

## MÓDULO 4

### 4.3 - PROCEDIMENTOS DE INSTALAÇÃO ENTERRADA POR MND

#### ● Normas Aplicáveis

- Tubos: NBR 15.561; NTS 194; NBR 14.462, EN 12.201-2; Módulo 1.2
- Conexões Soldáveis: NBR 15.593; NTS 193; NBR 14.463, EN 12.201-3; Módulo 1.3
- Diretrizes para Projetos: NBR 15.802; NTS189
- Conexões Mecânicas: NBR 15.803; NTS 192; ISO 14.236; UNI 9561; Módulo 1.3
- Procedimentos de Instalação: NBR 15.950; NTS 190; Módulos 4.2 e 4.3
- Procedimentos de Reparo: NBR 15.979; NTS 191; Módulo 4.5
- Procedimento para Solda de Topo: NTS 060, DVS 2207; Módulo 4.6 e 3.1
- Procedimento de Solda de Eletrofusão: NBR 14.465; DVS 2207; Módulo 4.7 e 3.1
- Requisitos p/qualificação Soldador, Instalador e Fiscal: NBR 14.472; NTS 059; Módulo 3.1
- Procedimento de Teste de Estanqueidade: NBR 15.952; Módulo 4.8

#### ● Métodos Não Destrutivos (MND)

Os métodos de instalação chamados não destrutivos (MND) têm sido cada vez mais empregados, tanto na recuperação de linhas velhas, quanto na instalação de novas. Nos grandes centros urbanos já respondem pela maioria das instalações, por conta de sua menor intervenção e distúrbio ao tráfego e à população.

Nessas aplicações, os tubos poliolefinicos, e especialmente os de polietileno, demonstram uma de suas maiores vantagens em relação às tubulações convencionais.

Nos últimos anos desenvolveram-se algumas técnicas de MND, cada qual com particular virtude para certas aplicações, em especial:

- **Furo Direcional, Inserção (*Sliplining*) e PipeBursting:** o tubo inserido é estrutural;
- **Close Fit (*Swagelining, Titeliner, U-lining, Roldown*):** o tubo inserido é semi-estrutural;

A escolha do melhor método de instalação e sua viabilidade depende das condições locais da instalação, das condições de operação da linha e das exigências estruturais da tubulação.

#### **Os principais fatores a serem considerados são:**

- Caminhamento da tubulação, se substituirá linha velha ou novo caminhamento;
- Desnível projetado da tubulação (possível ou não de ser atendido);
- Espaço para entrada do equipamento de instalação (caminhões-bomba, guinchos, etc);
- Espaço para abertura da vala de entrada e saída da tubulação;
- Ângulo e curvatura de entrada da tubulação;
- Tipo de solo e interferências, entre outros.

A seguir apresentamos os métodos mais utilizados e os cálculos essenciais para sua utilização.

### ● Furo Dirigido ou Direcional (HDD)

Hoje em dia, é um dos métodos mais utilizados em instalações urbanas.

Utilizado basicamente em travessias de ruas e estradas ou para instalação de novos tubos sem a abertura de valas, onde economicamente for conveniente ou quando as condições locais forem determinantes. Também chamado HDD, *horizontal directional drilling*.

Aplica-se para tubos de diâmetro até 1000 mm e comprimentos que podem chegar a 2000 m, dependendo do tipo de solo. O tubo inserido é estrutural.

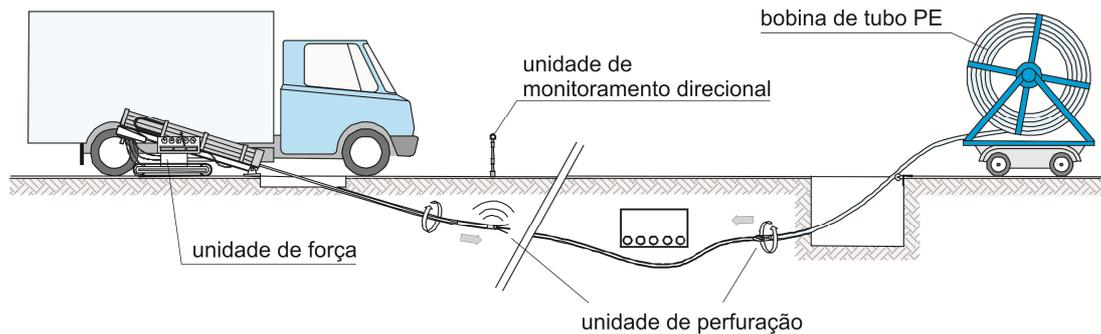


Fig. 1 - Esquema da Operação de Furo Direcional

Descrição: Consiste de Unidade de Força, Unidade de Perfuração, e Unidade de Monitoramento Direcional.

A **Unidade de Força**, normalmente, fica instalada em um caminhão contendo bombas de alta pressão, tanque misturador de fluidos de perfuração (água + bentonita), tanque de água, bombas hidráulicas para acionamento dos motores hidráulicos, gerador elétrico e instrumentos de medição (manômetros e/ou dinamômetros).

A **Unidade de Perfuração** incorpora a **Unidade de Torque** e o **Dispositivo de Avanço Recuo** da unidade de torque. Deve incorporar ainda um dispositivo mecânico para evitar que a força de puxamento seja maior que a admitida pela tubulação. Normalmente esses dispositivos são chamados de "**fusíveis mecânicos**", que se rompem quando atingem a força máxima especificada. Existem várias graduações de força e deve-se escolher o fusível adequado para cada instalação em função do diâmetro do tubo e seu SDR (vide Força máxima de Tração).

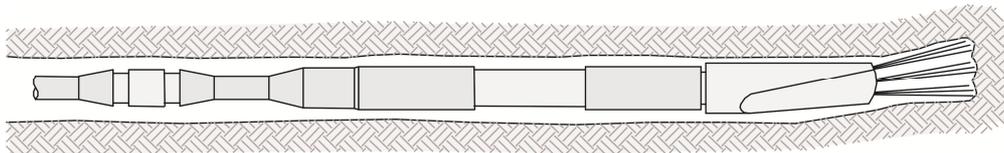


Fig. 2 - Sonda de perfuração

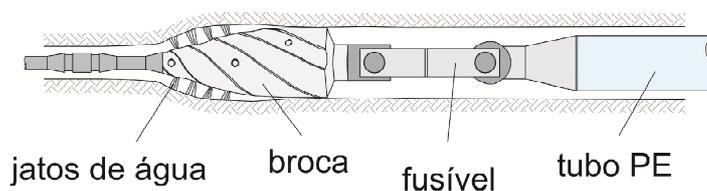


Fig. 3 - Broca escariadora

A **Unidade de Monitoramento Direcional** é um dispositivo eletrônico que recebe as ondas de rádio providas da sonda de perfuração e identifica a sua posição e profundidade, para que se possa monitorar e controlar a direção de perfuração, através da Unidade de Perfuração.

• **PROCEDIMENTO BÁSICO:**

- a) Topografia, Sondagens e Cadastramento das interferências do trajeto da linha e projeto de definição da travessia. Conveniente usar equipamento de detecção de cabos elétricos.
- b) Abertura das caixas (poços) nas duas extremidades da linha, para a entrada e saída da ferramenta de perfuração. O comprimento de perfuração contínua depende do equipamento e características do terreno. São comprimentos usuais de até 200 m. Há casos excepcionais de até 2000 m.
- c) Posicionamento da Unidade de Perfuração na caixa de entrada e adequado **aterramento da unidade**, protegendo o operador de acidentes por contato com cabos elétricos enterrados eventualmente não previamente identificados.
- d) Em função do terreno, determina-se o tipo de bicos injetores da lama bentonítica instalado na sonda de perfuração.
- e) Posiciona-se a sonda, na caixa de entrada, presa à haste de perfuração, pela qual é bombeada a lama bentonítica a alta pressão até seus bicos injetores.

A perfuração se estabelece pelos movimentos simultâneos de avanço linear e rotação do conjunto haste/sonda, ao mesmo tempo em que a lama bentonítica perfura hidráulicamente o solo, lubrifica a passagem das hastes e reveste e consolida o micro túnel, para não ocorrer seu desmoronamento. Conforme a perfuração avança, novas hastes são roscadas a esta linha perfuratriz. Normalmente estas hastes têm comprimentos de 2 a 9 m.

Deve-se observar o raio de curvatura mínimo admissível das hastes, bem como sua resistência à tração.

Uma pessoa, através da unidade de monitoramento, segue a sonda identificando sua posição e dando as devidas orientações ao controlador da Unidade de Perfuração, para realizar as devidas correções de trajetória. Isto é possível interrompendo-se o giro da sonda, e prosseguindo o avanço. O formato biselado da sonda e a direção dos jatos da lama provocam seu desvio para o rumo desejado.

O tipo de solo determinará, ainda, a velocidade de rotação, avanço e pressão de injeção da lama bentonítica (à ordem de 360 bar) e sua concentração.

- f) Após a passagem da sonda, constituindo o furo piloto de aproximadamente 2 polegadas, esta é substituída por uma broca escareadora/alargadora que também possui bicos injetores de lama bentonítica. Neste caso, em função do diâmetro do escareador e do tubo a ser instalado, pode-se ter as seguintes situações:
  - f1) O escareador é suficiente para criar um furo adequado à passagem do tubo de PE (furo deve ser aproximadamente 50 % maior que o diâmetro do tubo de PE). Neste caso, prende-se o tubo de PE ao escareador, através de uma conexão que não transmite rotação à tubulação, e começa-se a puxar a haste de volta promovendo simultaneamente o alargamento do furo piloto e inserção do tubo de PE.

f2) As condições locais e diâmetro do escareador não permitem a inserção direta do(s) tubo(s) de PE. Neste caso, instalam-se hastes de perfuração na outra extremidade do escareador de forma tal que ao atingir a caixa de entrada pode-se repetir o processo de alargamento, tantas vezes quanto necessárias.

Após inserir o tubo, se faz as conexões necessárias e se recompõem as caixas de entrada e saída. Pode-se instalar mais de um tubo simultaneamente no mesmo furo de inserção.

#### ● Inserção ou *Relining (Sliplining)*

Consiste em se introduzir livremente, por puxamento ou empurramento, tubos poliolefinicos em linhas e tubulações corroídas e/ou danificadas de água, gás, efluentes industriais, etc., restabelecendo a integridade da linha sem necessitar abrir valas e interromper o tráfego de veículos, o que resulta em maior velocidade de execução do serviço, menor volume de trabalho e economia.

Nesta técnica, o tubo poliolefinico novo deve ter diâmetro externo de no máximo até 80% do diâmetro interno do tubo velho (em casos excepcionais até 90%).

Aplica-se quando os cálculos de vazão da nova tubulação, em função de maior pressão e/ou melhor coeficiente hidráulico dos tubos poliolefinicos em relação à linha velha, mostram-se adequados, mesmo com o diâmetro menor do tubo novo. Em muitos casos, o novo tubo instalado pode apresentar vantagens adicionais desejáveis, como barreira química, isenção de corrosões e incrustações.

Como o tubo é inserido com folga, sem interferência com o tubo velho, deve ser estrutural, isto é, dimensionado para suportar as pressões internas, externas e transientes que ocorrerão na linha, sem contar com suporte lateral, como quando enterrado.

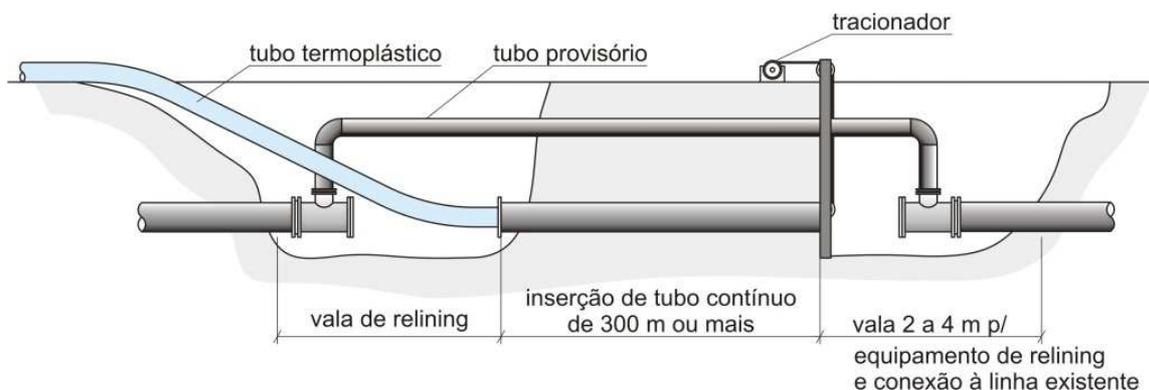


Fig. 4 - Esquema da típico da técnica de *Relining* ou *sliplining*

#### ● PipeBursting ou Torpedo rompedor

Outra técnica com tubos estruturais, que vem ganhando cada vez mais aplicação.

Sua grande vantagem reside na possibilidade de se substituir o tubo velho por outro de maior diâmetro.

Adequa-se para substituir tubos cerâmicos, de concreto, ferro fundido e até mesmo alguns tubos plásticos. Há ferramentas que possibilitam cortar tubos ao invés de rompê-los, como os de aço.

Aplica-se para tubos de diâmetro até 1400 mm e em comprimentos de até 1500 m.

A técnica, ilustrada nas figuras abaixo, consiste de uma ferramenta chamada de cabeçote ou torpedo rompedor, acionada normalmente por ar comprimido, e que é acoplada ao tubo novo. A mangueira de ar comprimido passa por dentro do tubo novo para conectar-se e acionar a ferramenta, enquanto ela é puxada por um guincho do lado de saída do tubo velho, inserindo o tubo novo enquanto quebra o velho, empurrando os fragmentos contra o solo.

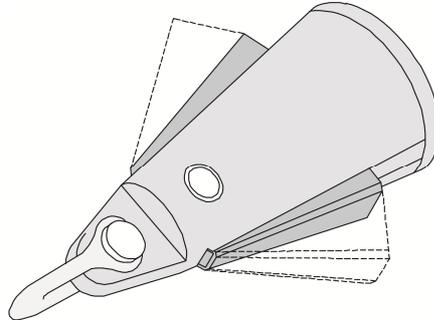


Fig. 5 -Cabeçote ou Torpedo Rompedor

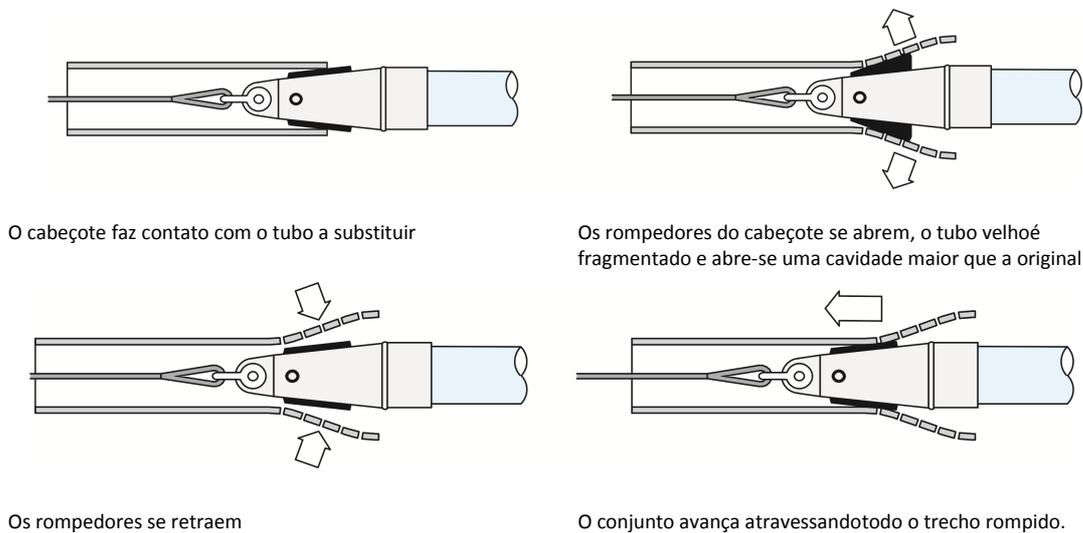


Fig. 6 -Esquema da técnica de pipebursting

● Cálculos básicos para instalações tipo MND

● Comprimento de Abertura de Vala para a Inserção

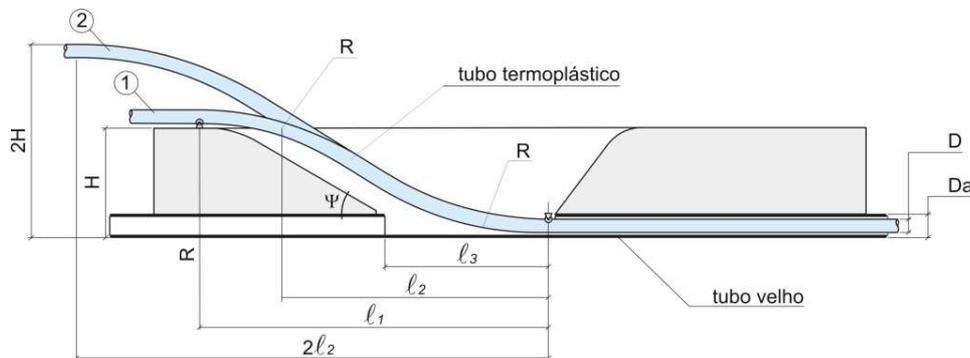


Fig.7 -Esquema e dimensionamento de vala para Inserção

O comprimento de abertura de vala para permitir a inserção do tubo plástico deve ser calculado como segue:

$$\ell_1 = \sqrt{H(4R - H)} \quad (\text{mm})$$

Onde:  $H$  = Profundidade do tubo velho (mm)  
 $R$  = Raio de curvatura permissível (mm)

Se o tubo plástico for levantado a uma altura  $H$  acima do solo, teremos:

$$\ell_2 = \sqrt{H(2R - H)} \quad (\text{mm})$$

$$\ell_3 = \sqrt{Da(2R - Da)} \approx \sqrt{2R \cdot Da} \quad (\text{mm})$$

Onde:  $Da$  = Diâmetro externo do tubo velho (mm)

A inclinação da vala de *Inserção* deve ser:

$$\text{tg } \psi = \frac{H}{\ell_1 - \ell_3}$$

#### • Comprimento Máximo de Inserção

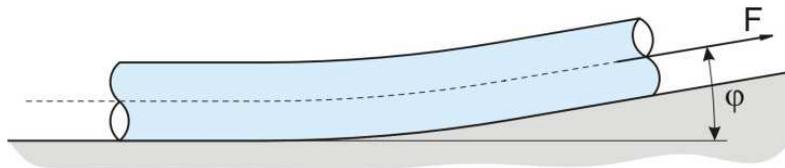


Fig. 8

O comprimento máximo de inserção para puxar um trecho de tubo novo dentro do tubo velho pode ser dado pela equação:

$$\ell_{adm} = \frac{\sigma_{adm} \cdot f_s}{\rho_p (\mu \cdot \cos \varphi \pm \text{sen } \varphi)} \quad (\text{mm})$$

Onde:  $\rho_p$  = Peso específico do material  
 (para PEAD adotar  $0,96 \cdot 10^{-5} \text{ N/mm}^3$ , e para PPadotar  $0,93 \cdot 10^{-5} \text{ N/mm}^3$ )  
 $\sigma_{adm}$  = Tensão admissível do material (gráficos tensão x alongamento de 2%)  
 Valores sugeridos para PEAD e PP: - Para 20°C:  $\sigma_{adm} = 8 \text{ N/mm}^2$   
 Para 40°C:  $\sigma_{adm} = 5 \text{ N/mm}^2$   
 $f_s$  = Fator de solda. Se o trecho tiver solda adotar 0,8, senão 1,0  
 $\mu$  = Coeficiente de atrito (até 0,8 dependendo da superfície do tubo velho)  
 $\varphi$  = Ângulo de inclinação (°)

Assim, para tubos de PEAD e PP, obtemos, para instalações onde a inclinação ( $\varphi$ ) é de até 10°, um comprimento máximo por trecho de *Inserção* da ordem de 680 m a 20°C e 425 m a 40°C.

Valores menos conservadores podem ser utilizados baseados nos gráficos de tensão x alongamento admissíveis para o material específico do tubo.

Em linhas com curvas deve-se observar que os raios de curvatura não sejam menores que os permitidos:

SDR	RAIO DE CURVATURA ADMISSÍVEL
	R
41	50.d
32 - 26	40.d
21 - 11	30.d

E o máximo comprimento de inserção nos trechos com curvas deve ser:  $\ell_B = \frac{\ell_{adm}}{e^{\mu\beta}}$  (mm)

Onde:  $\beta$  = Ângulo da curva (radianos)

$\mu$  = Coeficiente de atrito

$e$  = número de nepper

#### • Força Máxima de Tração

A máxima força de tração desenvolvida na Inserção é limitada não só pela máxima tensão de tração do tubo, como também pelas tensões originadas na região da cabeça ou torpedo de puxamento do tubo.

Há vários tipos de dispositivos de puxamento, existindo inclusive algumas patentes de dispositivos.

Normalmente, a força de tração é transmitida para o tubo via uma solda de topo (um colarinho soldado, por exemplo) ou através de parafusos que fixam um torpedo de aço ao tubo plástico.

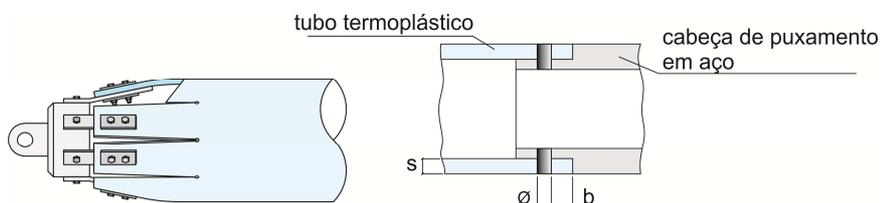


Fig 9– Cabeças de puxamento

Nestes casos, ao se calcular o comprimento máximo de inserção e a força de puxamento, deve-se levar em consideração a redução na secção transversal do tubo provocada pelos furos dos parafusos.

Para cabeças de puxamento executadas por colarinho e flange, ou por um cone soldado ao tubo, pode-se adotar as máximas forças de tração especificadas na Tabela abaixo:

A tabela baseada em tubos PE 80, adotando-se uma tensão máxima de tração de 75 kgf/cm<sup>2</sup> (7,5 MPa), o que equivale aproximadamente à tensão circunferencial mínima admitida de 6,3 MPa multiplicada por 1,5 para um esforço contínuo de 1h, com fator de solda de 0,8.

$$F = \sigma_t \cdot A = \sigma_c \cdot 1,5 \cdot f \cdot A = 63 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot A$$

$$F = 75 \cdot A \text{ (sendo } A, \text{ seção transversal do tubo)}$$

Não havendo soldas no trecho puxado, a força pode se multiplicada por 1,25.

Para tubos de PE 100 e PP a força também pode ser multiplicada por 1,25.

**Máxima força de puxamento de tubos (kgf)**

DE	SDR 32,25	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9	SDR 7,25
20						96	96	114
25						123	147	177
32				161	167	205	241	292
40			204	212	261	316	376	454
50		258	269	332	404	492	586	701
63		356	424	530	645	782	924	1.113
75		493	606	748	916	1.108	1.319	1.584
90		713	868	1.076	1.315	1.580	1.885	2.283
110		1.070	1.307	1.608	1.967	2.356	2.832	3.395
125		1.386	1.682	2.076	2.353	3.051	3.638	4.390
140		1.714	2.106	2.578	3.179	3.840	4.577	5.518
160		2.246	2.763	3.369	4.153	5.002	5.964	7.181
180		2.853	3.473	4.268	5.260	6.322	7.540	9.100
200		3.488	4.306	5.274	6.498	7.796	9.337	11.211
225		4.434	5.450	6.681	8.196	9.878	11.781	14.209
250	4.451	5.492	6.676	8.254	10.141	12.206	14.555	17.518
280	5.561	6.850	8.417	10.302	12.703	15.291	18.290	22.003
315	7.047	8.704	10.603	13.055	16.077	19.360	23.091	27.827
355	8.994	11.017	13.463	16.600	20.369	24.559	29.364	35.329
400	11.324	13.955	17.142	21.096	25.913	31.184	37.274	44.845
450	14.382	17.736	21.707	26.630	32.785	39.511	47.124	
500	17.694	21.860	26.811	32.911	40.464	48.726	58.218	
560	22.245	27.401	33.550	41.209	50.700	61.165		
630	28.189	34.680	42.412	52.221	64.183	77.320		
710	35.820	44.069	54.004	66.253	81.475			
800	45.475	55.822	68.397	84.219	103.49			
900	57.529	70.747	86.636	106.52				
1000	70.999	87.221	107.03	131.43				
1200	102.19	125.60	154.02					
1400	139.03	170.95						
1600	181.55	223.29						

Para temperaturas maiores que 25°C, multiplicar a força de puxamento pelo fator de redução apresentado na tabela abaixo.

**Fator de redução da força de puxamento**

Temp °C	25	27,5	30	35	40
fator	1.00	0.86	0.81	0.72	0.62

• **Preenchimento da Cavidade Anular entre o Tubo Velho e o Tubo Inserido (Sliplining)**

Quando utilizado o método de sliplining (relining), a cavidade anular entre os tubos deve ser preenchida quando:

- o tubo velho não possuir capacidade adequada de suporte de cargas externas;
- o tubo novo não possuir capacidade de absorver subpressões internas por si mesmo, necessitando de suporte lateral.
- existirem muitas derivações (se poucas derivações, basta preencher só a região das mesmas);
- o tubo transportar gás, para evitar formação de misturas perigosas de gás/ar na cavidade;

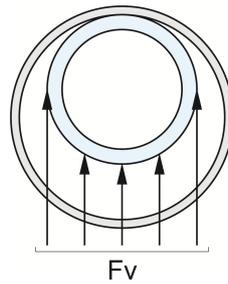


Fig. 10

Neste caso, deve-se analisar a flutuação do tubo plástico, quando o peso específico do material de preenchimento for maior que o do tubo plástico. Para prevenir que o tubo plástico flutue, pode-se colocar espaçadores.

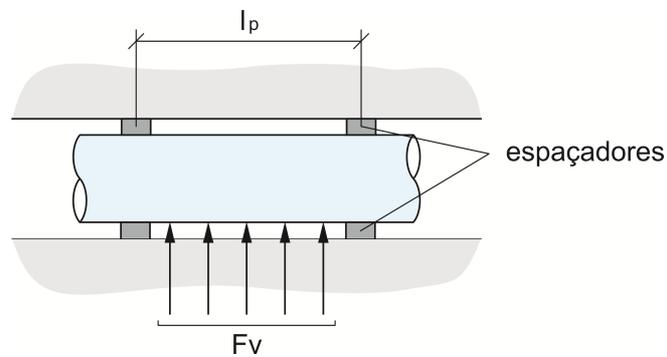


Fig. 11

É importante, também, verificar que a pressão exercida externamente ao tubo plástico, pelo material de preenchimento, não ultrapasse a pressão de colapso do tubo. (vide Módulo 4.9).

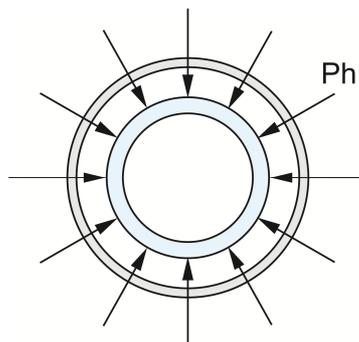


Fig. 12

Caso se faça necessária uma pressão de preenchimento maior do que o tubo pode suportar, deve-se pressurizar o tubo plástico com água a uma pressão ligeiramente maior que a de preenchimento.

#### • Derivações

Normalmente as derivações podem ser executadas após o preenchimento da cavidade, abrindo uma janela no tubo velho, retirando cuidadosamente o material de preenchimento.



### ● Técnicas de *Close fit*

As técnicas ditas *close-fits* são aquelas em que o tubo *liner* encosta ou se expande contra a parede interna do tubo velho, tal que esse exerça de forma total ou parcial a função estrutural da linha. Assim o tubo *liner* tem mais a função de barreira química, e/ou melhorar as características hidráulicas, ou mesmo vedar pequenas perfurações.

A vantagem destas técnicas reside em poder se aplicada em linhas com alta pressão, onde o tubo velho mantenha suas características estruturais.

Um dos principais fatores a se considerar nessas técnicas é a possibilidade de pressões internas negativas que levem o *liner* ao colapso. O projetista deve levar em consideração os cálculos específicos para cada técnica, conforme definido provedor da tecnologia.

### ● Swagelining

A Técnica chamada de *Swagelining* foi desenvolvida e patenteada pela British Gás e é comercializada por empresas licenciadas.

Também é uma técnica de recuperação de linhas velhas através de um *tubo-liner* de PE.

A diferença para o *Relining* convencional ou o *PipeBursting* está em que o tubo de PE, com um diâmetro ligeiramente maior que o diâmetro interno do tubo velho, é tracionado por um equipamento, provocando a diminuição do diâmetro do tubo de PE para inseri-lo no tubo velho. Após a inserção o tubo de PE, em função de sua memória molecular, recupera naturalmente seu diâmetro original (ou pressurizando-se internamente com água), vindo a se expandir, ajustando-se contra a parede do tubo velho.

Desta forma obtém-se, em comparação ao *Relining* convencional, uma menor perda no diâmetro hidráulico, nenhuma ou pequena cavidade anular entre os tubos novo e velho e o aproveitamento da resistência estrutural do tubo velho.

O tubo de PE, neste caso, tem apenas a função de *liner*, ou barreira química, pois a resistência estrutural é dada pelo tubo velho, permitindo a recuperação de linhas de grande pressão, como linhas de petróleo ou gás.

Como desvantagens estão a maior complexidade da operação, equipamento mais caro, e tubos de diâmetros especiais para ajustarem-se ao tubo velho, e ainda a preocupação com linhas sujeitas a subpressão ou pressão externa, pois o tubo velho provê suporte parcial, sendo necessária a avaliação da resistência do *liner* ao colapso, bem como sua capacidade de suportar regiões do tubo velho com furos.

O *Swagelining* é possível devido à capacidade do PE de resistir a grandes esforços de tração por um curto período e à sua grande memória molecular.

Basicamente, o processo consiste de um equipamento com uma matriz com diâmetro menor que o tubo de PE pela qual o tubo é forçado a passar, enquanto o tubo é puxado, por guincho, através de cabo de aço que passa por dentro do tubo velho, de tal forma que o tubo de PE é tracionado, diminuindo seu diâmetro, porém sem incorrer em diminuição significativa da espessura. Após a passagem total pelo tubo velho, interrompe-se a tração, resultando no

retorno do tubo a praticamente seu diâmetro original, forçando-o contra a parede interna do tubo velho.

É utilizado tanto no método de tração a quente, quanto à temperatura ambiente.

Permite a inserção de comprimentos da ordem de 1500 metros e tubos com diâmetro entre 100 e 500 mm. Utilizam-se tubos de polietileno de SDR entre 33 e 11.

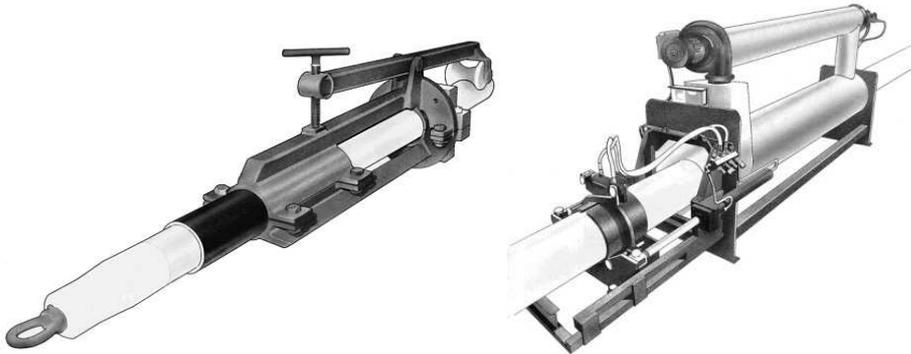


Fig. 13 - Swagelining

#### ● Rolldown

O mesmo objetivo e princípio do *Swagelining*, porém ao invés de tracionado o tubo é comprimido.

O tubo é empurrado por um equipamento através de uma série de roletes, ao longo da circunferência, comprimindo o diâmetro do tubo, de forma a rearranjar a estrutura molecular e diminuir o diâmetro do tubo, aumentando a espessura de parede com uma elongação mínima.

Após, a passagem total é aplicada pressão interna para recuperar a memória do plástico fazendo-o recuperar praticamente seu diâmetro original e comprimindo-se (acomodando-se) ao tubo velho.

Tem as mesmas vantagens e desvantagens do *Swagelining*.

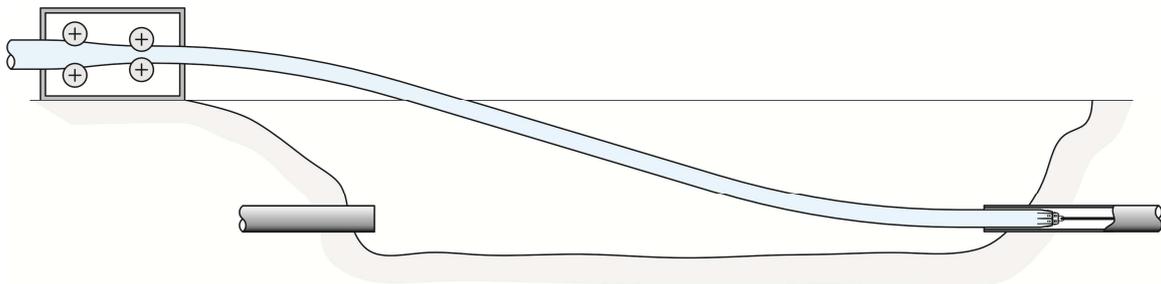


Fig.14 - Rolldown

Nas derivações, a British Gas desenvolveu um dispositivo hidráulico de corte, que retira uma janela do tubo velho sem afetar o *liner* de PE, permitindo a solda por eletrofusão de Tês de Sela ou de Serviço para o Ramal.

- **U-Lining**

A técnica de U-Lining consiste em produzir-se tubos de diâmetros especiais que são conformados, na saída da extrusora ou na obra, através de roletes, como a letra U, ou seja, curvando a geratriz externa para dentro.

Os tubos são amarrados nessa forma, diminuindo seu diâmetro e introduzidos no tubo velho.

Após a instalação dentro do tubo velho, aplica-se pressão fazendo com que as amarras se rompam e o tubo readquira a forma original, comprimindo-se contra a parede interna do tubo velho.

Adequa-se a diâmetros de 75 a 1200 mm e sua principal limitação reside na fabricação de diâmetros e SDRs especiais (SDR 26 a 80) para adequar-se ao tubo.

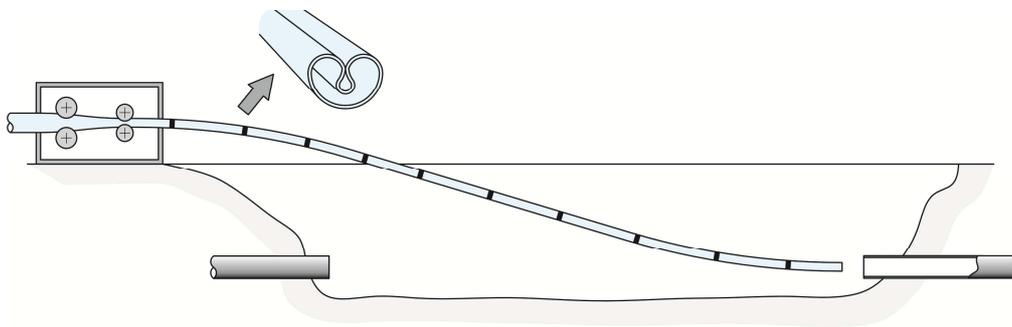


Fig. 14 - U-lining

*Maiores detalhes sobre esse módulo, vide Danieletto, José Roberto B.- Manual de Tubulações de Polietileno e Polipropileno: Características, Dimensionamento e Instalação: 2007*