

**ESTUDOS PARA O SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEANICA DE ESGOTOS
DE SANTOS E SAO VICENTE - RELATÓRIO PARCIAL Nº 3 - MEDIÇÃO
DE VAZAO DO ESGOTO**

E. GARCIA AGUDO U. DUARTE, T. OHARA e W. SANCHEZ

PUBLICAÇÃO IEA N.º 319

Dezembro — 1973

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

**ESTUDOS PARA O SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA
DE ESGÔTOS DE SANTOS E SÃO VICENTE - RELATÓRIO
PARCIAL Nº 3 - MEDIÇÃO DE VAZÃO DO ESGÔTO**

E. Garcia Agudo, U. Duarte, Y. Onara, W. Sanchez

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

**Publicação IEA Nº 319
Dezembro - 1973**

Instituto de Energia Atômica

Conselho Superior

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

Superintendente

Rômulo Ribeiro Pieroni

ESTUDOS PARA O SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA DE ESGÔTOS DE SANTOS E SÃO VICENTE - RELATÓRIO PARCIAL Nº 3 - MEDIÇÃO DE VAZÃO DO ESGÔTO

E. Garcia Agudo, U. Duarte, T. Ohara, W. Sanchez

RESUMO

No campo da engenharia sanitária um problema de difícil solução é o de medição de vazão de esgoto. Para facilitar este tipo de medição calibrou-se uma régua linimétrica, posicionada em uma seção transversal da Estação de Cloração do CETESB. Escolheu-se o método de contagem total, em comparação com os métodos de molinetes e traçadores químicos, em função da alta concentração de materiais em suspensão transportados pelo esgoto, que provocam danos nos molinetes e também pela natureza redutora do mesmo, que degrada os colorantes químicos. Para minimizar a absorção física e química e atenuar a liberação de bromo livre, utilizou-se $\text{NH}_4^+ \text{Br}^-$ dissolvido em solução de tiosulfato de sódio. Embora fosse alta a concentração de materiais em suspensão no esgoto, provocando entupimento da canalização utilizada como "by pass", e que liga o escoamento principal ao tanque de medição, as medições efetuadas no campo proporcionaram resultados precisos e reprodutíveis.

INTRODUÇÃO

Realizaram-se várias medidas de vazão volumétrica do esgoto de Santos-São Vicente, no município de Praia Grande, Estado de São Paulo, por solicitação do CETESB—Centro Tecnológico de Saneamento Básico, com a finalidade de se obter a calibração de uma régua linimétrica instalada em uma seção da canaleta por onde escoo o esgoto.

A necessidade de calibração desta régua (correspondência entre a altura em centímetros, do nível do esgoto lido no seu limbo, com a vazão volumétrica real), deve-se ao fato de existir no local uma estação experimental de cloração. Sabe-se que neste tipo de tratamento de esgoto, a quantidade de solução de cloro a ser misturada é função da quantidade volumétrica que se deseja tratar. Nestas condições, uma simples leitura na régua calibrada poderá fornecer, rapidamente, os dados desejados.

Existem vários métodos clássicos de medição de vazão, que proporcionam bons resultados. Entre os mais comuns pode-se citar as medidas efetuadas a partir do nível da água (calhas medidoras, vertedores, etc.), medidores de velocidade (tipo turbina ou molinete, etc.), medidores por pressão (venturi, pito, etc.) e medidas com traçadores químicos (cloro de sódio, fenóis, fluoresceína, dicromato de potássio, rodamina, etc.).

No caso especial de medição de vazão de esgotos, todos os métodos anteriormente citados, poderiam apresentar resultados duvidosos, pois o escoamento medido tem características químicas e físicas especiais (altamente redutor, turvo, grande quantidade de matéria sólida em suspensão, etc.), que poderiam tornar imprecisas as medições.

Considerando-se estes inconvenientes, chegou-se a conclusão que a técnica radioisotópica seria potencialmente capaz de fornecer resultados precisos das medições de vazão do esgoto. Os radioisótopos apresentam as seguintes vantagens sobre os demais traçadores

convencionais⁽¹⁾.

- a) pode-se escolher seletivamente um radioisótopo que não sofra reações químicas com o esgoto onde é adicionado, não mude a viscosidade do escoamento, não seja absorvido ou adsorvido e que os fenômenos de difusão e dispersão sejam semelhantes aos que ocorrem com as moléculas de água,
- b) a detecção do radiotraçador alcança níveis atômicos (os radioisótopos podem ser detectados em quantidades tão pequenas como 10^{-16} ou 10^{-17} gramas),
- c) as medições são relativamente simples e isentas de ambiguidades,
- d) permitem prever a precisão dos resultados, pelo simples cálculo do erro estatístico associado com as medições de radioatividade.

Entre os vários métodos de medição de vazão volumétrica⁽²⁾ existentes, utilizando traçadores radioativos, ("Dois Picos", "Contagem Total", "Injeção Contínua" ou "Diluição", etc.), utilizou-se o da "Contagem Total"⁽³⁾.

Este método da contagem total tem sido muito utilizado, em medições de vazão de rios e condutos onde a seção transversal de escoamento não é conhecida. A técnica consiste em injetar no escoamento, em forma instantânea e puntiforme, um traçador radioativo com atividade conhecida, A.

Levando-se em conta o princípio de conservação da massa, esta mesma atividade atravessará qualquer seção do conduto, à jusante do ponto de injeção. Assim:

$$A = \int_{t_1}^{t_2} Q(t) \cdot C(t) \cdot dt \quad (\text{mCi}) \quad (1)$$

Mantendo-se constante a vazão $Q(t)$, durante o intervalo de tempo em que se efetua a medição, tem-se:

$$A = Q \int_{t_1}^{t_2} C(t) \cdot dt \quad (\text{mCi}) \quad (2)$$

ou

$$Q = \frac{A}{\int_{t_1}^{t_2} C(t) \cdot dt} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3)$$

Colocando-se um detetor apropriado na seção de medição, a intensidade da radiação detetada $n(t)$, expressa em contagens por unidade de tempo, será diretamente proporcional a concentração $C(t)$, do traçador radioativo, nesta mesma seção,

$$n(t) = F \cdot C(t) \quad (\text{cps}) \quad (4)$$

onde:

F = sensibilidade do detetor de radiação (cps/mCi/m³),

Substituindo-se o valor de $C(t)$ da equação (4) na equação (3), tem-se,

$$Q = \frac{F \cdot A}{\int_{t_1}^{t_2} n(t) \, dt} \quad (5)$$

A integral da equação (5), representa a contagem líquida N , acumulada no integrador, durante a passagem da nuvem radioativa pela seção de medição.

$$\int_{t_1}^{t_2} n(t) \, dt = N \quad (6)$$

A substituição da equação (6), na equação (5) permite-nos obter a fórmula de Hull,

$$Q = \frac{F \cdot A}{N} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (7)$$

onde:

- Q = vazão volumétrica (m^3/s).
- A = atividade injetada no escoamento (mCi).
- N = contagem total (total de impulsos acumulados no integrador), registrada durante a passagem da onda radioativa pelo sistema detector.
- F = constante de calibração, dependente das características do detector, geometria de detecção e radioisótopo utilizado ($\frac{\text{contagem/s}}{\text{mCi/m}}$).

A equação (7) mostra que a vazão independe do conhecimento da seção do escoamento ou perímetro molhado.

Este método, de acordo com Hull, tem uma precisão intrínseca limitada a 1%, pelo número de contagens registrado e também pela reprodutibilidade do sistema de detecção utilizado,⁽⁴⁾ quando:

- a) a atividade injetada chega ao ponto de medição sem perdas no caminho, por absorção, troca iônica, ou outro processo qualquer;
- b) a concentração (atividade por unidade de volume em um instante dado) é a mesma em qualquer ponto da seção de medição;
- c) a constante F é determinada nas mesmas condições das medições;
- d) a constante F e a contagem total N, obtidas nas medições, são determinadas em um intervalo onde a resposta do detector é linear com respeito à concentração;
- e) a radiação natural de fundo ("background"), no ponto de detecção, não varia durante o período de medição;
- f) a meia vida do radioisótopo usado é compatível com o tempo gasto do ensaio;
- g) o tempo ou intervalo de contagem é superior ao tempo de passagem da nuvem radioativa.

Para cumprir o requisito b, é necessário que o ponto de injeção e o de medição estejam

separados por uma distância suficiente, que assegure uma boa homogeneização do traçador com o esgôto. A distância mínima de homogeneização (L_{min}) pode ser calculada, a priori, em forma mais ou menos aproximada, mediante fórmulas empíricas. As duas mais utilizadas são:

a) fórmula de Rimmner:

$$L_{min} = 0,13 \cdot N \cdot b^2 \cdot h, \text{ sendo } N = C(0,7 C + 6) \cdot g$$

b) fórmula de Hull:

$$L_{min} = a \cdot Q^{1/3}$$

onde:

L_{min} = é a distância mínima de homogeneização

h = é altura de água

b = é a largura média da seção de medição.

C = é o coeficiente de Chezy (15 a 20).

g = é a aceleração da gravidade.

a = é um coeficiente igual a 50 quando a injeção é central e igual a 200 para injeção lateral.

Q = é a vazão estimada.

A distância utilizada nos ensaios de campo entre o ponto de injeção e o de medição foi de 400 m, que é superior aos valores calculados pelas equações de Rimmner e Hull, assegurando assim uma perfeita homogeneização do traçador com esgôto.

As medidas de atividade poderiam ser realizadas com o detector submerso no esgôto. Isto dificultaria a reprodutibilidade da geometria de medição em laboratório, durante a calibração do detector. Por isso, optou-se pela variante do método da "Contagem Total", chamada "Correntes Divergentes"⁽³⁾, que consiste em derivar uma fração xQ do escoamento principal, para um tambor de medição, utilizando-se uma bomba.

Esta fração xQ , arrastará uma fração xA da atividade total injetada. De acordo com a equação (7), temos,

$$xQ = \frac{F \cdot xA}{N} \quad (8)$$

ou simplesmente:

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

que demonstra a validade da equação (7).

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE ESCOAMENTO:

O emissário parte da Usina Terminal de José Menino, em Santos. Aí, a vazão máxima é regulada por cinco bombas, com potências variadas, que são ligadas alternadamente. O escoamento é feito em duas tabulações paralelas, de 1,0 m e 0,7 m de diâmetro, até a estação elevatória de São Vicente, que possui uma bomba de menor capacidade. Neste local junta-se ao

escoamento principal a contribuição de São Vicente. A mesma linha é encaminhada para a estação elevatória do Gonzaguinha e daí passando sob a Ponte Pensil segue até o cruzamento da estrada do Boqueirão da Praia Grande - Cidade Ocian. Neste local as tubulações se unem em uma canaleta de seção trapezoidal, de concreto armado.

A canaleta passa sob a estação experimental de cloração e segue até a entrada do Forte Itaipu, onde se bifurca em duas tubulações de 1.0 m de diâmetro cada uma, seguindo assim até a caixa de saída da antiga descarga. Neste local a linha do emissário volta a se juntar em outra canaleta, desembocando no costão do Morro do Itaipú. Após a estação elevatória do Gonzaguinha, em São Vicente, o escoamento é feito somente por efeito de gravidade.

Na figura 1, apresentamos um esquema da trajetória da linha do emissário, assim como a localização da Usina Terminal de José Menino em Santos, estações elevatórias de São Vicente e Gonzaguinha, local de injeção do radioisótopo, local das medições de vazão e régua linimétrica.

PARTE EXPERIMENTAL:

Injetou-se a solução radioativa no início da canalização, 400 metros antes da estação de cloração e efetuaram-se as medições logo depois desta estação. A seção da canalização no ponto de medição está esquematizada na figura 2.

Utilizou-se nas campanhas de medição os seguintes dispositivos (figura 3):

- aparelho para injeção instantânea;
- filtro para válvula de sucção;
- bomba (potência 1/4HP e capacidade 100ℓ/min);
tambor de medição;
- detector de cintilação, cristal NaI (Tl) 1,5" ϕ x 1,5" H;
- escalímetro integrador;
- registrador gráfico.

O radioisótopo escolhido foi o ^{82}Br pelas suas características aniônicas e meia vida relativamente curta (35,4 h).

O bromo foi irradiado na forma de brometo de amônio no reator atômico IEAR - 1 e posteriormente dissolvido em solução de tiosulfato de sódio. Fracionou-se esta solução em frascos de 15 ml, com atividade aproximada de 10 mCi, sendo cada fração cuidadosamente pesada em balança analítica (precisão de 10^{-4} gramas) e os frascos hermeticamente fechados. A cada ensaio realizado correspondeu a quebra, no centro do escoamento, de um frasco, utilizando-se o aparelho esquematizado na figura 3, para proporcionar uma injeção instantânea, requisito fundamental do método de medição empregado.

Para melhor precisão trabalhou-se diretamente com o peso de solução, variando a fórmula original de Hull.

A atividade está relacionada com a massa da solução, da seguinte forma:

$$A = K \cdot m \quad (\text{mCi}) \quad (9)$$

onde:

K = atividade específica da solução (mCi/g),

m = massa da solução (g);

Pela equação (4), obtém-se o valor de F ou seja, $F = \frac{n(t)}{C(t)}$. Sendo a concentração $C(t)$ expressa em atividade A_c por unidade de volume V_c , temos,

$$F = \frac{n(t)}{\frac{V_c}{A_c}} \quad (10)$$

onde:

$n(t)$ = taxa de contagem obtida durante a calibração (contagem/s),

V_c = volume do tambor de medição (m^3),

A_c = atividade de traçador do tambor de medição durante a calibração (mCi)

Substituindo-se o valor de F da equação (10) na equação (7) tem-se,

$$Q = \frac{n(t) V_c}{A_c} \cdot \frac{A}{N} \quad (11)$$

Sendo:

$$A_c = K \cdot m_c \quad (12)$$

a substituição da equação (9) e equação (12) na equação (11), proporciona,

$$Q = \frac{n(t) V_c}{K \cdot m_c} \cdot \frac{m}{N} \quad (13)$$

ou

$$Q = F' \cdot \frac{m}{N} \quad (14)$$

Determinou-se o fator F' em laboratório utilizando-se o mesmo tambor empregado nas medições de campo, sendo seu volume V_c perfeitamente conhecido. Encheu-se o tambor com água, adicionou-se a ela uma fração m_c da mesma solução radioativa utilizada nas medidas de vazão e detetou-se a atividade com o mesmo detetor de cintilação.

RESULTADOS E CONCLUSÕES:

O problema maior que surgiu no trabalho de campo foi o entupimento do filtro protetor da válvula de sucção. Este filtro, apesar de possuir uma característica hidrodinâmica própria ao serviço, precisava ser retirado para limpeza a cada 2 horas de imersão no escoamento, tal a quantidade de material sólido em suspensão.

Embora fosse possível avaliar teoricamente a precisão das medidas de vazão, em função do número de impulsos acumulados, haviam outros fatores, neste trabalho, que poderiam limitar esta precisão. Entre eles, o mais importante era o entupimento parcial do filtro, que poderia variar a vazão que circulava pelo tambor de medição.

Para verificação experimental da precisão que seria obtida nas condições de trabalho realizaram-se doze medidas, em regime constante, sendo os resultados apresentados na tabela I. As oscilações de nível entre 104 cm e 105 cm podem ser consideradas como provocadas pelas pequenas variações temporárias da velocidade de escoamento do fluido, não correspondendo portanto à variações reais de vazão volumétrica. Obteve-se 996 l/s como valor médio para a vazão, com um desvio padrão de 19 l/s (2%), correspondendo a uma altura média de 105 cm na régua linimétrica. A precisão obtida é perfeitamente aceitável, devido as características deste tipo de trabalho.

Posteriormente mediu-se a vazão correspondente a distintos níveis do esgôto na canaleta. Os resultados obtidos são apresentados na tabela II, e foram utilizados na construção da curva de calibração (figura 4).

Estudou-se também a resposta do nível do esgôto na canalização em função do comportamento de ligar e desligar as bombas da usina terminal (figura 5). As bombas, quando colocadas em funcionamento proporcionam uma resposta quase imediata no aumento de vazão, apesar do nível do esgôto na régua aumentar mais lentamente. Para as condições existentes nestes momentos, o nível tarda duas horas, aproximadamente, para estabilizar-se (trecho I da figura 5). Realizaram-se três medições de vazão neste intervalo de tempo, obtendo-se praticamente o mesmo valor, apesar dele corresponder a diferentes níveis linimétricos (ensaios 10, 11 e 12 da tabela II). Representou-se a média destes três valores de vazão na figura 4, como correspondentes a 98 cm que era a altura de equilíbrio para esta vazão, conforme mostra a figura 5.

Quando as bombas foram desligadas observou-se uma diminuição imediata na velocidade do escoamento dentro da canalização mas o nível de esgôto foi abaixando lentamente (trecho II da figura 5). Neste caso não foi possível esperar a estabilização da altura, pelo fato das bombas não poderem permanecer desligadas por período superiores a uma hora. Quando o nível atingiu a marca de 41 cm, efetuou-se uma medição de vazão (ensaio 13 da tabela II), cujo valor corresponderia a um nível de equilíbrio evidentemente inferior. Em decorrência deste fato, o ponto correspondente a esta vazão, figura 4, foi assinalado com linha pontilhada, representando o limite superior para a curva chave.

O fato da curva de calibração não passar pela origem do sistema de coordenadas pode ser explicado pela incerteza de que o zero da régua coincide com o fundo da canaleta e pela existência de um depósito de lama no fundo da canaleta de espessura não conhecida e que pode variar com o tempo.

ABSTRACT

Measurement of the sewage flow rate is a difficult problem in the field of sanitary engineering. A channel cross section calibration at the CATESS CHLORINE TREATMENT STATION, in order to simplify the subsequent measurement of sewage flow, at a permanent stream-gauging station, was performed. The total count method was chosen because of its advantages over both the current instrument meter and the dilution technique of a radioactive or non-radioactive tracer (rodhamine and fluoresceine), since the sewage transports materials that might damage the current meter instruments and could also degrade chemical dyes because of the reduction properties of sewage. NH_4Br labeled with ^{82}Br was used as radioactive tracer. The irradiated NH_4Br was dissolved in a sodium thiosulphate solution. In spite of the presence of suspended materials in the sewage and the subsequent delicate operation of pumping out the flowing sewage through a by pass where the measuring system was installed, accurate and reproducible field measurements were obtained.

RÉSUMÉ

Dans le domaine du génie sanitaire, un problème difficile à résoudre est la mesure de la vidange des égouts. Pour faciliter ce type de mesure, on a calibré une règle limnimétrique, positionnée dans une section transversale de la Station de Chloration du CETESB. On a choisi la méthode de comptage total, en comparaison avec les méthodes de moulinets et de traceurs chimiques, en fonction de la forte concentration des matériaux en suspension transportés par les égouts. Ces matériaux provoquent des dommages dans les moulinets et dégradent les colorants chimiques par leur action réductrice. Pour minimiser l'absorption physique et chimique et atténuer la libération du brome libre, on a utilisé $\text{NH}_4^{+2}\text{Br}$ dissout dans une solution de trisulphate de soude. Quoique la concentration des matériaux en suspension soit haute, et provoque l'engorgement de la canalisation "by pass" qui relie l'écoulement principal au réservoir de mesure, les mesures effectuées "in-situ" ont donné des résultats précis et reproductibles.

BIBLIOGRAFIA

1. GOMEZ, H. R. "Aplicación de Radioisotopos en Hidrología" - 6^o Curso Regional, Universidad Nacional de Cuyo, San Juan, Argentina, 13 de outubro a 20 de novembro de 1970.
2. Duarte, Uziel - "Métodos de Determinação de Vazão com o Emprego de Traçadores Radioativos" - Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências - USP - 1973, pag. 64 - 84.
3. HULL, D. E. - "The Total Count Technique: a New Principle in Flow Measurements". Int. J. Appl. Radiat. Isotopes. Vol 4, pp.1 - 15, 1958.
4. HULL, D. E. - "Dispersion and Persistence of Tracer in River Flow Measurements". Int. J. Appl. Radiat. Isotopes. Vol. 13, pp 63 - 73, 1962.

Tabela - I

Medidas de vazão em regime constante

Massa de Traçador Injetada - m (g)	Contagem Total N	Vazão Volumétrica Q (ℓ/s)	Altura da Régua Linimétrica - H (cm)
12,7829	176.341	989	104
13,5872	185.475	999	106
13,3214	178.249	1019	105
14,6091	202.853	988	104
13,1020	174.892	1022	105
13,4910	179.927	1023	106
13,5967	186.047	997	106
13,5630	186.015	995	105
13,3809	187.934	971	105
14,0099	194.207	984	104
12,3355	168.056	1001	104
13,6427	193.651	981	104

$$F' = 1,364 \cdot 10^7 \text{ cps/g/ℓ}$$

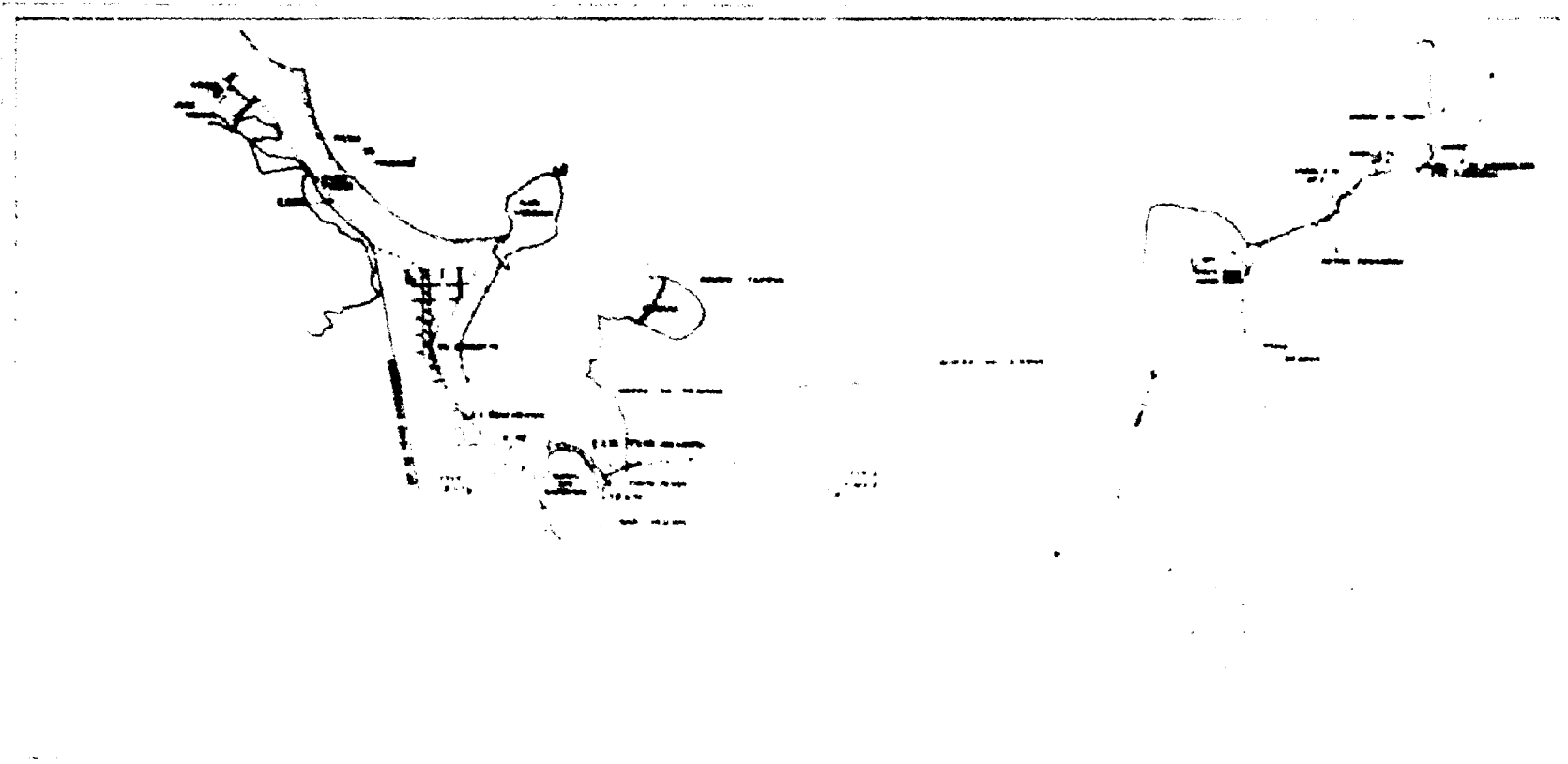
$$Q = 996 \pm 19 \text{ ℓ/s}$$

TABELA II

Correspondência entre nível na régua e vazão volumétrica

Ensaio	Massa de Traçador Injetada	Contagem Total	Fator de Calibração	Vazão Volumétrica	Altura na Régua Limimétrica
Nº	m (g)	N	$F = \left(\frac{\text{cps}}{\text{g} \cdot \ell} \right)$	Q (ℓ/s)	H (cm)
01	16,9515	48 373	$1,940 \cdot 10^6$	680	90
02	34,3256	94 544	$1,940 \cdot 10^6$	704	92
03	34,7038	95 241	$1,940 \cdot 10^6$	707	92
04	33,3541	91 082	$1,940 \cdot 10^6$	710	94
05	34,1173	108 819	$1,940 \cdot 10^6$	603	82
06	14,6546	163 762	$5,943 \cdot 10^6$	532	74
07	13,0149	165 383	$5,943 \cdot 10^6$	468	73
08	14,4660	167 318	$5,943 \cdot 10^6$	514	75
09	14,1809	145 671	$5,943 \cdot 10^6$	579	78
10	14,5860	104 918	$5,943 \cdot 10^6$	827	91
11	13,6386	98 486	$5,943 \cdot 10^6$	823	95
12	13,5612	97 695	$5,943 \cdot 10^6$	825	98
13	14,8421	742 092	$5,943 \cdot 10^6$	119	41
14	12,8815	83 164	$5,943 \cdot 10^6$	889	101
.	.	.	.	996	105

* Ver Tabela I.



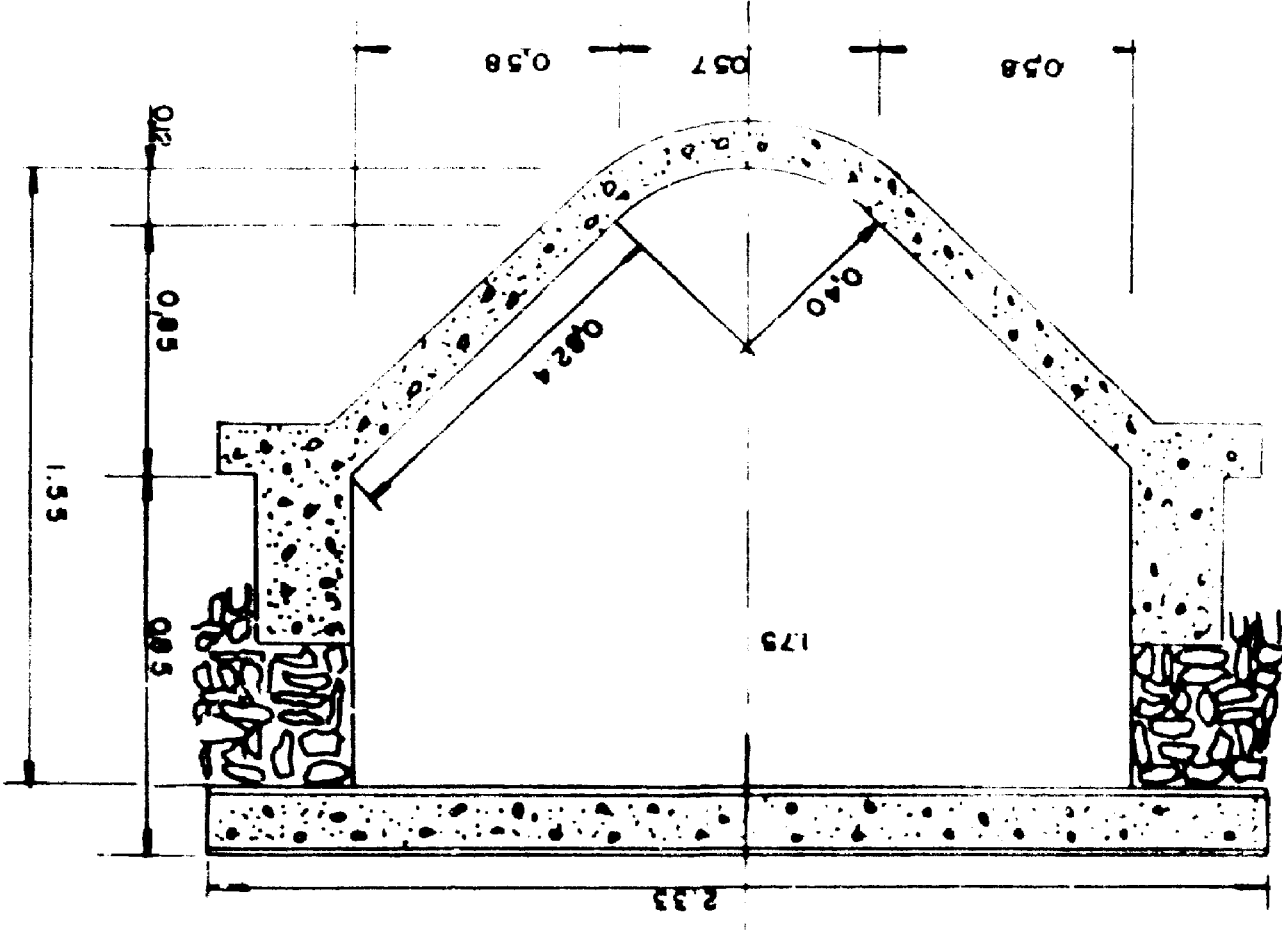
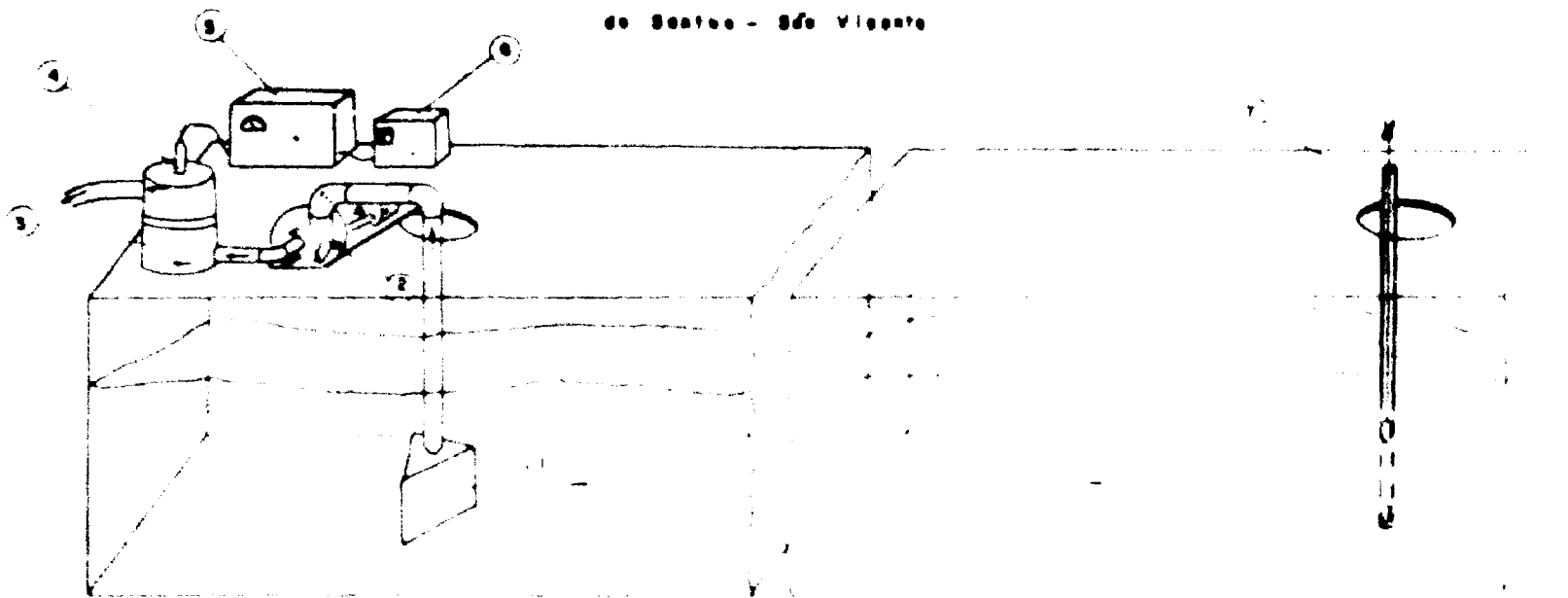


FIGURA - 2
 SEÇÃO DA CANALIZAÇÃO NO
 TRECHO ONDE FORAM FEITAS
 AS MEDIÇÕES

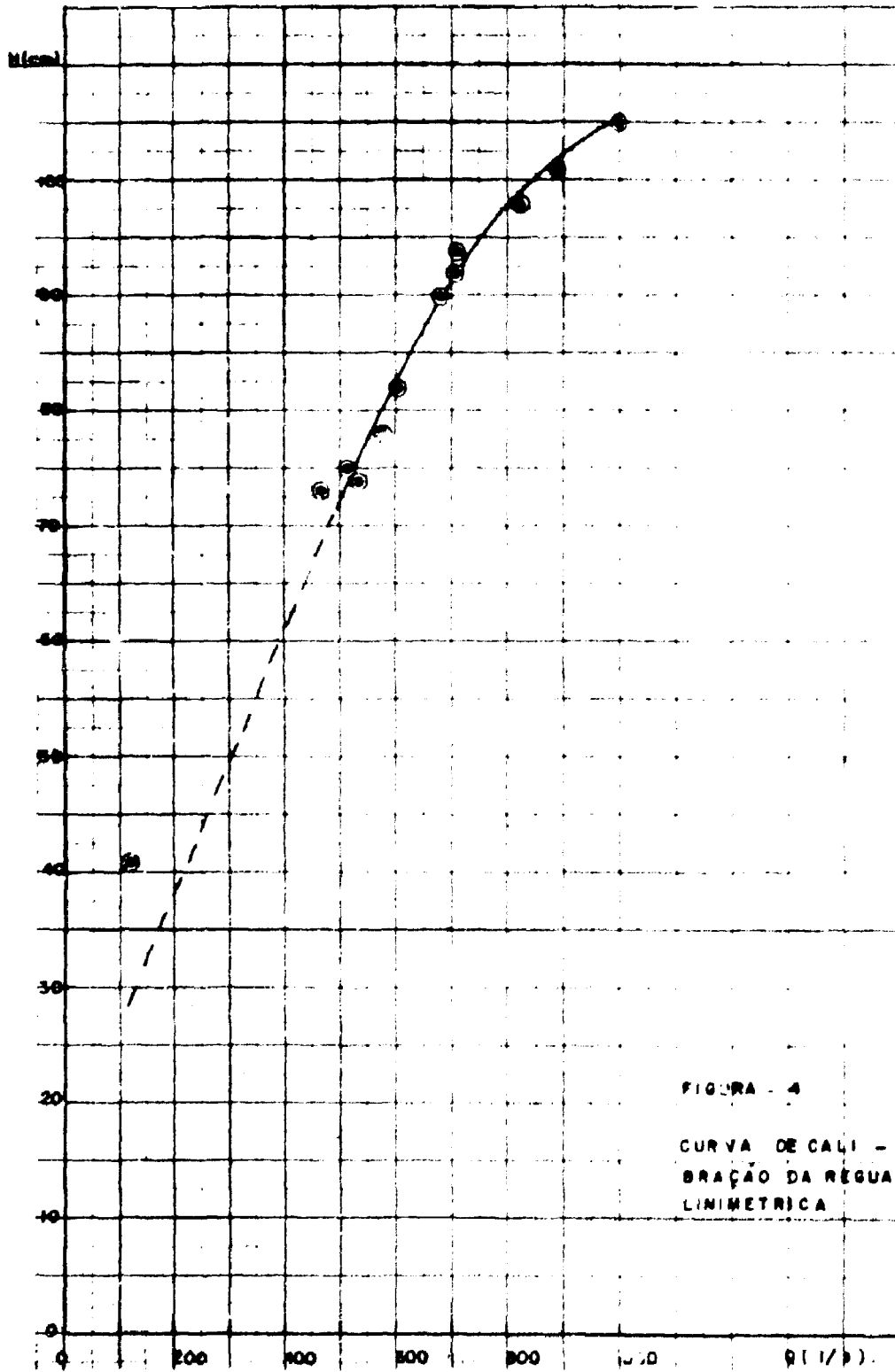
Obs: Medidas em metros

FIGURA 3 - Esquema do aparelho usado para a medição da
 vazão volumétrica de canalização de aço
 de Santos - São Vicente



- ① - aparelho controlador de válvula de sucção
- ② - bomba
- ③ - tanque de medição
- ④ - detector de contaminação

- ⑤ - reservatório de água
- ⑥ - tubo de medição
- ⑦ - escala de medição
- ⑧ - fonte de energia elétrica
- ⑨ - painel de controle



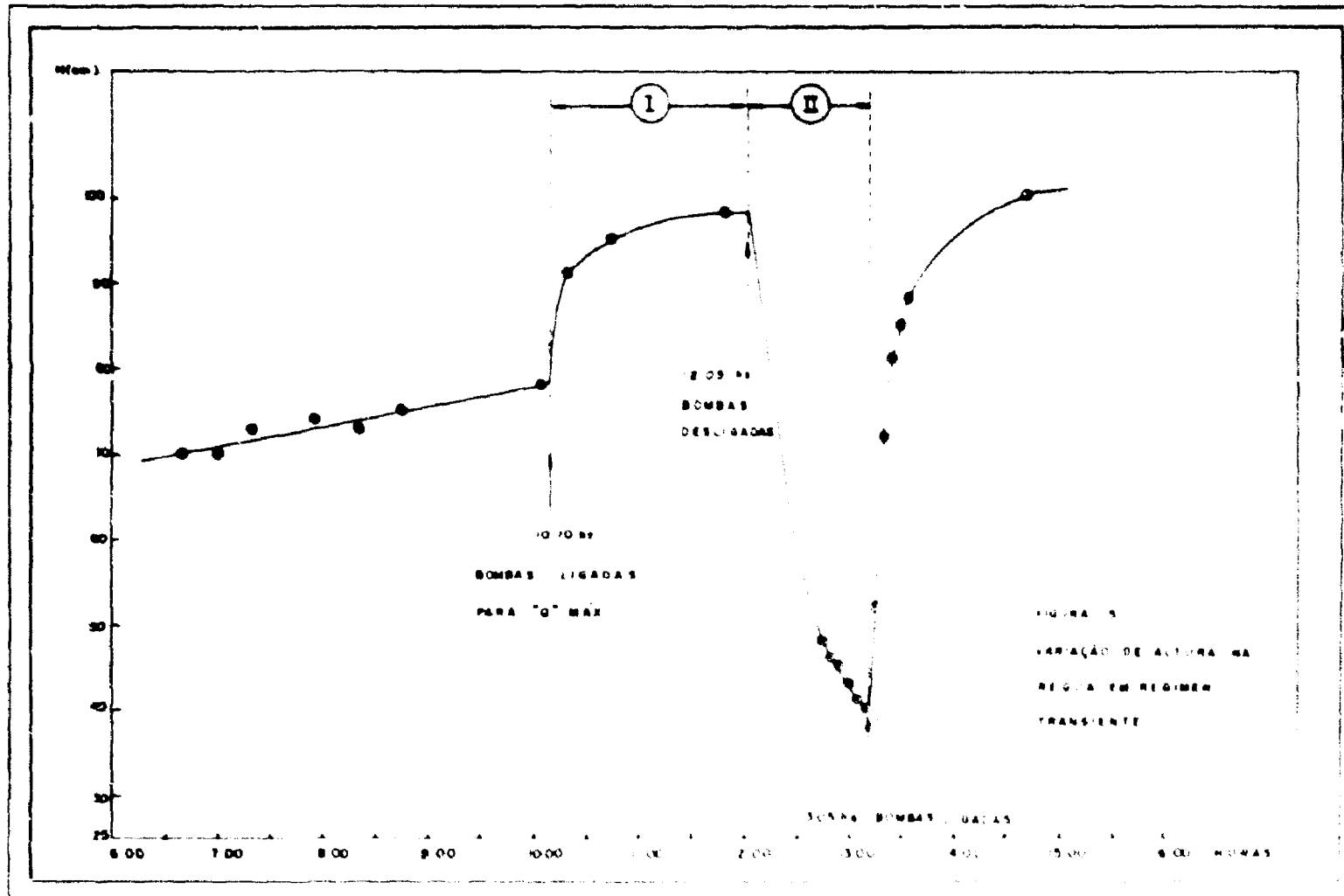


FIGURA 5
 VARIAÇÃO DE ALTURA NA
 REGIÃO EM REGIME
 TRANSIENTE