

Limpeza de tubulações com raspadores hidráulicos

Eng. James Shiromoto — DEM. 2
Eng. José Vanderlei Rodrigues — SDI
Téc. José Carlos Moreno — DEM. 2

1 Introdução

Um problema que há muito vem merecendo especial atenção nos sistemas convencionais de adução e distribuição de água potável consiste no aparecimento de um fenômeno conhecido como **incrustação**. Esse fenômeno se manifesta na forma de tubérculos e depósitos nas paredes internas das tubulações, ocasionando o aumento indesejável da rugosidade superficial e a diminuição da área de passagem da seção transversal do conduto. A caracterização desse fenômeno está mostrada nas figuras 1 e 2.

A formação de crostas na superfície interna dos tubos é influenciada por

diversos fatores, dentre os quais podemos destacar: alcalinidade (pH), dureza (presença de sais dissolvidos), presença de sólidos em suspensão, temperatura e velocidade do fluido, material e estado da superfície interna da tubulação etc. Através da análise desses fatores, torna-se clara a influência preponderante da natureza da água a ser aduzida: em adutoras de água bruta, como mostrada na figura 1, maior é a tendência de formação de crostas na superfície interna do tubo do que nos de água tratada (fig. 2), devido à presença de sais dissolvidos ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) e de partículas em suspensão.

Em tubos de ferro fundido não revestidos verifica-se geralmente a formação de depósitos de hidróxido de ferro insolúvel na forma de tubérculos devido à ação de bactérias oxidantes. Nas tubulações metálicas revestidas e as de material não metálico (PVC, concreto e cimento-amianto) ocorre a deposição de materiais orgânicos e minerais insolúveis. Ambos os casos acima caracterizam o envelhecimento da tubulação.

2 Fórmula de Hazen-Williams

A influência nociva do aparecimento e desenvolvimento da incrustação no interior de condutos forçados pode ser avaliada qualitativamente através da análise da equação Hazen-Williams, apresentada abaixo:

$$J = 10,643 \frac{(Q)^{1,85}}{C} \frac{1}{D^{4,87}} \quad (1)$$

ou

$$J = 6,804 \frac{(V)^{1,85}}{C} \frac{1}{D^{1,17}} \quad (2)$$

onde:

J = perda de carga unitária (m/m);

Q = vazão do fluido no interior do conduto (m^3/s);

D = diâmetro interno do conduto (m);

V = velocidade média do fluido no interior do conduto (m/s);

C = coeficiente que depende do material e do estado das paredes internas do conduto (adimensional). Para tubos novos de ferro fundido $C = 130$.

Com essas relações podemos concluir que:

a) A medida que se aumenta a rugosidade interna da tubulação, diminuindo-se conseqüentemente o coeficiente C, haverá um acréscimo na perda de carga unitária J;

b) A diminuição da área da seção transversal provoca o necessário au-

Figura 1 — Aspecto interno de uma tubulação de ferro fundido entre a casa de cloração e os decantadores da ETA Baixo Cotia. Devido à alta incidência de depósitos em suas paredes, tornou-se necessária a substituição dessa linha.

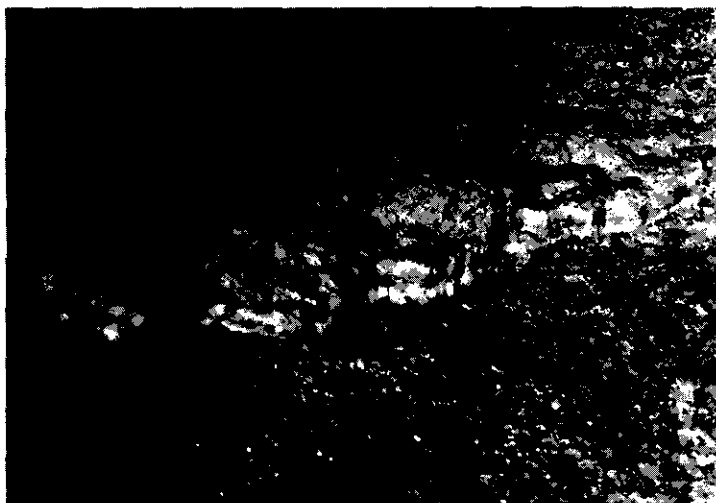


Figura 2 — Aspecto de uma tubulação de ferro fundido mostrando em detalhes a incrustação formada em suas paredes internas.



mento da velocidade média do fluido, a fim de que seja mantida a mesma vazão original. Neste caso haverá também um acréscimo na perda de carga J.

A partir dessa avaliação, torna-se evidente a dupla influência desse fenômeno sobre a perda de carga distribuída em tubulações de grande extensão. Essa influência é indesejável à medida que se torna cada vez maior a potência hidráulica necessária para se manter ao longo dos anos a mesma vazão de uma estação de bombeamento. Tal potência não pode ser ampliada indefinidamente, visto que há limitações de ordem técnica e econômica a serem consideradas:

a) O aumento da potência hidráulica exige maiores gastos com energia elétrica e com equipamentos;

b) A instalação e operação de equipamentos de maior potência tornam indispensáveis maiores cuidados operacionais e de manutenção;

c) A pressão de recalque, parâmetro ao qual está indiretamente relacionada a potência hidráulica do equipamento, está limitada pela tensão admissível do material da tubulação de recalque, estabelecida por normas;

d) O aumento da pressão de recalque necessário para vencer o gradativo acréscimo na perda de carga pode ocasionar o rompimento das junções de dois tubos adjacentes, geralmente executadas com chumbo nas tubulações de médio e grande diâmetro.

As figuras 3 e 4 mostram o comportamento do coeficiente C em função da idade da tubulação, natureza da água aduzida e do diâmetro de tubo de ferro fundido.

Atualmente, verifica-se nos grandes centros urbanos a tendência cada vez maior de ocupação das suas áreas periféricas pela população migrante. Este fato, aliado ao crescimento demográfico e industrial dessa localidade, torna evidente a necessidade do desenvolvimento de programas visando à ampliação da capacidade de tratamento, adução e distribuição de água potável, a fim de que seja atendido esse aumento de consumo. Estes programas, porém, esbarram algumas vezes na baixa capacidade de adução de linhas antigas, encontradas principalmente nas áreas centrais das metrópoles e cidades, devido ao próprio mecanismo de ocupação populacional. Nessas circunstâncias, torna-se inexecutável sua substituição, face à necessidade sempre presente da interdição do tráfego local, da movimentação de terra, da desocupação de áreas etc., sem mencionar o alto custo de material e mão-de-obra absorvida em sua execução.

Figura 3 — Influência da natureza da água aduzida sobre o coeficiente C.

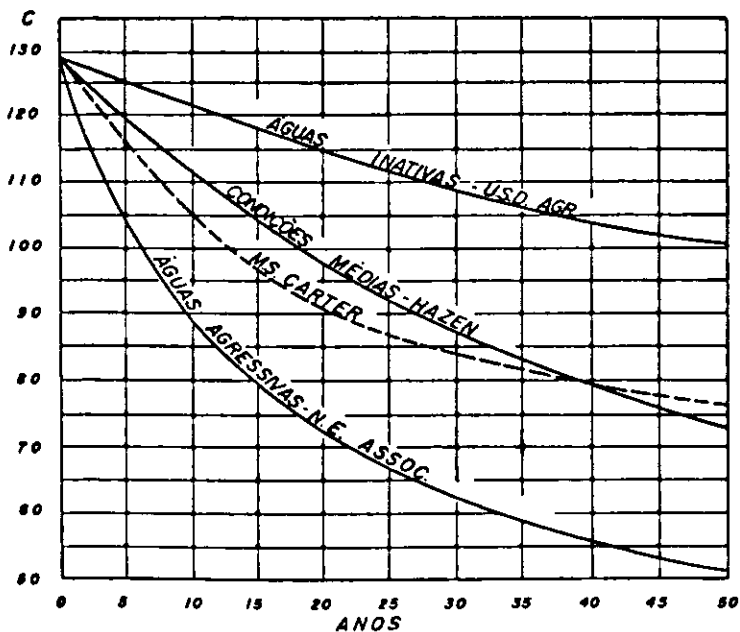
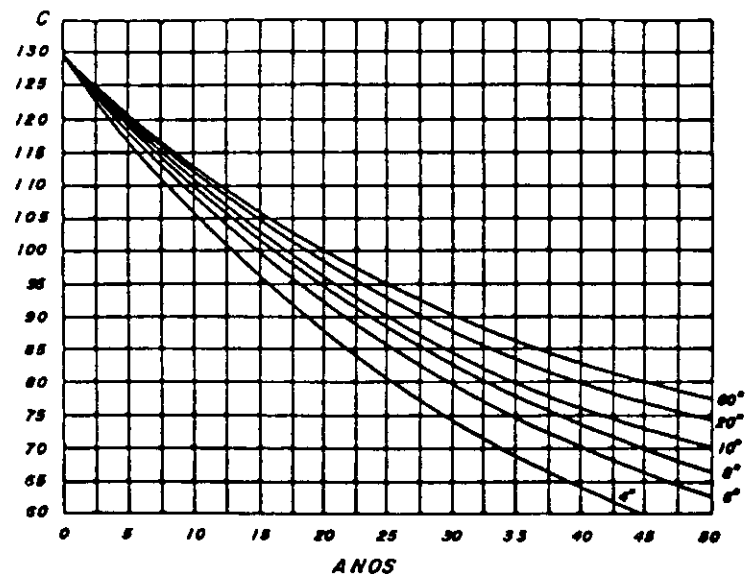


Figura 4 — Influência do envelhecimento de tubo de ferro fundido de diferentes diâmetros sobre o coeficiente C.



Levando-se em conta as observações acima, tornou-se indispensável a adoção de providências que viabilizassem a prática desses programas a um baixo custo operacional. Desenvolveram-se a partir daí diferentes métodos de limpeza interna de tubulações descritos a seguir:

a) **Processo químico:** Consiste no emprego de produtos químicos específicos capazes de reagir com os materiais previamente conhecidos existentes nas incrustações. Geralmente são utilizadas soluções ácidas (ácidos clorídrico e fosfórico) que apresentam grande eficiência na remoção de depósitos

de carbonato de cálcio (CaCO_3). Deve-se observar, no entanto, que tais soluções só devem ser empregadas em combinação com substâncias que inibem o ataque do ácido ao metal. Após a limpeza por esse processo, é imprescindível a lavagem da tubulação com uma solução básica e posteriormente com água potável. Na dissolução de depósitos de natureza orgânica, tem-se utilizado uma solução de cloro a 0,6% (ver figura 5). O processo químico é dispendioso quando empregado em tubulações de grande diâmetro e extensão, devido ao grande volume da solução necessário para ser promovida a limpeza;

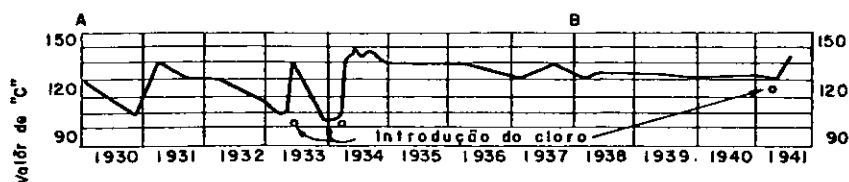


Figura 5 — Performance da limpeza através de uma solução de cloro em uma tubulação com incrustações de natureza orgânica.

b) **Processo hidráulico:** Consiste na injeção de água sob pressão para remover parcial ou totalmente depósitos minerais ou orgânicos desagregados. Esse processo, também conhecido como lavagem, é normalmente utilizado na limpeza de linhas recém-instaladas ou que tenham sido submetidas a reparos. Este processo se torna ineficaz para depósitos mais resistentes à ação da água sob pressão;

c) **Processo mecânico:** Este processo consiste no emprego de equipamentos que executam a raspagem interna das tubulações através de seu deslocamento ao longo da adutora pela ação de cabos de aço ou por outro meio diverso. A matéria de interesse do presente relatório consiste no projeto e desenvolvimento de dispositivos que utilizam a própria pressão da água da adutora para promover seu deslocamento através da mesma. Esses dispositivos, mais conhecidos como raspadores hidráulicos, estão atualmente sendo utilizados em duas concepções distintas: o "polly-pig" e o raspador de arraste hidráulico.

3 O "Polly-Pig"

Este dispositivo consiste de um corpo cilíndrico flexível com uma de suas extremidades convexas, confeccionado em poliuretano expandido e moldado através de fôrmas de aço. Em sua superfície cilíndrica são fixadas, por meio de polímeros, fitas recobertas de material abrasivo ou mesmo escovas de aço em formação helicoidal (ver fig. 6). O primeiro caso é adotado na limpeza de adutoras revestidas internamente e em tubulações de material não metálico, uma vez que nessas ocasiões não se deseja danificar a superfície interna do tubo. As escovas de aço, por sua vez, são empregadas na limpeza de adutoras de ferro fundido sem revestimento interno.

A limpeza interna da tubulação é executada pelo elemento de contato (fita abrasiva ou escova de aço), através da pressão exercida pela espuma sobre as paredes do tubo, devido ao fato de o raspador possuir um diâmetro 25 a 30 mm maior que o diâmetro interno da tubulação.

A introdução do "polly-pig" na tubulação é, algumas vezes, feita por meio de um funil confeccionado com chapa de aço que promove a deformação necessária da espuma, permitindo o seu deslocamento para o interior do tubo. Durante as primeiras experiências, esta operação foi efetuada deformando-se o dispositivo através de ripas de madeira colocadas em sua volta e amarradas por meio de um cabo de

Figura 6 — Esquema mostrando a estrutura do "polly-pig".

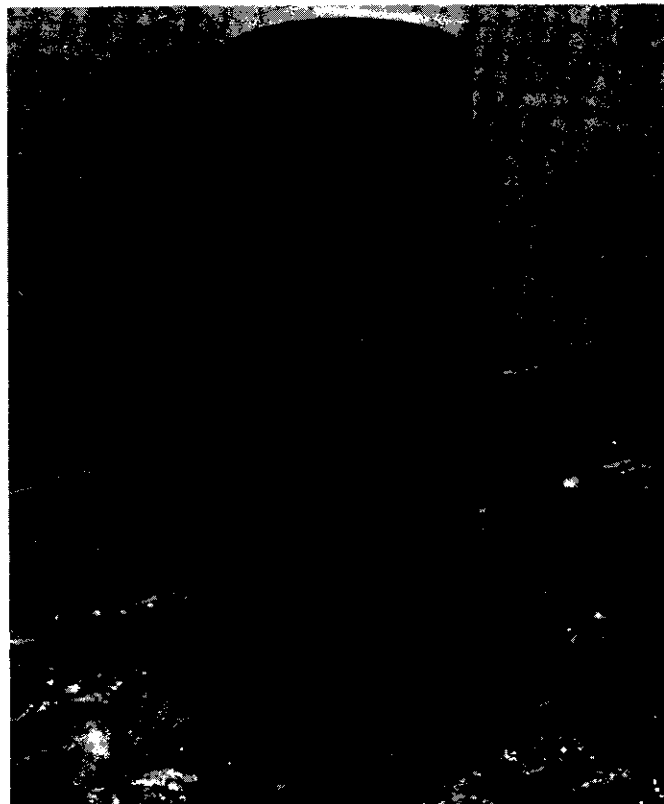
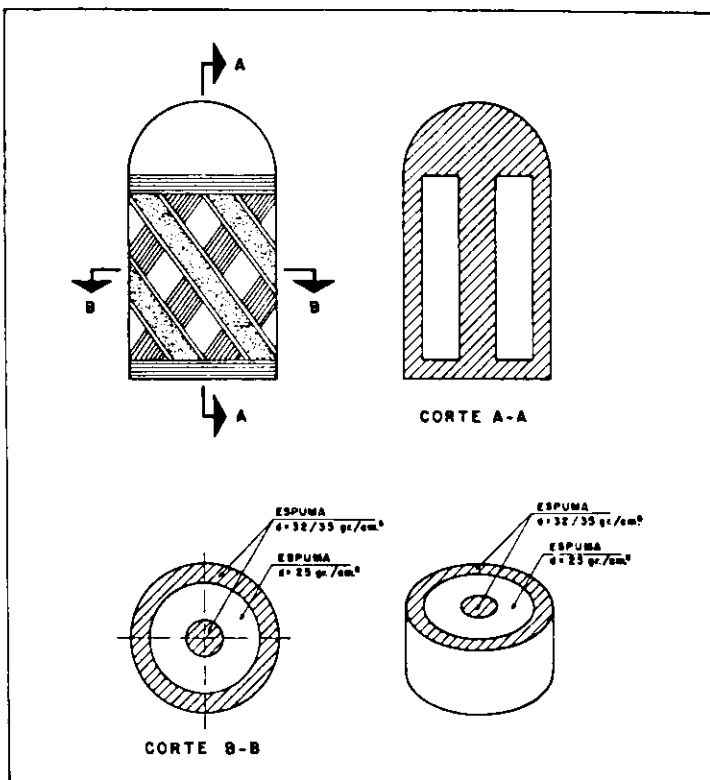


Figura 7 — Aspecto do funil para a introdução do "polly-pig" na tubulação de diâmetro 300 mm.

aço, permanecendo assim por 24 horas. Após esse período, foram retiradas as ripas e introduzido o "polly-pig" no tubo antes que o mesmo recuperasse suas dimensões originais.

As peças de menor diâmetro são confeccionadas a partir de corpos maciços com espuma de maior densidade (32 a 35 gf/cm³). Já as de dimensões maiores possuem um núcleo menos

denso (25 gf/cm³) envolvido por lâminas de espuma de densidade maior. Esta disposição confere elasticidade e resistência suficiente para que o "polly-pig" transponha curvas de 90° e tês sem sofrer danos (ver figura 6).

Este tipo de raspador possui vida útil extremamente curta, tendo raramente condições de ser utilizado mais que duas vezes, dependendo da incli-

dência de corpos estranhos durante seu percurso, tais como materiais rochosos, pedaços de madeira etc.

As primeiras experiências práticas realizadas no Brasil com este tipo de dispositivo foram realizadas com duas unidades de 1 mil e 1.200 mm de diâmetro, adquiridas pela Sabesp junto à firma norte-americana Girard Polly-pig.

Atualmente existem estudos realizados pela SDI-Superintendência de Desenvolvimento de Operação do Interior viabilizando a confecção tanto do "polly-pig" quanto da fôrma para a fabricação do mesmo. As figuras 8 e 9 mostram uma fôrma para "polly-pig" de 800 mm de diâmetro confeccionada pela SMA-Superintendência de Manutenção da Sabesp.

A figura 9 mostra em detalhes o mecanismo de fechamento do bocal por onde é feita a injeção do poliuretano. Este dispositivo deve permitir o fechamento rápido da fôrma, visto que a expansão da espuma se verifica instantaneamente. Após fechado, todo o conjunto deverá suportar a pressão gerada pela expansão do poliuretano, que pode assumir valores próximos a 5 kgf/cm² g.

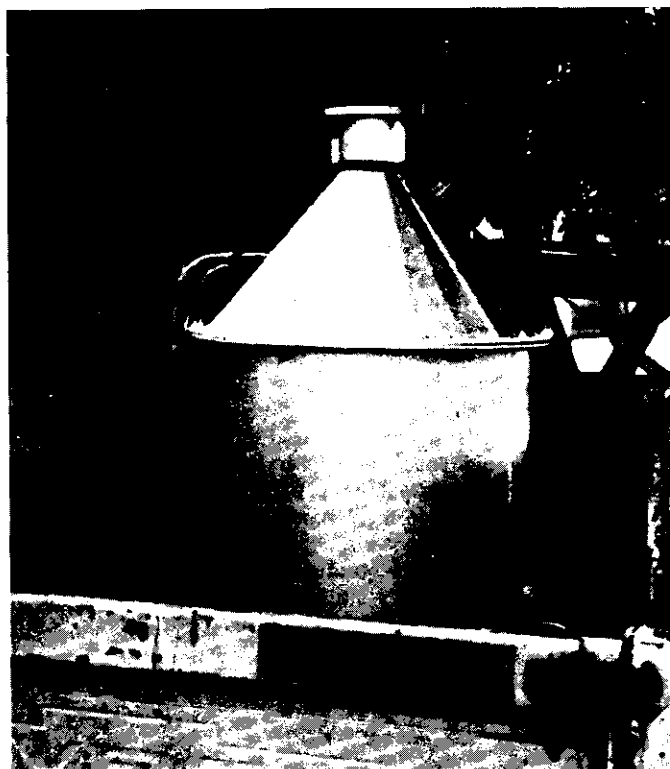


Figura 8 — Fôrma para expansão de "polly-pig" confeccionada pela SMA.

4 Raspador de arraste hidráulico

Este tipo de raspador consiste, dependendo de seu diâmetro, de um ou dois corpos cilíndricos confeccionados com chapa de aço soldada, cada um envolvido por três coroas constituídas por palhetas de aço temperado que promovem a limpeza interna de tubulações de ferro fundido, necessariamente sem revestimento interno. Estes corpos são estanques a fim de utilizar o empuxo da própria água que promove o seu deslocamento através da adutora, reduzindo o efeito do peso do raspador. Esta concepção permitiu a redução de 500 para 100 kgf a ação do peso do raspador de arraste hidráulico de 1 mil mm de diâmetro sobre a parede inferior da adutora, o que proporcionou uma limpeza uniforme de todo o seu perímetro (ver figura 10).

A necessidade de transpor curvas de 90° durante seu percurso conduziu à formulação de raspadores de dois estágios, unidos por elos ou corrente envolvida por uma mola helicoidal, conferindo flexibilidade ao conjunto (ver fig. 10).

As palhetas que envolvem os corpos cilíndricos são confeccionadas a partir de fitas de aço para mola AISI 1070, 1074 ou 1075, temperadas e revenidas até atingirem a dureza de 43 a 47 Rockwell C. Na verdade, cada palheta é constituída por um feixe de duas a quatro tiras curvas de aço de

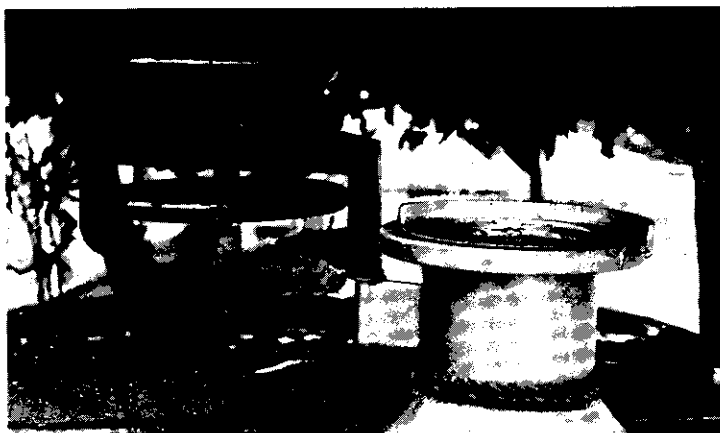


Figura 9 — Detalhe do mecanismo de fechamento do bocal para injeção do poliuretano.

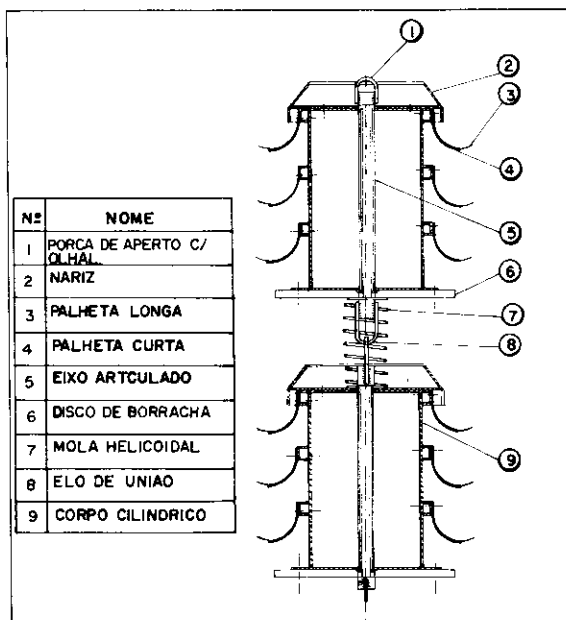


Figura 10 — Esquema do raspador de arraste hidráulico, segundo a concepção atual.

diferentes comprimentos que conferem ao conjunto boa resistência e elasticidade quando submetido a grandes deformações (ver fig. 11). Durante a confecção dessas palhetas, deve-se prever um raio de curvatura menor do que o especificado em projeto, a fim de compensar a distorção provocada pelo tratamento térmico, cuja tendência é a de causar o aumento dessa curvatura. A fixação das palhetas nos corpos cilíndricos é feita através de parafusos, o que permite a sua fácil substituição. Verificou-se, por meio de diversos ensaios já realizados com este tipo de dispositivo, que os elementos mais suscetíveis a danos e desgaste durante a operação de limpeza de adutoras são precisamente as palhetas. Sua durabilidade é inversamente proporcional à velocidade de deslocamento do raspador no interior do conduto, cujo valor ideal se situa em torno de 0,5 m/s.

Nos raspadores de dois estágios, utilizam-se palhetas de características diferentes em cada um. No primeiro, estão fixadas palhetas em cuja extremidade são confeccionados rasgos em "V", a fim de promover a desagregação dos tubérculos aderidos às paredes do tubo. No segundo, encontram-se palhetas com extremidades de raspagem lisas, que proporcionam a limpeza dos materiais menores não removidos pelo primeiro módulo (ver figura 11).

A ação de deslocamento proporcionada pela pressão da água a montante do raspador é exercida sobre um disco de borracha maciça (ou de náilon nas unidades de menor diâmetro) com diâmetro externo próximo ao interno da tubulação, instalado na parte posterior de cada módulo. O espaço livre existente devido a essa diferença de diâmetros deve ser suficiente para permitir a passagem da água pelo raspador, a fim de que seja efetuado o arraste do material removido, bem como a refrigeração e lubrificação das palhetas.

Vários ensaios e modificações foram necessários até se atingir a atual concepção de projeto e confecção. O projeto primitivo deste tipo de raspador foi desenvolvido pela SMA com a colaboração da Divisão de Planejamento de Operação de Água (Doc. 1), baseado exclusivamente em ilustrações contidas em catálogos de origem estrangeira. O início desse estudo data de 1977, quando se tornaram necessárias providências no sentido de solucionar o problema da deficiência no abastecimento de água no setor de Vila Iara, município de Osasco, devido ao acentuado crescimento demográfico e industrial da região. Ensaios hidráulicos com a subadutora que abastece a localidade tornaram evidente a sua baixa capacidade de

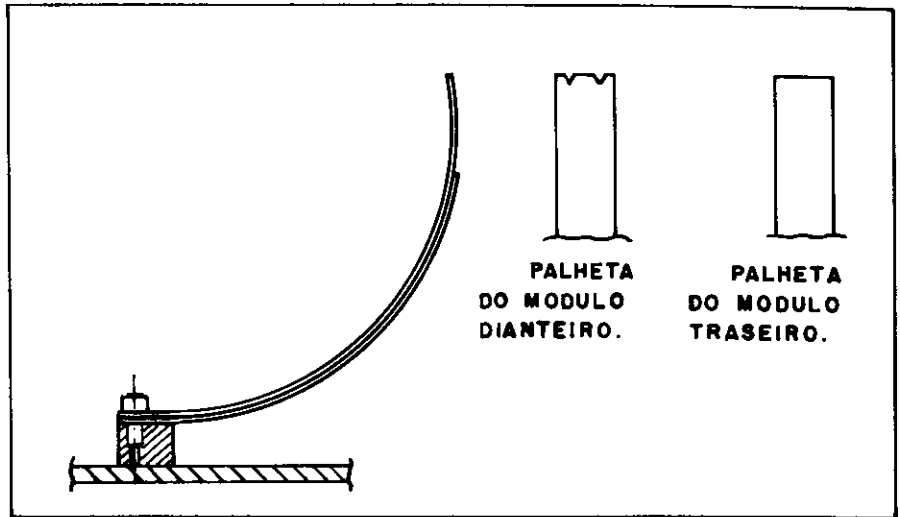


Figura 11 — Detalhe da montagem e fixação das palhetas.

adução causada pela presença de incrustações nas suas paredes internas, fato comprovado pelo baixo valor do coeficiente C avaliado em 65.

Atualmente, estão sendo confeccionados por diferentes firmas raspadores de arraste hidráulicos de 250 até 800 mm de diâmetro. Unidades menores já possuem projeto concluído, porém, estão ainda condicionados a testes de performance a serem executados.

5 Procedimento para a utilização do raspador hidráulico

O procedimento descrito a seguir abrange a utilização de raspadores independentemente de sua concepção básica ("polly-pig" ou de arraste hidráulico):

5.1 Identificação da necessidade de limpeza da tubulação

A necessidade de limpeza interna de adutoras e subadutoras é, em resumo, consequência dos seguintes fatores:

- Necessidade de aumento da vazão de água bruta ou tratada;
- Redução de pressão dinâmica de trabalho, o que ocasiona o abastecimento deficiente;
- Presença de detritos na rede devido ao constante desprendimento de partículas aderidas às paredes internas da tubulação.

Os dois primeiros itens acima são ocorrências diagnosticadas através da análise dos dados fornecidos por ensaios hidráulicos de perda de carga da tubulação. A partir desses parâmetros avalia-se o coeficiente C de Hazen-Williams por meio do qual se decide ou não pela limpeza.

5.2 Escolha dos locais de introdução e remoção do raspador

O critério de escolha desses pontos é importante, pois deve levar em consideração uma série de fatores:

a) Pressão disponível a montante do ponto de introdução do raspador para promover o seu deslocamento devido à diferença de pressão provocada pelo mesmo;

b) Perfil e profundidade de caminhamento da tubulação, bem como a existência de peças especiais, válvulas, descargas etc., no percurso do raspador. Deve-se evitar introduzir o raspador próximo a uma curva a fim de não causar a sua paralisação neste ponto;

c) Disponibilidade para a execução de valas. Neste caso, devem ser estudadas as condições de tráfego e espaço nos pontos a serem escolhidos;

d) Existência de galerias de águas pluviais ou riachos próximos ao ponto de retirada do raspador. Isso se torna necessário, pois, como esse local permanece com a tubulação aberta durante a operação limpeza, toda a vazão veiculada pela adutora que ultrapassa o raspador afluirá para este ponto. Em geral, utilizam-se bombas de esgotamento de vala para promover a remoção da água aflorante.

5.3 Escolha dos pontos de controle do raspador

A fim de que seja efetuado um controle preciso da posição e da velocidade de deslocamento do raspador hidráulico, são selecionados pontos de controle levando-se em conta a extensão total do trecho a ser submetido a limpeza, bem como a existência de curvas, válvulas e tês. Estes locais de controle são geralmente escolhidos em locais onde é permitido o contato direto com as paredes externas

da adutora, possibilitando melhores condições de detecção da passagem do raspador.

Por esse motivo, adotam-se pontos onde existem descargas, ventosas ou registros, em torno dos quais são construídas caixas de alvenaria. Em caso contrário, são abertas valas para esse fim.

A prática tem comprovado que esse controle não deve sofrer interferências de elementos estranhos à equipe designada a tal atividade. É fundamental o conhecimento da posição do raspador durante sua movimentação, a fim de que seja exercido o controle de sua velocidade de deslocamento.

Uma ou mais equipes são escaladas para percorrer estes pontos previamente escolhidos a fim de detectar e comunicar à coordenação da operação a passagem do raspador por estes locais. Cada equipe deverá possuir necessariamente um geofone para a detecção do raspador e um meio de comunicação.

5.4 Cronograma de serviços

As etapas de execução dos serviços deverão seguir a seguinte sequência:

a) Abertura de valas e escoramento do tubo nos pontos de corte. Quando da execução das valas por onde serão feitos a introdução e a retirada do raspador hidráulico, é necessário o escoramento da tubulação próxima aos pontos de corte de modo que seja evitado o desalinhamento do tubo após o seccionamento do mesmo, o que comprometeria a sua posterior reconstrução;

b) Fechamento e drenagem da linha. O isolamento e a drenagem do trecho onde será executada a limpeza são necessários para minimizar o volume de água aflorante no ponto de retirada do raspador. Essa providência também reforça o efeito de arraste sobre o dispositivo exercida pelo gradiente de pressão verificada entre pontos a montante e a jusante do mesmo;

c) Corte da tubulação nos pontos de introdução e retirada do raspador. O corte do tubo de ferro fundido para a remoção do trecho, através do qual serão feitas a introdução e retirada do raspador hidráulico, deverá ser executado preferencialmente próximo a uma junta ou bolsa a fim de que na etapa de reconstrução da tubulação seja necessária apenas a instalação de uma luva de "correr" na extremidade oposta à bolsa. Este procedimento requer o corte e remoção de um anel de largura suficiente para permitir o desacoplamento do trecho

onde será inserido o raspador (ver figura 12).

d) Introdução do raspador no trecho de tubo removido e recuperação da tubulação. A sequência básica dessa etapa está ilustrada na figura 12. No caso do raspador de arraste hidráulico, a introdução é feita na posição vertical levantando-se o dispositivo através de uma alça existente na sua parte posterior e inserindo-o no trecho de tubo removido para esta finalidade;

e) Carregamento da canalização para o deslocamento da peça. Normalmente este processo é executado por meio de abertura gradativa de uma válvula existente a montante do raspador hidráulico, procurando-se manter a sua velocidade de deslocamento a um valor constante de 0,5 m/s. Como já foi dito, esta velocidade não deve ser excessiva a fim de não causar o desgaste das palhetas;

f) Lavagem da tubulação. A passagem do raspador hidráulico no interior das tubulações causa o despreendimento dos tubérculos e depósitos na forma de partículas que acompanham o fluxo de água. A presença indesejável desses detritos em suspensão deverá ser eliminada através da lavagem da adutora, processo já descrito anteriormente;

g) Recuperação da tubulação no ponto de remoção. Esta etapa segue basicamente o procedimento mostrado na figura 12;

h) Carregamento da linha para a operação normal e liberação pelo controle sanitário. Normalmente o procedimento de lavagem da linha é acompanhada por elementos que avaliam o teor de impurezas contidas na água, mediante a amostragem da própria

água de lavagem. As vezes, torna-se necessária a desinfecção da linha antes de ser feita a liberação para a operação normal da mesma.

5.5 Limpeza propriamente dita

Não são muitos os recursos para se promover o aumento e diminuição da velocidade de deslocamento do raspador. Em sistemas de recalque de água, pode ser utilizada a variação do número de grupos motobombas em funcionamento e/ou mesmo a graduação do registro de recalque de cada grupo. Em linhas de adução por gravidade, o controle de velocidade é executado exclusivamente por meio de válvulas localizadas antes do raspador.

Outro meio disponível é a utilização de descargas: quando abertas a montante do raspador diminuem a sua velocidade, aumentando-a quando a jusante. Nesse processo deve-se abrir as descargas apenas parcialmente, evitando que as mesmas provoquem desvios na trajetória do raspador devido à mudança brusca na direção do fluxo de água, podendo ocasionar danos ao dispositivo ou até mesmo a sua paralisação neste ponto. No caso do "polly-pig" este efeito é maior, pois a flexibilidade característica deste dispositivo pode favorecer sua deformação durante a passagem neste trecho, a ponto de causar rachaduras ou mesmo o seu rompimento.

De acordo com observações realizadas através da prática de tal procedimento, concluiu-se que o mais indicado é a realização de pelo menos duas passagens do raspador na tubulação.

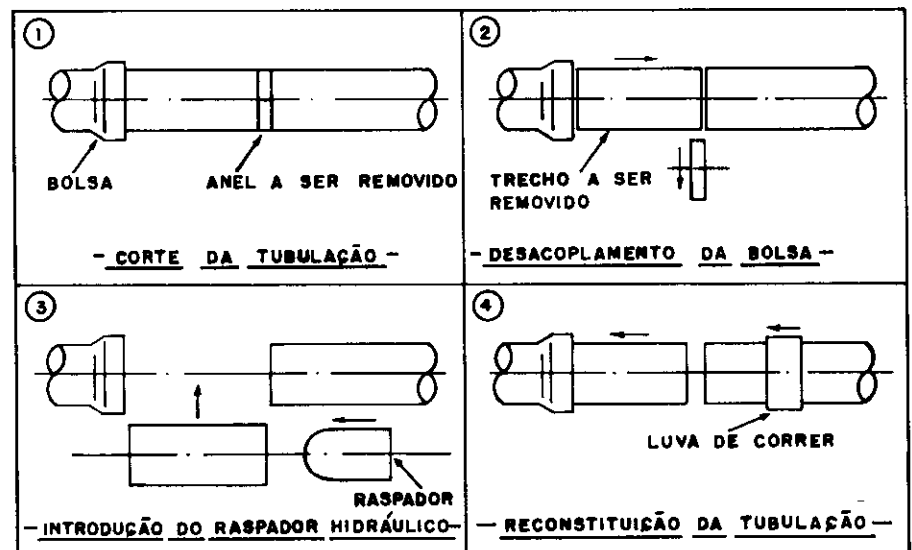


Figura 12 — Sequência de corte da tubulação de ferro fundido e Introdução do raspador hidráulico.

5.6 Avaliação dos resultados

O desempenho da operação de limpeza utilizando-se este tipo de dispositivo é avaliado através da determinação do coeficiente C a partir de dados colhidos em ensaios hidráulicos de perda de carga antes e após a limpeza. Obtém-se desse modo o aumento percentual desse coeficiente, bem como o comportamento da linha em relação ao desejado (eliminação de partículas na água, aumento da vazão, aumento da pressão de trabalho).

5.7 Processos de localização de raspadores

Um procedimento que frequentemente se torna necessário é o de localização do raspador em pontos onde ocorrem sua eventual paralisação. Durante as primeiras experiências, foram utilizadas pastilhas de material radioativo fixadas aos raspadores, o que permitia sua localização por meio de registradores de radiação manipulados por equipes do Ipen-Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares. Esse processo foi abandonado por não ser infalível e também por trazer efeitos nocivos devido à radiação aos elementos que manuseavam tal material.

Atualmente, a localização de raspadores no interior de adutoras é efetuada através de geofones que captam o ruído causado pela turbulência da água gerada pela paralisação desses dispositivos.

6 Resultados obtidos

Mostramos, a seguir, os resultados obtidos em diversos ensaios hidráulicos:

6.1 Ensaios realizados com o "polly-pig"

a) Subadutora Alto da Boa Vista — Jabaquara. Trata-se de uma linha de recalque em concreto com 1.200 mm de diâmetro e 6,6 km de extensão. Foi a primeira linha a receber limpeza com o "polly-pig". Em 1972, após dez anos desde sua construção, o coeficiente de Hazen-Williams avaliado para esta subadutora era de 109 e com a limpeza pretendia-se aumentar a vazão veiculada através dela. Obteve-se posteriormente à limpeza um aumento de 8% no valor de C, passando-o para 118. Foi recuperado o raspador e realizada nova passagem na mesma subadutora no início de 1973, alcançando o valor de 127. Testes hidráulicos realizados em 1978 não acusaram nenhuma alteração nesse valor.

b) Subadutora ABV-França Pinto (1.ª linha). Diâmetro: 1 mil mm, extensão:

6 km, material: ferro fundido sem revestimento, idade: 53 anos. Através da análise da figura 4, obtemos para os dados acima o valor 78 para o coeficiente C, sendo que através da avaliação realizada em 1973 chegou-se ao valor de 82 para a mesma tubulação.

DATA	EVENTO	COEFIC. C	VARIAÇ. %
FEV/73		82	-
JUL/73		81	- 1,2
AGO/73	1ª limpeza	90	+11,1
FEV/74		90	0
DEZ/74		89	- 1,1
DEZ/74	2ª limpeza	101	+13,5
MAI/75		94	- 6,9
MAR/76		91	- 3,2
JUL/77		91	0

c) Adutora Jabaquara-Sacomã — Diâmetro: 900 mm, extensão: 4,7 km, material: ferro fundido sem revestimento, idade: 30 anos.

DATA	EVENTO	COEFIC. C	VARIAÇ. %
OUT/77		70	-
DEZ/77	limpeza	82	+17,1

Um fato a ser lembrado nesta oportunidade é a danificação parcial do "polly-pig" após ter transposto uma descarga de 300 mm de diâmetro totalmente aberta. Nesta mesma ocasião o raspador transpôs um tê de passagem lateral sem problemas.

d) Adutora de Cajuru — Diâmetro: 200 mm, extensão 2,5 km, material: cimento-amianto, idade: dez anos.

DATA	EVENTO	COEFIC. C	VARIAÇ. %
NOV/77		80	-
DEZ/77	limpeza	113	+41,3

Cabe comentar que o "polly-pig" utilizado nesta operação foi confeccionado a partir de sucata de um raspador de maior diâmetro utilizado anteriormente.

6.2 Ensaios utilizando raspadores de arraste hidráulico

A performance desse tipo de dispositivo está intimamente ligada à sua concepção construtiva. As primeiras versões, ao contrário das atuais, utilizavam palhetas retas de uma só lâmina fixadas ao corpo através de rebites. Na confecção desses componentes o material basicamente utilizado era o aço SAE 1.095 temperado e revenido com dureza entre 58 e 63 Rockwell C. Essa construção não proporcionava suficiente elasticidade e resistência a esses elementos, que se rompiam com frequência devido à fra-

gilidade introduzida pela alta dureza conferida pelo tratamento térmico.

O diâmetro externo dessas versões era 40 a 50 mm maior que o diâmetro nominal da tubulação. Seus corpos cilíndricos não eram estanques o que não lhes permitia utilizar o empuxo quando imersos em água. Isso ocasionava uma limpeza deficiente da parede superior da tubulação devido à maior deformação das palhetas inferiores quando submetidas ao peso próprio do raspador (ver fig. 13).

Raspadores de arraste hidráulico com essa concepção foram testados, obtendo-se os seguintes resultados:

a) Subadutora Bela Vista-Vila Iara. Diâmetro: 375 mm, extensão: 3,1 km, material: ferro fundido sem revestimento, idade: 25 anos.

DATA	EVENTO	COEFIC. C	VARIAÇ. %
MAI/77		65	-
DEZ/77	1ª limpeza	84	+ 29,2
MAR/78	2ª limpeza	109	+ 29,8
JUN/78		98	- 10,1
SET/78		94	- 4,1
NOV/78		96	-
FEV/80		95	-

Nessa ocasião, o raspador ficou parado junto a uma descarga de 150 mm de diâmetro que se encontrava totalmente aberta.

b) Subadutora Guaraú-Santana. Diâmetro: 600 mm, extensão: 2,8 km, material: ferro fundido sem revestimento, idade 90 anos.

DATA	EVENTO	COEFIC. C	VARIAÇ. %
MAR/79		64	-
MAR/80	1ª limpeza	69	+ 7,8
ABR/80	2ª limpeza	77	+ 11,6
ABR/81		80	-

Por ocasião da primeira limpeza, constatou-se que o diâmetro externo do raspador excedia em apenas 20 mm o diâmetro interno da tubulação, razão pela qual se obteve um acréscimo apenas razoável no coeficiente C. Após a segunda limpeza, observou-se que o raspador apresentava a perda de metade do número de palhetas nas duas primeiras coroas. Caracterizou-se então como pontos frágeis a fixação das palhetas por meio de rebites, que foram eliminados nos projetos posteriores.

c) Subadutora de Santos. Diâmetro: 550 mm, extensão 4 km, material: ferro fundido sem revestimento, ano de teste: 1978.

Na oportunidade, o coeficiente C calculado era de 61. Foram realizadas duas tentativas de limpeza nesta sub-

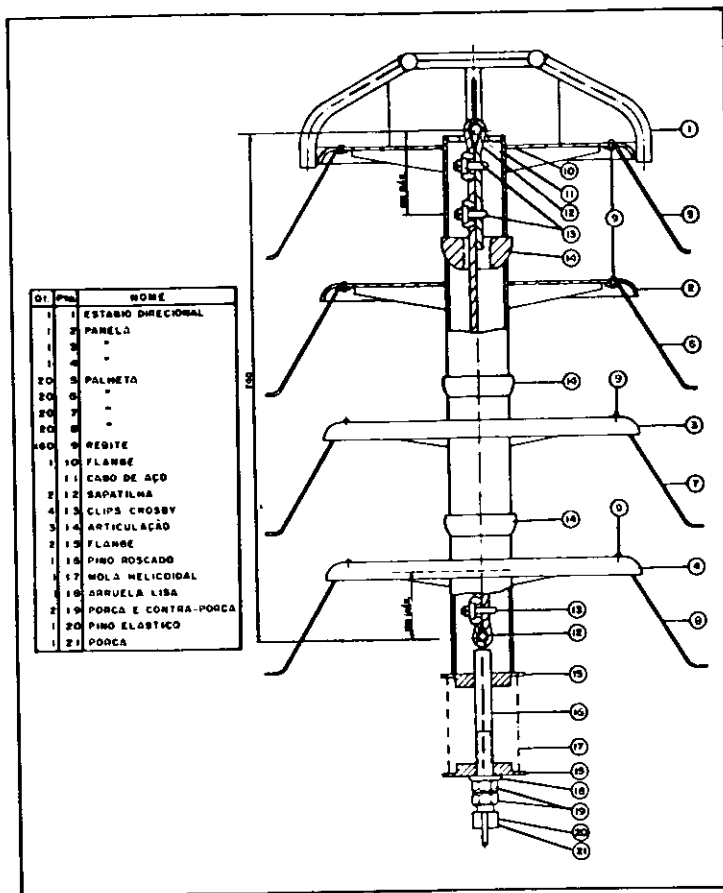


Figura 13 — Esquema do primeiro raspador de arraste hidráulico confeccionado pela Sabesp.

d) Subadutora Jabaquara-Sacomã. Diâmetro: 900 mm, extensão: 4,7 km, material: ferro fundido sem revestimento, idade: 30 anos.

DATA	EVENTO	COEFIC. C	VARIAÇ. %
OUT/79		78	-
OUT/79	limpeza	97	+ 24,4

Nesta limpeza ocorreu a parada do dispositivo em um tê de passagem lateral após ter percorrido cerca de 2/3 da extensão total prevista. Testes hidráulicos mostraram que a perda de carga provocada pelo raspador era de 5 mca para uma vazão de 650 l/s. A localização exata do mesmo foi feita mediante um geofone.

Cabe mencionar ainda que a incidência de sujeira na água foi um dos fatores que motivaram a limpeza dessa tubulação, sendo os resultados satisfatórios.

e) Adutora Utinga-São Brás (Belém-PA). Diâmetro: 900 mm, extensão: 3 km, material: ferro fundido sem revestimento, idade: 80 anos.

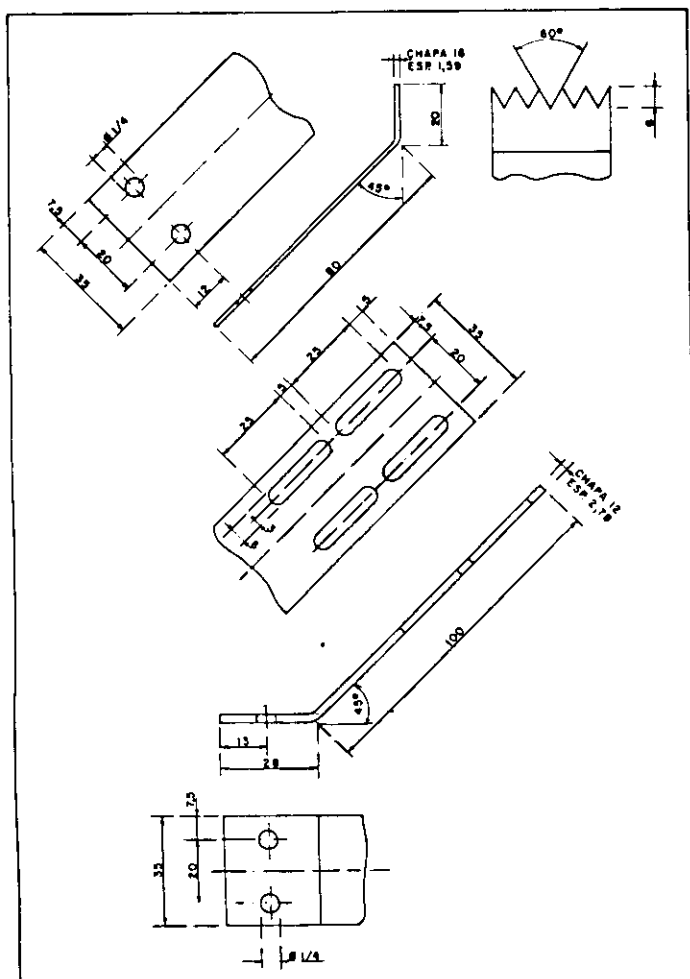
DATA	EVENTO	COEFIC. C	VARIAÇ. %
ABR/80		58	-
ABR/80	limpeza	89	+53,4

adutora, ocorrendo em ambas as seguintes falhas: parada do raspador por rompimento da solda do gancho de união entre os módulos e destruição quase total das palhetas. Nessa época, pretendeu-se introduzir novas concepções construtivas, entre as quais se procurava empregar palhetas reguláveis para permitir que o raspador fosse utilizado em diferentes diâmetros de tubulação (550, 600 e 650 mm). Essa modificação constava basicamente de palhetas constituídas por duas peças cuja fixação uma a outra permitia a variação do comprimento total do conjunto (ver figura 14). Experiências mostraram que tal concepção provocava o enfraquecimento da palheta no ponto de união das duas peças.

Outra modificação introduzida na época foi a adoção de elos soldados na união dos dois estágios, em substituição à corrente de fixação. Essa alteração não obteve resultados satisfatórios, pois a solda dos elos em cada estágio mostrou ser um ponto de fragilidade do conjunto, rompendo pela ação de esforços devidos ao movimento relativo entre os dois módulos. Durante o teste, soltou-se o elo soldado ao primeiro estágio provocando a paralisação do conjunto no interior da subadutora.

A partir desses resultados, foi abandonada a primeira modificação acima, sendo a segunda adotada apenas para diâmetros menores.

Figura 14 — Modificação construtiva das palhetas, o que lhes permitia a variação de comprimento.



O acréscimo em 53,4% no valor do coeficiente C foi o maior já registrado em uma única limpeza com este tipo de raspador.

f) Adutora Guarapiranga-ABV (3.ª linha). Diâmetro: 1 mil mm, extensão: 3,2 km, material: ferro fundido sem revestimento, idade: 28 anos.

DATA	EVENTO	COEFIC. C	VARIAÇ. %
MAR/81		57	-
MAR/81	limpeza	71	+24,6

Neste teste foi utilizado um raspador já com corpos cilíndricos estanques, concepção adotada até os dias de hoje. Nesta fase ainda se utilizavam apenas duas carreiras de palhetas retas em cada módulo.

Apesar da pouca diferença entre os diâmetros externo do raspador e interno da tubulação (em torno de 4 mm), obteve-se o aumento considerável do coeficiente C de 24,6%.

g) Adutora Guarapiranga-ABV (1.ª linha). Diâmetro: 1 mil mm, extensão: 3,5 km, material: ferro fundido sem revestimento, idade: 28 anos.

DATA	EVENTO	COEFIC. C	VARIAÇ. %
ABR/81		60	-
ABR/81	limpeza	83	+38,3

Foram feitos os reparos necessários no raspador utilizado na terceira linha dessa adutora, aumentando-se a distância entre palhetas diametralmente opostas em 6 a 7 mm, e efetivada a limpeza dessa linha. Nessa ocasião, verificou-se uma velocidade de deslocamento bem acima da recomendada, o que ocasionou a danificação em 50% das palhetas.

h) Adutora Guarapiranga-ABV (2.ª linha). Diâmetro: 1 mil mm, extensão: 3,5 km, material: ferro fundido sem revestimento, idade: 28 anos.

DATA	EVENTO	COEFIC. C	VARIAÇ. %
JUN/81		62	-
JUN/81	limpeza	79	+27,4

Nessa limpeza foi utilizado o mesmo raspador porém, com palhetas de dureza menor que a vez anterior, o que justifica o acréscimo menor do coeficiente C.

Os resultados dados a seguir referem-se a ensaios realizados através de raspadores de arraste hidráulico seguindo a concepção atual:

LOCALIDADE	Ø (mm)	COEFICIENTE "C"		
		ANTES	APÓS	ACRÉSC. (%)
Morungaba	150	62	100	61,3
Iguape	300	79	124	57,0
Águas de S. Pedro	150	88	110	25,0
Charqueada	125	57	117	105,3
Juquiá	200	95	106	11,6
Piraju	300	71	116	63,4
Pilar do Sul	150	41	99	141,5
Registro	150	69	85	23,2
Ribeirão Branco	150	66	115	74,2
São Roque	250	71	110	54,9
São Roque	300	74	133	79,7
São José dos Campos	600	64	126	96,9
Campos do Jordão	125	57	119	108,8
Campos do Jordão	250	61	101	65,6
Campos do Jordão	150	60	97	61,6
Novo Horizonte	200	90	115	27,8
Terra Roxa	125	50	111	122,0
Adamantina	250	77	108	40,3

7 Confecção de raspadores hidráulicos

Quando da confecção ou inspeção de raspadores fabricados por terceiros, é importante se observar o diâmetro externo do dispositivo, bem como a dureza de suas palhetas, fatores que vão determinar o bom desempenho da limpeza através de tais equipamentos.

8 Conclusões

Em termos de operação em si, as áreas da empresa que se têm dedicado ao estudo desse assunto concluíram que o mais indicado é a realização de pelo menos duas passagens do raspador pela tubulação e que todo dispositivo deve ser inspecionado antes de sua introdução definitiva na adutora, verificando-se principalmente o diâmetro externo do raspador, a elasticidade e a dureza das palhetas. Outro teste útil é o da avaliação da força necessária ao arraste do raspador executado através de simulação do percurso do dispositivo na tubulação ao qual é acoplado um dinamômetro tracionado por um cabo de aço.

Uma avaliação simples sobre as vantagens de tal processo pode ser efetuada levando-se em consideração o seu custo de execução e o benefício obtido através do mesmo. O custo se resume na confecção do raspador, abertura das valas, corte e reconstituição da tubulação, volume de água gasto na operação, aterramento das valas, recomposição de pavimentos, transporte, materiais e mão-de-obra. O benefício

pode ser calculado mediante a avaliação do custo de assentamento de uma linha de diâmetro suficiente para veicular o acréscimo de vazão de água proporcionado pela limpeza.

Como dado adicional obtido em função da observação de medições hidráulicas, podemos dizer que, nos três primeiros meses subsequentes à realização da limpeza, há uma redução parcial do valor do coeficiente C em torno de 10%, estabilizando-se neste patamar, o que torna possível uma estimativa segura dos resultados.

9 Relação de anexos

- Conjunto geral de um raspador de arraste hidráulico de diâmetro de 300 mm;
- Idem, porém de diâmetro de 1 mil mm.

10 Bibliografia

- REVISTA DAE
Artigo: Limpeza de tubulações
Rodrigues, José Vanderlei; Moretti, Marcos Antonio Ano XLI n. 126 set/1981;
- CORROSAO
Gentil, Vicente
Editora Guanabara Dois S/A, Rio de Janeiro — 1982;
- MANUAL DE HIDRÁULICA
Azevedo Netto, José Martiniano de
Editora Edgard Blücher, São Paulo — 1973;
- MANUTENÇÃO EM ADUTORAS
Moreira de Fonseca, Eng. Elycio A.
Cetesb — Secretaria dos Serviços e Obras Públicas.
São Paulo — 1974.