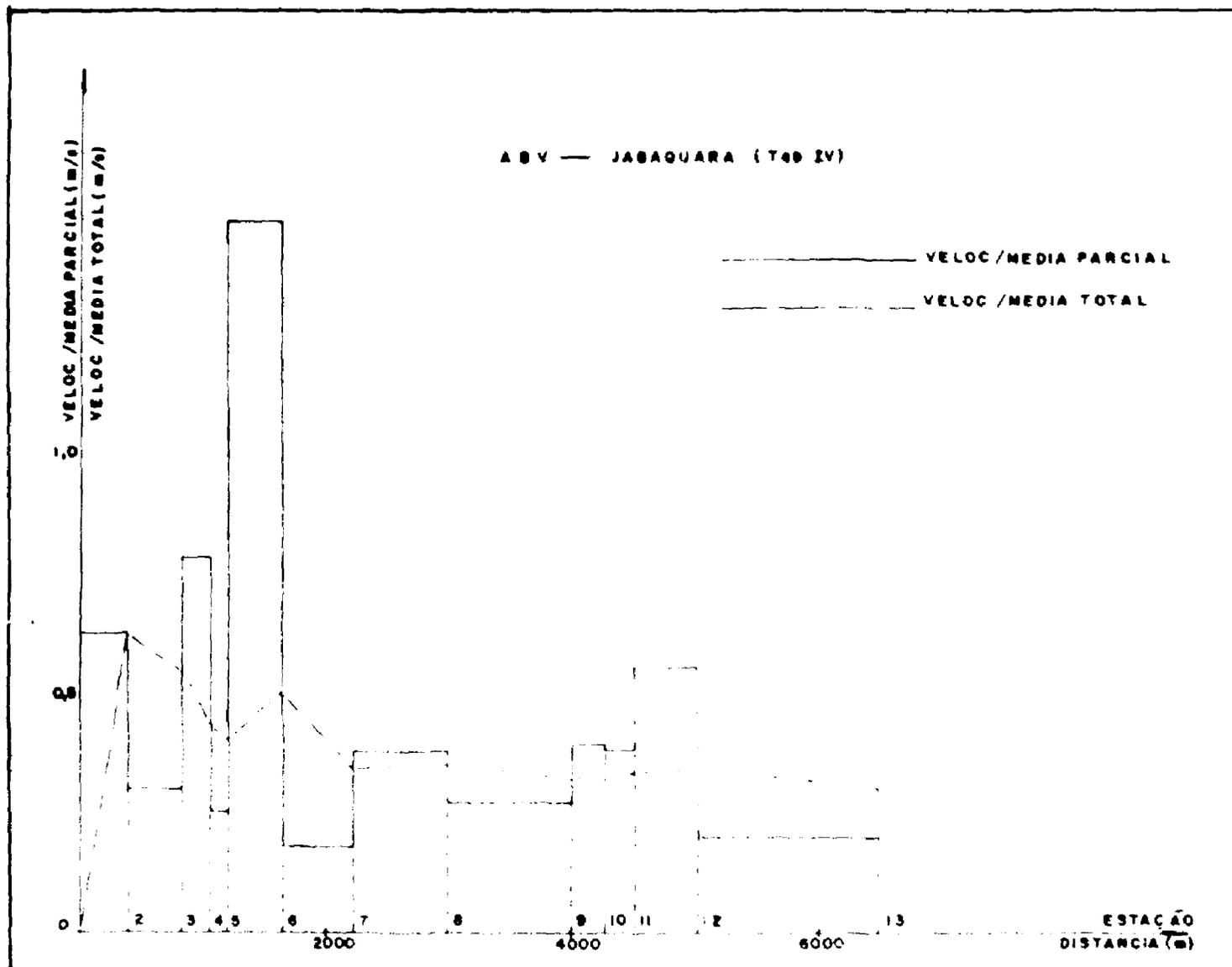


Figura 16 - Velocidades médias parciais e totais do "Polly pig" (2ª passagem), no percurso da segunda linha de recalque Alto da Boa Vista Jabaquara



Recuperação do raspador na estação terminal, no final dos trabalhos.