

# O POLLY-PIG APLICADO À LIMPEZA INTERNA DE TUBULAÇÃO DE CONCRETO PROTENDIDO.

ENG.º JOSÉ AUGUSTO HUEB (\*)

## 1. INTRODUÇÃO

Polly-Pig é um corpo cilíndrico, fabricado de espuma flexível e maciça de Poliuretano, recoberto superficialmente com borracha e tiras espiraladas de abrasivo.

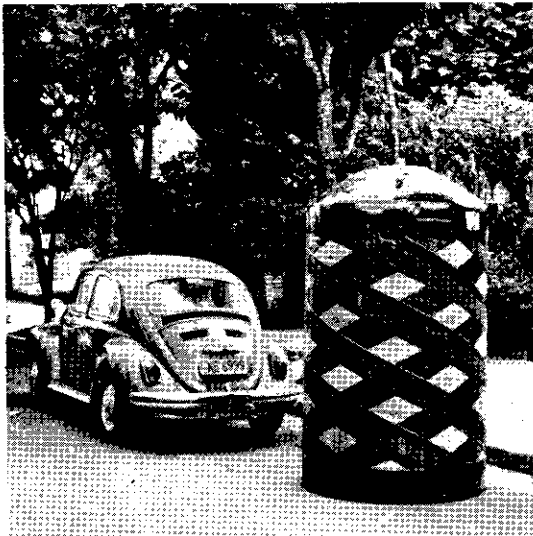


Foto 1 — Polly-Pig anteriormente à sua utilização

O princípio físico de atuação, pode ser associado a uma mola espiral, envolvendo um cilindro de material amoldável transitoriamente e de pronta recuperação, tendo a sua base perfeitamente vedada. Quando é aplicada pressão a

essa base, a espiral de poliuretano é forçada a se expandir contra as paredes do tubo, provocando uma ação de raspagem enquanto a peça realiza o seu trajeto ao longo da linha.

Devido à disposição espiralada do material abrasivo, o Polly-Pig é capaz de girar em torno do seu próprio eixo, simultaneamente ao seu movimento de translação.

Sua superfície é dotada de convenientes interstícios na superfície impermeável, de tal forma que a água nesses pontos fica em contato direto com a espuma de poliuretano, saturando assim as células do material. Desta forma, a movimentação ao longo da canalização se passa como se o Pig fizesse parte atuante do fluxo, transpondo tranquilamente obstáculos, tais como: tês, registros, curvas de 90° e, em alguns casos, até mesmo tubos Venturi.

## 2. OBJETIVO

Eliminação dos depósitos gelatinosos, denominados «matéria amorfa», e, limpeza geral da linha para aumento da capacidade de adução da mesma.

Tubulações de concreto geralmente não sofrem ação de corrosão. Entretanto, em suas paredes, desenvolvem-se películas de um material escuro e gelatinoso de espessura da ordem de 2 a 4 mm, constituindo ondulações em sentido contrário ao do escoamento da água. Supõe-se que tais depósitos, sejam responsáveis pela diminuição da capacidade da linha no decorrer dos anos.

Análises realizadas com amostra retirada de um tubo acusaram a existência de matéria orgânica e mineral na formação desses depósitos. A tabela I mostra os resultados dessa análise.

(\*) Engenheiro da Secção de Pesquisas Pitométricas da SAEC.

**TABELA I**

| Análise sobre material seco    |             |
|--------------------------------|-------------|
| Côr                            | avermelhada |
| Perda a 1000°C                 | 15,7%       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13,1%       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 66,8%       |
| MgO                            | 0,1%        |
| MgO                            | 0,1%        |
| SiO                            | 0,9%        |
| Diversos                       | 2,8%        |

A respeito desses depósitos gelatinosos diz a «The Pitometer Associates» no seu relatório, quando da consultoria prestada à SAEC entre 01/07/69 a 31/01/72:

«Não podemos afirmar definitivamente que esse depósito gelatinoso seja totalmente responsável pelos coeficientes de H-W aparentemente baixos; para tanto, são necessários a limpeza da tubulação, nova medição e comparação dos resultados.

Baseados na nossa experiência anterior em outras cidades tais como: Bogotá-Colômbia, Caracas-Venezuela e Fort Worth-Texas, sabemos que tais depósitos gelatinosos podem reduzir o coeficiente de H-W de até 30%. Todo esforço deve ser feito para remover o depósito das linhas existentes e impedir o seu progresso».

O processo de limpeza através do Polly-Pig se presta perfeitamente à remoção desses depósitos, levando-se em consideração que os mesmos não oferecem resistência apreciável à ação de raspagem das lixas espiraladas.

### 3. FASES PREPARATORIAS E TÉCNICA DE OPERAÇÃO

A tubulação é uma linha de recalque, de concreto protendido,  $\varnothing$  1,20 m que liga a estação de tratamento de água do Alto da Boa Vista ao reservatório do Jabaquara.

Escolheu-se como ponto de partida, o trecho da linha situada à rua S. Benedito, a 30 metros da curva de 90° da confluência das ruas S. Benedito e S. Sebastião (Alto da Boa Vista).

Neste local foi retirado um tubo de concreto, o qual foi substituído por um tubo de aço de mesmo diâmetro com o Pig já no seu interior. O diâmetro da peça é de 1" maior do que o diâmetro da canalização.

A técnica de colocação do Pig no interior do tubo de aço, foi baseada no fato de que a



Foto 2 — Cortes na tubulação de concreto

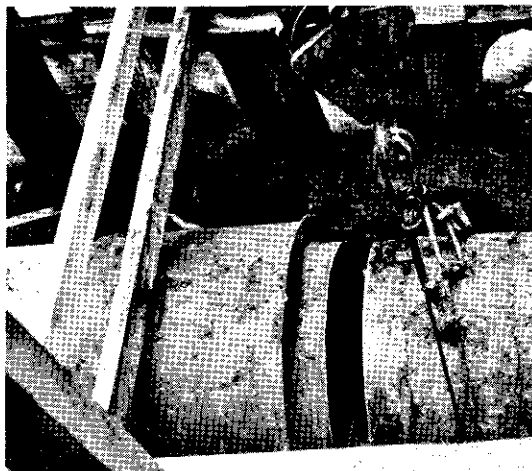


Foto 3 — Retirada do tubo de aço que havia sido colocado na 1.ª passagem do Polly-Pig

espuma de poliuretano obedece à propriedade de ser amoldável transitoriamente, ou seja, quando comprimido por algum tempo, tende a adotar a forma adquirida sob tensão, mesmo após eliminados os esforços solicitantes.

Após eliminadas as tensões, o material inicia lentamente o processo de retorno à condição primitiva.

Para produzir os esforços radiais que nos permitiriam a introdução do corpo no interior do tubo de aço, através da redução do diâmetro do mesmo, foram dispostas ripas de madeira de 1" x 2", segundo geratrizes e espaçadas de uma largura de ripa.

A seguir iniciamos a compressão radial do Pig, através de cabos passados circunferencialmente no seu entorno e tensionados por meio de

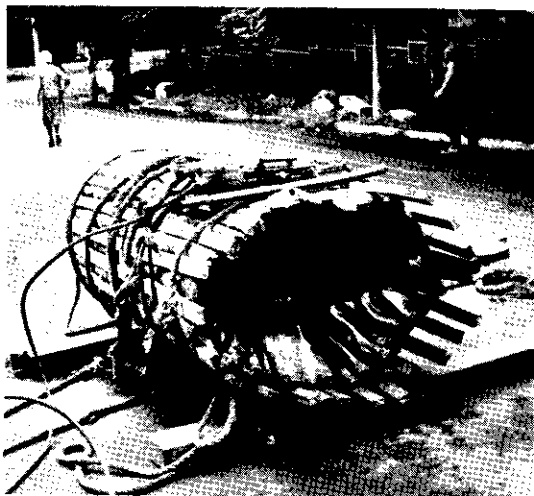


Foto 4 — Compressão do Polly-Pig com ripas, cordas e cabo de aço

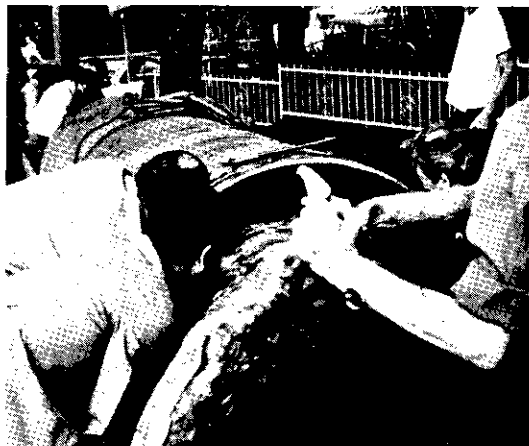


Foto 6 — Início da colocação do Pig no tubo no exato instante em que foram retiradas as cordas que o comprimiam



Foto 5 — Polly-Pig comprimido à entrada do tubo de aço

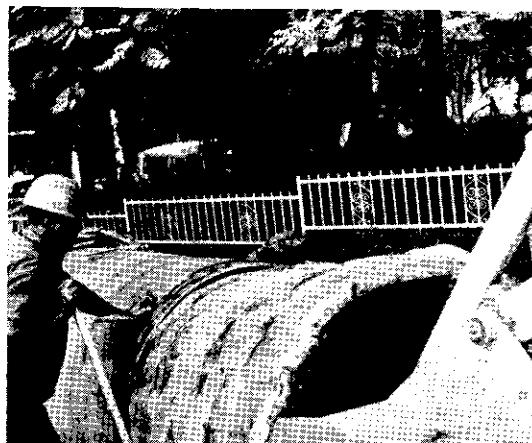


Foto 7 — Expansão rápida do Pig, quando houve certa dificuldade na sua introdução. Felizmente, tal fato estava previsto e os trabalhos concluídos sem maiores dificuldades

Tirfor. A partir desse tensionamento, a introdução do Pig no tubo de aço foi tranquila.

Anteriormente a introdução, colocamos um Tap (\*) no tubo de aço, com dupla finalidade de permitir a introdução de uma pastilha radiativa no corpo do Pig e permitir a medição das pressões no Tap após o início do carregamento da linha.

A pastilha foi colocada pela equipe do Instituto de Energia Atômica de São Paulo, o qual, utilizando três aparelhos registradores de intensidade de radiação, controlou a movimentação ao longo da canalização.

(\*) Tap é um registro de derivação de 1".



Foto 8 — Detector utilizado pelo I.E.A. para controlar o percurso do Pig

Os três aparelhos eram postados em pontos previamente escolhidos, à jusante do Polly-Pig. Logo que este último passava pela primeira estação, esta se locomovia para jusante das outras duas, e aguardava a nova passagem.

Iniciamos o enchimento da linha às 10:00 horas do dia 15 de dezembro de 1972, enquanto observávamos no gráfico registrador de pressões colocado no Tap, qualquer indício de movimentação. O mesmo se deu às 11:20 horas, quando a pressão, após uma curva ascendente, sofreu uma brusca variação, estabilizando-se com 23 mca até às 13 horas. A partir do instante de saída do Pig, pudemos controlar a sua movimentação através de manobras no Alto da Boa Vista e nos registros de descarga da linha. As vazões foram



Foto 9 — Início da saída de água pelo tubo, indicando que o Pig estava nas proximidades (vala da Av. dos Bandeirantes)

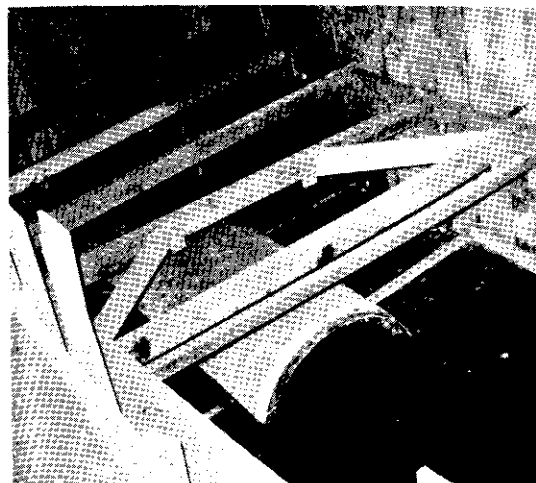


Foto 10 — Vala da Avenida dos Bandeirantes, minutos antes da saída do Pig

medidas diretamente através de uma manômetro diferencial instalado no venturi da linha.

Cuidamos também, que sempre ficasse aberta a descarga à jusante do Pig. Assim a água que passava de montante para jusante do Pig, se encarregava de lavar a superfície friccionada, saindo posteriormente pela descarga. Pudemos então controlar as aberturas e os fechamentos das descargas pela qualidade da água que saía através das mesmas.

Geralmente, quando o Pig se aproximava de uma descarga, saía uma grande quantidade de água de cor marron-café que ia se clareando lentamente. O início de clareamento da água correspondia ao instante em que a peça parava muito proximamente à descarga, já que quando se fechava a mesma, o Pig passava pela descarga em poucos minutos.

Por meio dessas operações, conseguiu-se que o Pig chegasse ao ponto final, na Avenida dos Bandeirantes, às 19:30 horas do dia 15/12/1972.

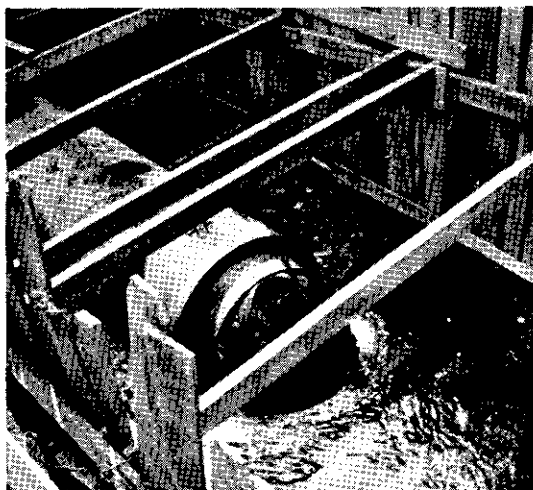


Foto 11 — Início da saída do Pig

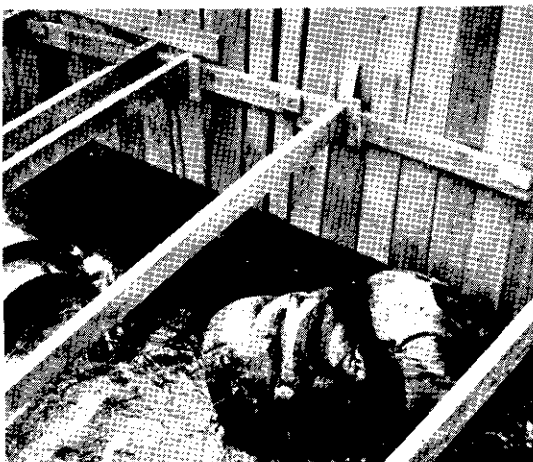


Foto 12 — Polly-Pig após ser totalmente expulso da canalização

#### 4. CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS DA LINHA E CONTROLE DE MOVIMENTAÇÃO DO POLLY-PIG

As nossas medições anteriores à passagem do Polly-Pig pela linha, apresentaram os seguintes valores:

Perda de carga unitária:

$$J = \frac{6,627 \text{ (m)}}{6,60 \text{ (km)}} = 0,995 \text{ m/km}$$

Vazão ..... Q = 1,13 m<sup>3</sup>/s

Coefficiente «C» de H&W. . . C = 109

Tais valores foram obtidos em medição realizada em 11-12-72.

Após a passagem do Pig e reproduzindo as mesmas condições de operação do teste anterior, foram encontrados os seguintes valores:

Perda de carga unitária:

$$J = \frac{5,77 \text{ (m)}}{6,627 \text{ (km)}} = 0,870 \text{ m/km}$$

Vazão ..... Q = 1,18 m<sup>3</sup>/s

Coefficiente «C» de H&W. . . C = 118

Observou-se então um aumento de vazão na linha, da ordem de 4,4% e um aumento do coeficiente «C» de 8,3%.

Como já se disse em item anterior, todas as passagens do Pig pelas estações de observação, foram rigorosamente cronometradas. Dessa forma pudemos montar uma tabela (tabela II) em que as características principais da operação fossem registradas. Nessa tabela foram lançados os pontos de localização das estações do I.E.A. assim como as distâncias entre as estações; tempos de percurso de uma estação à outra e todas as outras grandezas calculadas a partir das primeiras. Registramos também na tabela, as vazões medidas no Venturi do Alto da Boa Vista.

Observa-se que a velocidade da água na canalização é sempre menor do que a velocidade do Pig, já que parte da água passa de montante para jusante do corpo cilíndrico.

Na coluna (6) foram colocados os tempos gastos no percurso de de uma estação à outra; na coluna (7) foram considerados os tempos gastos no percurso a partir da estação (1) a uma outra estação qualquer.

O mesmo raciocínio deve ser seguido quanto às velocidades, mostradas nas colunas (8) e (9). Observa-se que a velocidade média do Pig ao

longo de toda a linha é de 0,24 m/s. Evidentemente, na coluna (6) em que se colocaram os tempos gastos de estação, as mesmas nem sempre se correspondem a tempos de movimentação efetiva do Pig, já que o mesmo parou por inúmeras vezes por tempo ignorado.

#### 5. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Pela quantidade de água cor marron-café que saiu pelas descargas, pudemos imediatamente antecipar bons prognósticos quanto à eficiência da operação. Realmente esses prognósticos se confirmaram, já que houve um aumento de vazão de 50 l/s ou seja, 4,4%.

Quanto ao coeficiente de trabalho «C» de Hazen & Williams, houve um aumento de 9 pontos ou seja, 8,3%.

Observou-se também, que as pressões de requilíbrio medidas no venturi do ABV, antes e após a passagem do Pig, variaram. Antes da limpeza, a pressão era de 63,95 mca e após a limpeza, a pressão era de 63,14 mca. Concluiu-se portanto, que realmente houve um deslocamento do ponto de trabalho dos grupos motor-bomba do ABV em decorrência da nova curva do sistema. Se pudessemos fazer com que as bombas trabalhassem à mesma altura manométrica que existia antes da passagem do Polly-Pig, obteríamos um aumento de vazão diretamente proporcional ao aumento do coeficiente «C» de H&W, ou seja, 8,3%, conforme ilustra a figura (1).

Teríamos nessas condições, uma vazão de 1,22 m<sup>3</sup>/s, ou seja, 90 l/s a mais do que anteriormente à passagem do Pig.

Tais resultados se mostram bastante satisfatórios, porém não significam que todos os depósitos acumulados nas paredes da tubulação tenham sido removido. Tornava-se portanto necessário, uma nova operação de limpeza com a posterior verificação das novas condições hidráulicas de escoamento.

#### 6. ELIMINAÇÃO DE PARTE DOS DEPÓSITOS GELATINOSOS REMANESCENTES

A coordenação dos trabalhos para a segunda passagem do Polly-Pig pela linha Alto da Boa Vista — Jabaquara Ø 1200 mm obedeceu ao mesmo esquema da vez anterior.

O Polly-Pig utilizado foi o mesmo, tendo sido porém, trocadas as espirais de material abrasivo.

A introdução no interior do tubo de aço, obedeceu à mesma técnica empregada anteriormente, ou seja, após uma compressão no corpo

TABELA II

Dados da 1.<sup>a</sup> operação de limpeza da linha ABV-Jabaquara

| Estação |       | Comprimento (M) |         | Hora  | Tempo percurso (min) |         | Veloc. média (m/seg) |       | Vazão (l/s) | Localização           |
|---------|-------|-----------------|---------|-------|----------------------|---------|----------------------|-------|-------------|-----------------------|
| N.º     | Tipo  | Parcial         | Acumul. |       | Parcial              | Acumul. | Parcial              | Total |             |                       |
| 01      | desc. | —               | —       | 13:01 | —                    | —       | —                    | —     | 570         | R. Job Lane           |
| 02      | vent. | 465             | 465     | 13:26 | 25                   | 25      | 0,31                 | 0,31  | 570         | R. Job Lane x R. Baru |
| 03      | desc. | 233             | 698     | 13:33 | 07                   | 32      | 0,55                 | 0,36  | 570         | R. Job Lane x R. Três |
| 04      | vent. | 119             | 817     | 13:47 | 14                   | 46      | 0,14                 | 0,30  | 430         | R. Porto Seguro       |
| 05      | desc. | 444             |         | 15:33 | 106                  | 152     | 0,07                 | 0,14  | 590         | R. Porto Seguro       |
| 06      | vent. | 597             |         | 15:58 | 25                   | 177     | 0,40                 | 0,18  | 590         | R. Atenas             |
| 07      | vent. | 762             | 2620    | 16:22 | 24                   | 201     | 0,53                 | 0,22  | 590         | Res. V. Mascote       |
| 08      | vent. | 1015            | 3635    | 16:57 | 35                   | 236     | 0,48                 | 0,26  | 510         | R.A.A. Pereira        |
| 09      | vent. | 257             | 3892    | 17:07 | 10                   | 246     | 0,43                 | 0,26  | 510         | Av. Um                |
| 10      | vent. | 293             | 4185    | 17:19 | 12                   | 258     | 0,41                 | 0,27  | 510         | Av. Um                |
| 11      | desc. | 464             | 4649    | 17:53 | 34                   | 292     | 0,23                 | 0,27  | 470         | Av. Um                |
| Ch.     |       | 1059            | 5708    | 19:30 | 97                   | 389     | 0,18                 | 0,24  | 430         | Av. Bandeirantes      |
| (1)     | (2)   | (3)             | (4)     | (5)   | (6)                  | (7)     | (8)                  | (09)  | (10)        | (11)                  |

DESENHO ESQUEMATICO DOS RESULTADOS OBTIDOS APÓS  
A 1ª LIMPEZA DA LINHA ABV JABAQUARA Ø 1200

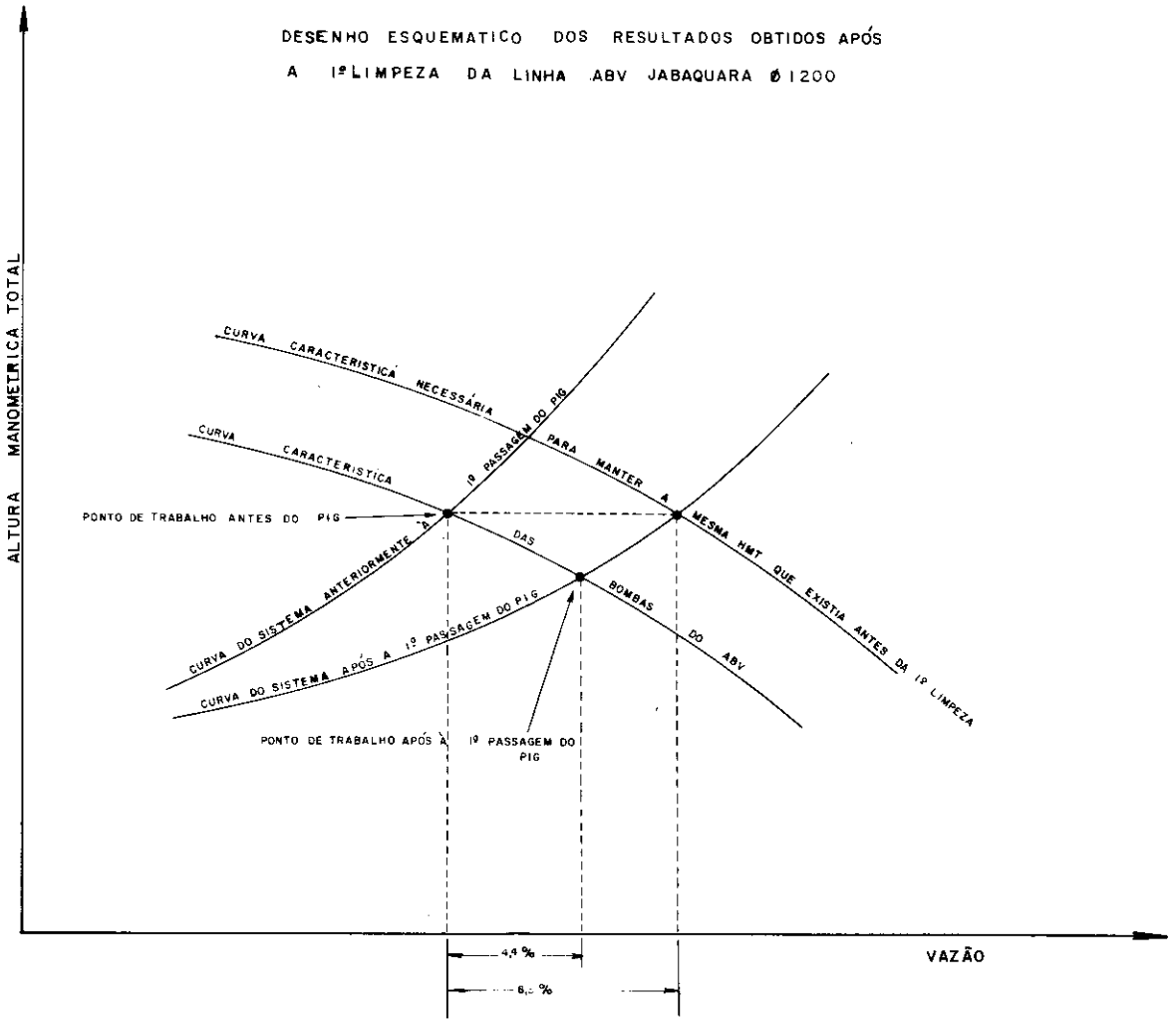


Figura 1

da peça, de aproximadamente duas horas, processou-se a introdução.

É interessante ressaltar que desta vez, após retirados o Tirfor e as cordas que exerciam os esforços de compressão radial, houve uma expansão bastante rápida do corpo cilíndrico, tendo sido necessário as ações conjuntas de uma pá carregadeira a empurrar e um Tirfor a tracionar o mesmo para dentro do tubo.

O carregamento da linha foi iniciado às 9:45 horas do dia 07 de fevereiro de 1973 com uma vazão de 400 l/s, tendo sido observada a movimentação inicial do Pig às 10:02 horas, com pressão nula registrada pelo manômetro instalado no ponto de saída. Visando o estudo das pressões sob as quais a peça se movimentava ao longo da tubulação, foram instalados manômetros registradores em quase todas as ventosas e Taps existentes.

Essas pressões, assim como os outros dados da operação, são mostrados na tabela III.

A medição do coeficiente «C» de H&W, realizada após o término das operações, no dia 12/02/73, apresentou os seguintes resultados:

Perda de carga unitária ..  $J = 0,87 \cdot 10^{-3} \text{m/m}$

Vazão .....  $Q = 1,26 \text{ m}^3/\text{s}$

Coeficiente de trabalho «C»

de H&W .....  $C = 127$

A comparação das características hidráulicas da linha, antes de qualquer limpeza e após a 2.ª limpeza, fornece-nos os seguintes dados:

- Aumento total de vazão da ordem de 11,5%, representando um incremento à vazão antiga de 130 l/s.
- Aumento do coeficiente «C» de H&W de 16,5%, representando um acréscimo de 18 pontos ao antigo coeficiente.

TABELA III

Dados da 2.ª operação de limpeza da linha ABV-Jabaquara

| Estação |       | Comprimento (m) |         | Hora  | Tempo de percurso (min.) |         | Velocidade média (m/s) |       | Vazão l/s | Pressão (mca) | Localização           |
|---------|-------|-----------------|---------|-------|--------------------------|---------|------------------------|-------|-----------|---------------|-----------------------|
| N.º     | Tipo  | Parcial         | Acumul. |       | Parcial                  | Acumul. | Parcial                | Total |           |               |                       |
| 01      | TAP   | 0               | 0       | 10:02 | 0                        | 0       | 0                      | 0     | 500       | 0,0           | R. S. Sebastião       |
| 02      | desc. | 370             | 370     | 10:12 | 10                       | 10      | 0,62                   | 0,62  | 520       | —             | R. Job Lane           |
| 03      | vent. | 465             | 835     | 10:38 | 26                       | 36      | 0,30                   | 0,54  | 510       | —             | R. Job Lane x R. Baru |
| 04      | desc. | 233             | 1187    | 10:43 | 05                       | 41      | 0,78                   | 0,43  | 530       | —             | R. Job Lane           |
| 05      | vent. | 119             | 1068    | 10:51 | 08                       | 49      | 0,25                   | 0,40  | 530       | 2,0           | Visc. Porto Seguro    |
| 06      | desc. | 444             | 1631    | 10:56 | 05                       | 54      | 1,48                   | 0,50  | 700       | —             | Visc. Porto Seguro    |
| 07      | vent. | 597             | 2228    | 11:51 | 55                       | 109     | 0,18                   | 0,34  | 300       | —             | R. Atenas             |
| 08      | vent. | 762             | 2990    | 12:24 | 33                       | 142     | 0,38                   | 0,35  | 420       | 3,0           | V. Mascote            |
| 09      | TAP   | 1015            | 4005    | 13:27 | 63                       | 205     | 0,27                   | 0,32  | 420       | 25,0          | Risca — Faca          |
| 10      | vent. | 257             | 4262    | 13:38 | 11                       | 216     | 0,39                   | 0,33  | 420       | 0,0           | Av. Pedro Bueno       |
| 11      | vent. | 293             | 4555    | 13:51 | 13                       | 229     | 0,38                   | 0,33  | 420       | 0,0           | Av. Pedro Bueno       |
| 12      | desc. | 464             | 5019    | 14:05 | 14                       | 243     | 0,55                   | 0,34  | 420       | —             | Av. Pedro Bueno       |
| 13      | cheg. | 1059            | 6078    | 15:35 | 90                       | 333     | 0,20                   | 0,30  | 300       | —             | Av. Bandeirantes      |
| (1)     | (2)   | (3)             | (4)     | (5)   | (6)                      | (7)     | (8)                    | (9)   | (10)      | (11)          | (12)                  |



Comprova-se portanto, a eficiência do elemento Polly-Pig na limpeza de linhas de concreto, justificando-se plenamente, os esforços dis-

pendidos na execução dos trabalhos. A tabela IV pode melhor ilustrar os resultados obtidos pela limpeza.

TABELA IV

Resultados obtidos com duas operações de limpeza pelo processo Polly-Pig: Linha ABV-Jabaquara  $\varnothing$  1200 mm: Idade tubulação: 12 anos

| Características/Fases | Vazão (m <sup>3</sup> /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

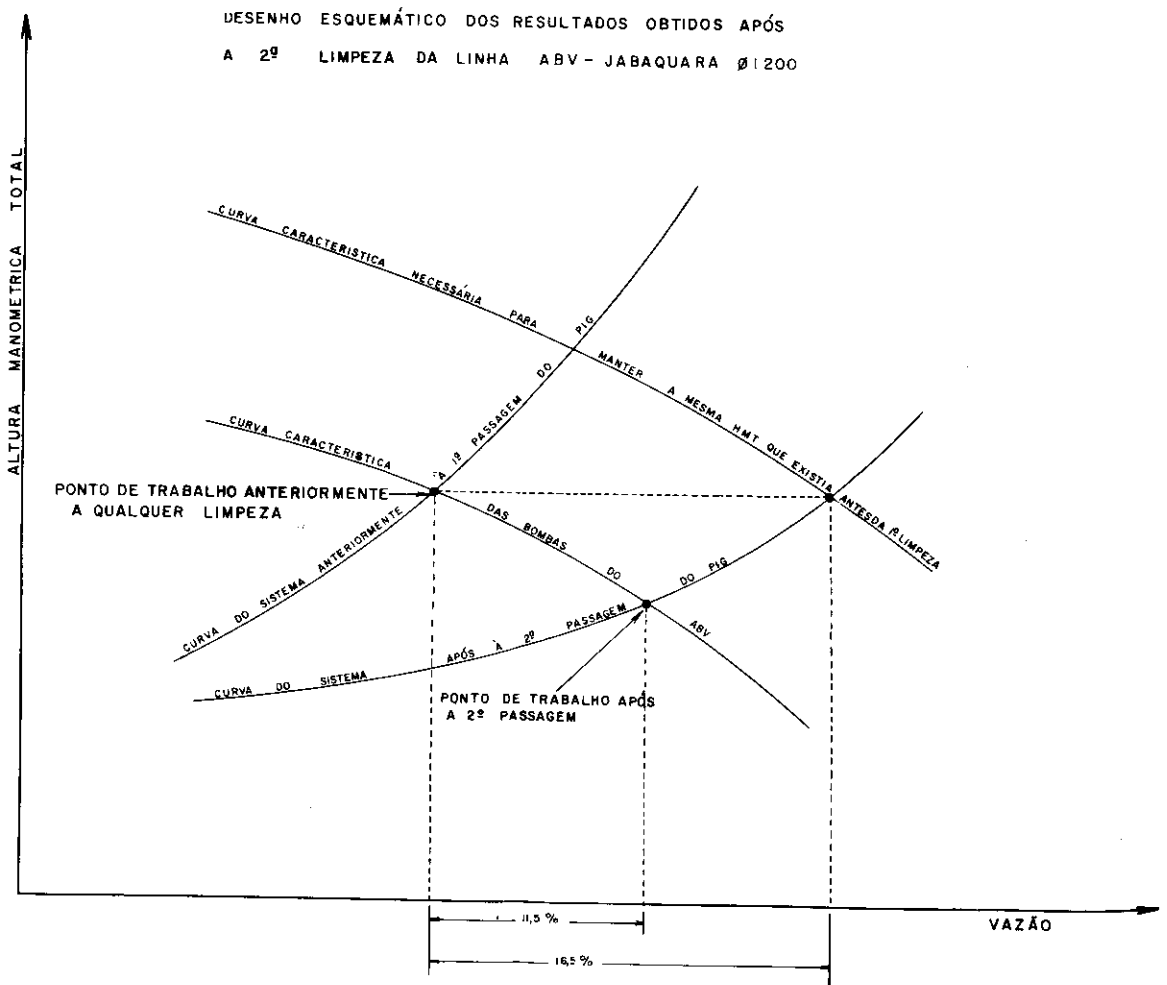


Figura 2