

Monografia

"RECUPERAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE REDES SUBTERRÂNEAS PELO MÉTODO NÃO DESTRUTIVO - PERFURAÇÃO HORIZONTAL DIRECIONAL"

Autor: Rafael Braga Soares Righi
Orientador: Prof. Aldo Giuntini de Magalhães

Belo Horizonte
Maio/2015

Rafael Braga Soares Righi

**"RECUPERAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE REDES SUBTERRÂNEAS PELO
MÉTODO NÃO DESTRUTIVO - PERFURAÇÃO HORIZONTAL DIRECIONAL"**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em
Construção Civil da Escola de Engenharia da
Universidade Federal de Minas Gerais.
Enfase: Gestão e Tecnologia na Construção Civil

Orientador: Prof. Aldo Giuntini de Magalhães

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pela oportunidade e pelo privilégio que me foi dado em frequentar este curso e poder fazer novas amizades. Agradeço também a meus pais, que sempre me apoiaram. Fica meu agradecimento especial ao meu orientador professor Aldo Giuntini de Magalhães pelo incentivo, presteza, confiança durante todo o período de desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso.

RESUMO

Este trabalho apresenta a descrição de uma série de métodos construtivos aplicados à implantação e recuperação de redes subterrâneas, subdividindo-se basicamente em métodos destrutivos e não destrutivos. Destacou-se a perfuração horizontal direcional como método não destrutivo e foi feita uma descrição dessa técnica construtiva, bem como dos equipamentos que fazem parte dela. A principal vantagem desse método é o menor impacto causado no entorno da obra em comparação com o método destrutivo, dito tradicional.

ABSTRACT

This paper presents the description of a number of construction methods applied to the deployment and recovery of underground networks is further classified basically destructive and non-destructive methods. They emphasized the horizontal directional drilling as non-destructive method and a description of this construction technique was made, as well as equipment that are part of it. The main advantage of this method is the lowest impact on the environment of the work compared to the destructive method.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	3
3. MÉTODOS CONSTRUTIVOS.....	4
3.1 MÉTODO COM ABERTURA DE VALAS A CÉU ABERTO.....	4
3.1.1 EQUIPAMENTOS	16
3.2 MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS (MND).....	17
3.2.1 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO NÃO DESTRUTIVOS.....	20
a) INSERÇÃO DE TUBULAÇÃO.....	20
b) INSERÇÃO DE TUBULAÇÃO DEFORMADA.....	22
c) TUBULAÇÃO CURADA IN LOCO.....	23
d) TUBULAÇÃO TERMO-FORMADA	23
e) REVESTIMENTO POR ASPERSÃO	24
f) REPARO LOCALIZADO	25
g) INSERÇÃO DE TUBO POR ARREBENTAMENTO	26
3.2.2 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO NÃO DESTRUTIVOS.....	27
a) MICROTÚNEIS.....	27
b) CRAVAÇÃO DINÂMICA DE TUBO.....	28
c) CRAVAÇÃO DE TUBO POR PERCUSSÃO	29
d) PERFURAÇÃO HORIZONTAL COM ROSCA SEM FIM	30
3.3 PERFURAÇÃO HORIZONTAL DIRECIONAL.....	31
3.3.1 DETECÇÃO DAS INTERFERÊNCIAS	32
3.3.2 PLANEJAMENTO DA PERFURAÇÃO.....	33
3.3.3 EXECUÇÃO DO FURO PILOTO.....	36
3.3.4 ALARGAMENTO E DESOBSTRUÇÃO DO FURO PILOTO	38
3.3.5 INSTALAÇÃO DA TUBULAÇÃO	39
3.4 EQUIPAMENTOS, ACESSÓRIOS E MATERIAIS	41
3.4.1 PERFURATRIZ	41
3.4.2 HASTES.....	43

3.4.3 CABEÇA DE PERFURAÇÃO	45
3.4.4 ALARGADORES	46
3.4.5 <i>SWIVEL</i>	47
3.4.6 CABEÇA DE PUXAMENTO	48
3.4.7 SISTEMA DE NAVEGAÇÃO	49
3.4.8 FLUÍDOS DE PERFURAÇÃO	50
3.4.9 TUBOS	52
4. ESTUDO DE CASO	55
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Faixa carroçável de uma via	5
Figura 3.2: Etapas iniciais da obra	7
Figura 3.3: Etapas intermediárias da obra	8
Figura 3.4: Etapas finais da obra.....	9
Figura 3.5: Foto de uma escavação manual de vala em B.Horizonte	11
Figura 3.6: Execução de compactação mecanizada	14
Figura 3.7: Exemplo de compactação manual do solo.....	15
Figura 3.8: Sinalização, reaterro e recomposição de pavimento asfáltico.....	16
Figura 3.9: Valadora da Vermeer	17
Figura 3.10: Tipos de infraestruturas subterrâneas passíveis de implantação via MND	18
Figura 3.11: Investigações preliminares ao MND.....	19
Figura 3.12: Execução do <i>sliplinning</i>	21
Figura 3.13: Técnica empregada no <i>close-fit-linning</i>	22
Figura 3.14: Aplicação do <i>spray lining</i>	24
Figura 3.15: Substituição de tubulação por arrebentamento	26
Figura 3.16: Método de microtúneis	28
Figura 3.17: Método de cravação de tubos – <i>pipe ramming</i>	29
Figura 3.18: Método de cravação de tubos por percussão – <i>impact moling</i>	30
Figura 3.19: Processo de perfuração horizontal com rosca sem fim.....	31
Figura 3.20: Equipamento de detecção remota de tubulações e cabos.....	33
Figura 3.21: Pontos de entrada e saída em uma travessia subterrânea	34
Figura 3.22: Plano Furo Ramal Lavanderia Claro.....	35
Figura 3.23: Parâmetros medidos na perfuração horizontal direcional	37
Figura 3.24: Direcionamento do furo piloto	37
Figura 3.25: Processo de alargamento do furo piloto.....	39
Figura 3.26: Disposição dos equipamentos no puxamento da tubulação	40
Figura 3.27: Disposição dos equipamentos e acessórios HDD.....	41
Figura 3.28: Perfuratriz de médio porte do fabricante Vermeer.....	43
Figura 3.29: Corte longitudinal em uma haste de perfuração.....	45

Figura 3.30: Cabeça de perfuração, com detalhe para a ferramenta de corte e para o transmissor/sonda.....	45
Figura 3.31: Tipos de ferramentas de corte e aplicações.....	46
Figura 3.32: Tipos de alargadores e principais aplicações.....	47
Figura 3.33: <i>Swivel</i> / acoplado ao alargador	48
Figura 3.34: Camisa/cabeça de puxamento com fixação do tubo através de parafusos	49
Figura 3.35: Componentes do sistema de navegação	50
Figura 3.36: Equipamento misturador de fluído de perfuração	52
Figura 3.37: Tabela com dimensões e especificações de tubos PEAD segundo a NBR 15561	53
Figura 3.38: Solda em tubos PEAD por termofusão.....	54
Figura 3.39: Tubo de PEAD dobrado devido a manuseio incorreto	54
Figura 4.1: Localização da obra	55
Figura 4.2: Diagrama esquemático da perfuração	56
Figura 4.3: Posicionamento dos equipamentos para a realização da obra	57
Figura 4.4: Lama resultante da perfuração	58
Figura 4.5: Finalização de um pré-alargamento.....	59
Figura 4.6: Solda dos tubos PEAD por termofusão.....	59
Figura 4.7: Fixação do tubo na cabeça de puxamento.....	60
Figura 4.8: Abertura de poço auxiliar	61
Figura 4.9: Corte do tubo	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Evolução da taxa de urbanização no Brasil	1
Tabela 3.1: Caracterização dos materiais escavados.....	10
Tabela 3.2: Principais características do método de reparo localizado	25
Tabela 3.3: Categorias das perfuratrizes HDD	42
Tabela 3.4: Valores comerciais de raio de curvatura para hastes	44

LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS

ABRATT = Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

DNIT = Departamento Nacional de Infra estrutura de Transportes

DIN = *Deutsches Institut fur Normung*, Berlin (Alemanha)

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

HDD = *Horizontal directional drilling*

MND = Método não destrutivo

NBR = Norma brasileira

NR = Norma reguladora

PEAD = Polietileno de alta densidade

PV = Poço de visita

PVC = Policloreto de vinila

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente urbanização brasileira, conforme demonstra a tabela 1.1, a demanda por serviços de infraestrutura urbana tem aumentado nas últimas décadas. Dessa maneira, existe a necessidade de ampliação dos serviços já existentes e a construção de novas infraestruturas nos locais onde elas ainda não existiam.

Tabela 1.1 – Evolução da Taxa de Urbanização no Brasil

Período	Taxa de Urbanização (%)
1940	31,24
1950	36,16
1960	44,67
1970	55,92
1980	67,59
1991	75,59
2000	81,23
2007	83,48
2010	84,36

Fonte: IBGE, Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: Estatísticas do século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol. 42, 1979.

Nesse contexto se encaixa a discussão deste trabalho, a respeito dos métodos executivos de redes subterrâneas, sejam elas de água, esgoto, gás ou telecomunicações.

Os métodos executivos tradicionais (destrutivos) requerem uma intervenção maior no meio urbano, o que pode gerar uma série de transtornos para os moradores,

comerciantes e para o trânsito de veículos e pedestres no entorno da obra. Dependendo da situação, os métodos executivos não destrutivos podem ser mais indicados, já que minimizam uma série de transtornos (principalmente no que diz respeito ao trânsito de pedestres e veículos) em relação aos métodos tradicionais.

A deterioração das redes subterrâneas existentes também é um problema a ser enfrentado pelos gestores e governantes, gerando também a necessidade de reparos e/ou substituição das tubulações. Novamente volta-se à discussão de qual método executivo é mais adequado.

Sendo assim, este trabalho apresentará uma revisão bibliográfica sobre os métodos construtivos ditos tradicionais e sobre os métodos não destrutivos. Na sequência será apresentado um estudo de caso e, em seguida, serão discutidas as vantagens e desvantagens desses métodos.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo traçar uma comparação entre os métodos construtivos destrutivos (tradicionais) e os não destrutivos, destacando-se a perfuração horizontal direcional e apontando suas principais vantagens e desvantagens.

3. MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Existem diversos métodos disponíveis para instalação, substituição, recuperação e reparos nas redes subterrâneas. A escolha do método mais adequado deve-se a diversos fatores, como custo, diâmetro dos tubos, comprimento máximo da tubulação e tipo de solo, dentre outros.

Os métodos construtivos para instalação e recuperação de tubulações subterrâneas podem ser divididos em dois grandes grupos: métodos com abertura de valas ou trincheiras a céu aberto, que serão tratados como métodos tradicionais ou destrutivos e os métodos não destrutivos (MND).

3.1. MÉTODO COM ABERTURA DE VALAS A CÉU ABERTO

Esse tipo de método, destrutivo e mais convencional, envolve escavações ao longo de toda a extensão da rede subterrânea projetada a fim de se realizar a implantação de tubulações, sendo necessário posteriormente o reaterro e recomposição do piso ou pavimento.

Antes de se iniciar qualquer escavação em vias públicas, que causa impactos no tráfego de veículos devido à interrupção de uma ou mais faixas de rolagem, é necessária uma autorização da autoridade de trânsito responsável, seja ela municipal, estadual ou federal. Além disso, segundo o artigo 30 da lei 9503/97, que institui o Código Brasileiro de Trânsito, a presença de qualquer obstáculo à circulação e à segurança de veículos e pedestres, seja no leito da via ou nas calçadas, deve ser sinalizado. Essa condição vale também para a execução dos serviços através dos métodos não destrutivos.

A sinalização da obra visa então a proteção e segurança da equipe, dos pedestres e dos condutores dos veículos, através de um conjunto de equipamentos utilizados para indicar que uma obra está sendo executada.

Após a devida sinalização e antes de proceder a demolição do piso ou pavimento é necessária a locação de onde será aberta a vala ou trincheira, evitando abertura de valas com largura maior do que a projetada. Segundo a NBR 12266 (ABNT, 1992),

que fixa as condições exigíveis para o projeto e execução de valas para assentamento de tubulações de água, esgoto ou drenagem urbana, o posicionamento da vala deve ser realizado obedecendo-se as normas municipais de ocupação das faixas da via pública. Ainda segundo a referida norma, as valas podem se localizar dentro do leito carroçável da via (Figura 3.1) quando:

- Os passeios laterais não tiverem a largura mínima necessária ou existirem interferências;
- Resultar em vantagem técnica ou econômica;
- A vala no passeio oferecer risco às edificações adjacentes;
- Os regulamentos oficiais impedirem sua execução no passeio.

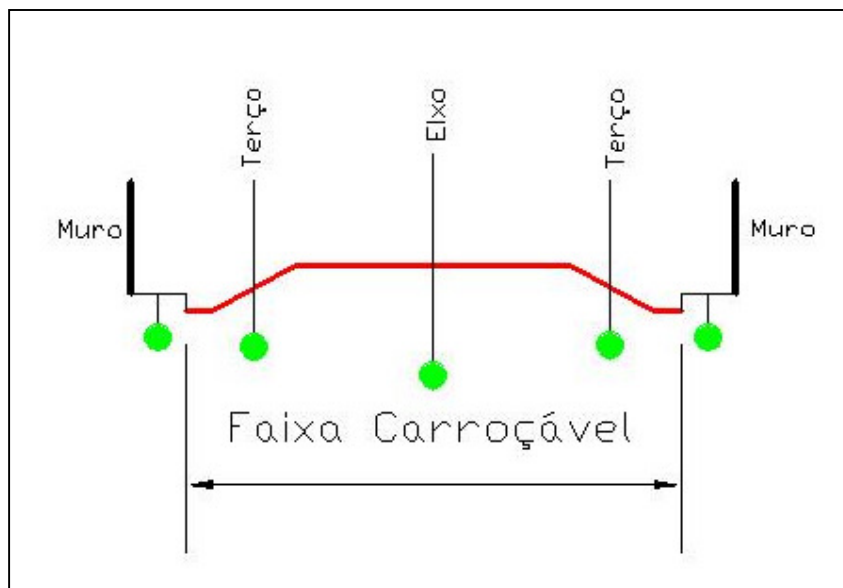


Figura 3.1 – Faixa carroçável em uma via.

Fonte: Prório autor.

A NBR 12266 (ABNT, 1992) prevê também que em valas no leito carroçável da via, as tubulações devem ser instaladas em um dos trechos laterais, permanecendo a rede de esgoto no terço mais favorável às ligações prediais.

As valas devem ser localizadas no passeio quando:

- Houver previsão de rede dupla no projeto;
- Os passeios tiverem espaço disponível;

- Houver vantagem técnica e econômica;
- A rua for de tráfego intenso e pesado;
- Regulamentos municipais impedirem sua execução no leito carroçável da via.

Em relação à largura das valas, ela dependerá da profundidade da rede subterrânea, do diâmetro da tubulação, do tipo de solo e da necessidade de escoramento.

De maneira simplificada, as etapas para assentamento das tubulações de uma rede subterrânea são:

- Sinalização;
- Demolição do pavimento;
- Escavação da vala;
- Escoramento;
- Esgotamento;
- Assentamento da tubulação;
- Reaterro e compactação;
- Recomposição do pavimento;
- Abertura de poço de visita, quando for o caso.

As etapas de construção estão ilustradas nas Figuras 3.2, 3.3, 3.4, que estão na sequência de execução da obra. Esta obra é um exemplo de implantação de uma rede de esgoto, com uma vala de pouca profundidade que não exigiu escoramento. Só não aparecem nas figuras as etapas de demolição do pavimento, recomposição do pavimento e de abertura do poço de visita.



Figura 3.2: Etapas iniciais da obra.

Fonte: <http://www.sanearmt.com.br/wp-content/uploads/2012/11/191%C2%BA-Relat%C3%B3rio-semanal.pdf>. Acesso em 10/11/2014.



Figura 3.3: Etapas intermediárias da obra.

Fonte: <http://www.sanearmt.com.br/wp-content/uploads/2012/11/191%C2%BA-Relat%C3%B3rio-semanal.pdf>. Acesso em 10/11/2014.



Figura 3.4: Etapas finais da obra.

Fonte: <http://www.sanearmt.com.br/wp-content/uploads/2012/11/191%C2%BA-Relat%C3%B3rio-semanal.pdf>. Acesso em 10/11/2014.

A demolição do pavimento deve ser realizada de acordo com a faixa determinada para a escavação e abertura da vala. Essa demolição pode ser manual ou mecanizada, auxiliada por martelos pneumáticos ou retroescavadeiras.

De acordo com a NBR 12266 (ABNT, 1992), a escavação de valas é a remoção de solo desde a superfície natural até a profundidade definida no projeto. Um importante fator a ser considerado na escavação é o conhecimento prévio do tipo de material a ser escavado, pois ele determinará o tipo de equipamento a ser utilizado, bem como a geometria da trincheira de trabalho. O material escavado deverá ser disposto a uma distância não inferior a 60cm da vala, podendo ser reutilizado no reaterro ou disposto em bota fora adequado.

A classificação dos materiais de superfície constante na norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT-ES 106 (BRASIL, 2009) é mostrada na tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Classificação dos materiais escavados

Categoria do Material	Características Gerais
1 ^a	Terra em geral, piçarra ou argila, rocha em bom estado de decomposição, seixos rolados (ou não) com diâmetro inferior a 15cm, qualquer que seja o teor de umidade, compatíveis com uso de tratores dozer, scraper rebocado ou motoscaper.
2 ^a	Rocha com resistência à penetração mecânica inferior ao granito, blocos de pedra com volume inferior a 2 m ³ , maticões e pedras de diâmetro médio superior a 15 cm, cuja extração se processa com emprego de explosivo, ou combinando explosivos, máquinas e ferramentas manuais.
3 ^a	Rocha com resistência à penetração mecânica superior ao granito, blocos de pedra com volume superior a 2 m ³ , cuja extração se dá mediante o emprego de explosivos.

Fonte: DNIT ES 106/2009

Disponível em http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT106_2009_ES.pdf. Acesso em 12/11/2014.

Dependendo do tipo de solo, a escavação pode ser manual (Figura 3.5) ou mecanizada. Porém, a escavação mecanizada apresenta algumas limitações devido aos seguintes aspectos:

- Alto custo de aquisição e manutenção das máquinas, que pode ser minimizado com o aluguel dos equipamentos;
- Uso de escoramento nas valas;
- Presença de rochas ou matacões, que podem causar danos aos equipamentos;
- Presença de outras redes subterrâneas transversais à via pública, limitando rendimento das máquinas;
- Assentamento da tubulação nas calçadas devido a dificuldade de movimentação das máquinas.



Figura 3.5: Foto de uma escavação manual de vala em Belo Horizonte.

Fonte: Próprio autor.

Após o processo de escavação da vala faz-se necessário o escoramento da mesma quando ela ultrapassar a profundidade de 1,25 m segundo a Norma Reguladora 18. O escoramento é o processo que tem por objetivo preservar a estabilidade das paredes da vala escavada em solo natural, evitando desmoronamentos e proporcionando assim segurança aos trabalhadores e às construções do entorno.

O escoramento pode ser: aberto/descontínuo ou fechado/contínuo. O primeiro caso ocorre quando o escoramento não cobre toda a superfície lateral da vala. É mais empregado quando o terreno é mais firme, com a presença de pouca água ou sua ausência. Já o escoramento contínuo é aquele que cobre toda a superfície lateral da vala, utilizado em solos com maior presença de água e menos estáveis.

Na sequência, pode ser necessário proceder com o esgotamento de água dentro da vala, dependendo da altura do lençol freático. A presença de água na trincheira de trabalho pode comprometer a estabilidade do solo, dificultando ou mesmo impedindo os trabalhos de assentamento da tubulação.

A escavação em solos permeáveis e abaixo do nível freático implica na utilização de um sistema de esgotamento a fim de se manter o nível d'água abaixo do fundo da vala. Para tanto podem ser utilizadas bombas dos mais variados tipos, dependendo da necessidade. Não havendo especificação no projeto, a NBR 12266 (ABNT, 1992) recomenda que seja utilizada de preferência as bombas de esgotamento do tipo escorvante ou submersa. Pode-se ainda utilizar outras técnicas para rebaixamento do lençol.

Depois dos procedimentos de escavação, escoramento e esgotamento, procede-se com o assentamento da tubulação no fundo da vala. Em locais onde o fundo da vala apresentar pedras ou formações rochosas, faz-se necessário uma escavação adicional de 15 a 20 cm abaixo da cota de assentamento, de modo a ser preenchido posteriormente com material isento de pedras ou entulhos. Pode-se ainda executar uma escavação adicional de 10 cm a fim de se formar um berço de areia com esta espessura, que deverá ser devidamente compactada. Quando o fundo da vala for constituído de matérias sem condições mínimas de suporte para o assentamento da tubulação, deve-se escavar abaixo da cota de assentamento de 15 a 20 cm e substituir por material adequado, da mesma forma descrita acima. O fundo da vala

deve ser o mais uniforme possível, respeitando a declividade de projeto (quando for o caso) e devendo ser regularizado com areia ou outro material adequado quando necessário. O assentamento da tubulação deve ser realizado de jusante para montante no caso das redes que exigem declividade, com as de esgoto por exemplo.

Dependendo da finalidade da rede implantada e do material da tubulação, alguns aspectos construtivos podem variar. A norma NBR 9822 (ABNT, 2012) - Execução de tubulações de PVC rígido para adutoras e redes de água – trata das condições que são exigidas para locação, demarcação, abertura e regularização da vala, transporte, manuseio, disposição, assentamento, execução das juntas, envolvimento, ancoragem, ensaios de estanqueidade e reaterro, na execução de tubulações especificamente de PVC rígido para adutoras e redes de água. A NBR 7367 (ABNT, 1988) preconiza o projeto e assentamento de tubulações especificamente de PVC rígido para sistemas de esgoto sanitário e a NBR 9814 (ABNT, 1987) da execução de rede coletora de esgoto sanitário. Já a NBR 14461 (ABNT, 2000) fixa as condições para os Sistemas de distribuição de gás combustível para redes enterradas – tubos de polietileno PE80 e PE100 – Instalação em obra por método destrutivo (vala a céu aberto).

O reaterro é executado na sequência, consistindo na recomposição do solo desde o fundo da vala até a superfície com o próprio material escavado ou com material de empréstimo. A escolha do tipo de material de reaterro deve ser feita levando-se em consideração à capacidade de suporte do material diante das cargas móveis as quais a tubulação será submetida, caso ela esteja instalada dentro da faixa carroçável da via. Assim, dependendo da profundidade da rede instalada e da intensidade de tráfego na via, pode ser necessário a utilização de um material de empréstimo, caso o material escavado, após os devidos testes em laboratório, não apresentar a resistência à compressão adequada.

Segundo a norma NBR 7367 (ABNT, 1988):

O reaterro das laterais da tubulação deve ser executado de tal forma a atender os requisitos mínimos preconizados pelo projeto, tendo em vista as condições específicas. Deve ser utilizado o solo especificado e deve-se cuidar para que a tubulação fique continuamente apoiada no fundo da vala e com berço bem executado nas duas laterais em camadas inferiores a 0,10

m. Se houver escoramento na vala, este deve ser retirado progressivamente, procurando-se preencher todos os vazios (p. 6).

O reaterro deve ser executado em camadas com espessura máxima de 20 a 30 cm e cada camada deve ser devidamente compactada. Não deve ser utilizado material com mistura de solo vegetal nem de matéria orgânica. O material que foi retirado durante a escavação pode ser utilizado no reaterro, desde que se tenha tido o cuidado de protegê-lo de contaminação com matéria orgânica, restos de podas, além da proteção com lona plástica contra chuvas. Os equipamentos utilizados para compactação das camadas são o sapo mecânico, o compactador mecânico ou placa vibratória (Figura 3.6), além da compactação manual, utilizando-se soquete manual (Figura 3.7).



Figura 3.6: Execução de compactação mecanizada.

Fonte: <http://saaetri.com.br/noticia/equipe-do-saaetri-realiza-servico-na-vila-isabel/>. Acesso em 12/11/2014.



Figura 3.7: Exemplo de compactação manual do solo.

Fonte: <http://www.ebanataw.com.br/terrapleno/compactacao.htm>. Acesso em 12/11/2014.

Após o reaterro e compactação do material, quando necessário, implantam-se os poços de visitas, dependendo da função da rede subterrânea instalada, em geral para esgotos ou galerias pluviais.

Após todos os procedimentos descritos, o serviço final é a recomposição do pavimento, que pode ser asfáltico, de concreto ou por calçamento (alvenaria poliédrica, paralelepípedos, bloquetes de concreto ou piso intertravado), no caso das vias urbanas. Nos passeios e calçadas os materiais encontrados podem ser os mais diversos possíveis, devendo ser reconstituídos o mais próximo possível do original.

A Figura 3.8 ilustra a recomposição de um pavimento asfáltico após a escavação de uma vala e a instalação de uma rede de eletrodutos para energia elétrica na Av. Antônio Abraão Caram em Belo Horizonte. Após o reaterro e compactação está

sendo executada a recomposição do pavimento. A obra está devidamente sinalizada e ocupa parte de uma faixa da via carroçável da referida avenida.

Para cada tipo de pavimento existem critérios e métodos particulares, variando o método executivo e os materiais utilizados para reconstituir as camadas desse pavimento.



Figura 3.8: Sinalização, reaterro e recomposição de pavimento asfáltico

Fonte: Próprio autor.

3.1.1. EQUIPAMENTOS

Para a execução dos serviços de abertura de valas a céu aberto de forma mecanizada ainda podem ser utilizados equipamentos específicos, com é o caso das valadoras, que podem ser de pequeno, médio ou grande porte. Elas apresentam maior produtividade em relação ao método tradicional de abertura de valas a céu aberto, porém apresentam uma série de limitações, dependendo do tipo de terreno a ser escavado e das interferências de outras redes subterrâneas no caminhamento

da rede a ser instalada (sobretudo quando perpendiculares). A Figura 3.9 apresenta um exemplo de valadora da fabricante Vermeer, que fabrica também equipamentos de perfuração direcional.

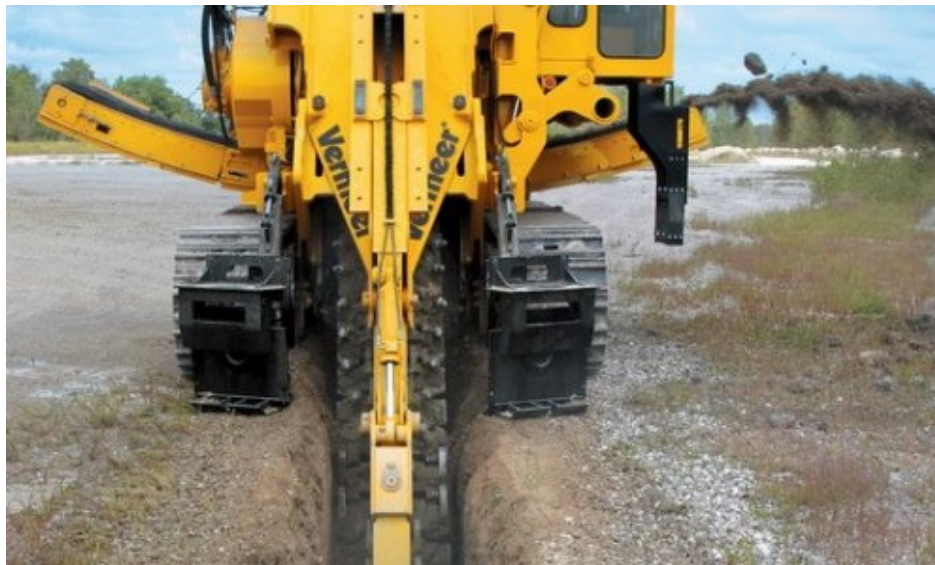


Figura 3.9: Valadora da Vermeer.

Fonte: <http://www.vermeer.pt/produtos/escavacao-especializada/abertura-de-vala/>. Acesso em 15/11/2014.

3.2. MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS (MND)

Segundo a Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva (ABRATT), os métodos não destrutivos são uma família de métodos de execução de obras ligadas à instalação, reparação e reforma de tubulações e dutos utilizando técnicas e equipamentos que minimizam ou eliminam a necessidade de escavações, com mínima interferência no tráfego de veículos e circulação de pessoas e em outras atividades locais (DEZOTTI, 2008).

O MND pode ser utilizado para instalação e recuperação de utilidades subterrâneas sob rodovias, ferrovias e pistas de aeroportos, sem prejuízo ao tráfego, além de pode ser executado sob rios, canais e edificações Podem ser empregados, também, nos casos em que seja necessário minimizar a perturbação do entorno da obra, como ruído, poeira, fechamento de parte ou toda a via, gerando menor intervenção no acesso dos pedestres aos passeios, lojas e serviços , que geralmente ocorre

quando se empregam métodos tradicionais de abertura de valas em áreas urbanas (DEZOTTI, 2008).

Atualmente, as principais redes e infraestruturas que podem ser implantadas pelo MND estão ilustradas na Figura 3.10.

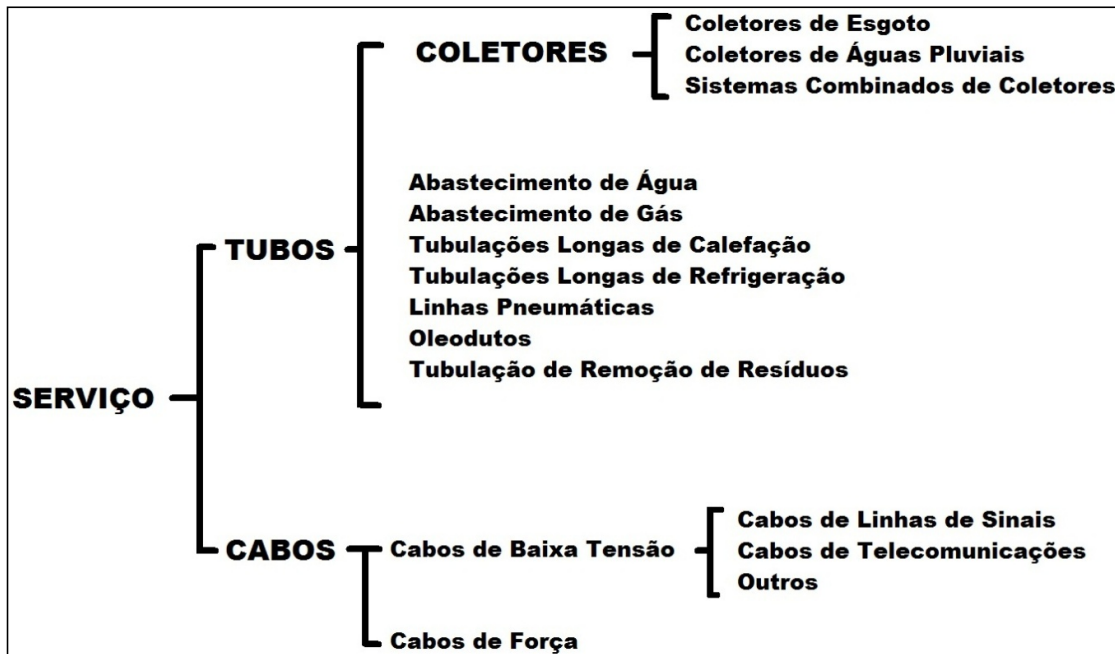


Figura 3.10: Tipos de infraestruturas subterrâneas passíveis de implantação via MND.

Fonte: (DEZOTTI, 2008)

Os métodos não destrutivos se dividem em dois grandes grupos principais: métodos de recuperação não destrutivos e métodos de construção não destrutivos. Tais métodos serão apresentados na sequência.

Os métodos de recuperação abrangem todos os métodos de reparo, reabilitação e ou substituição de uma rede subterrânea existente. Por métodos de construção não destrutivos subentendem-se todos os métodos para instalação de novas redes subterrâneas (DEZOTTI, 2008).

Em comum entre os procedimentos de instalação de uma nova rede ou do reparo, substituição ou reabilitação de uma rede existente está a investigação preliminar e

detecção das redes existentes e de possíveis interferências. A escolha do método mais adequado a ser empregado será função dessa investigação, que deve ser bem feita.

As pesquisas e investigações de campo estão ilustradas na Figura 3.11. Além das investigações descritas na figura (detecção remota), existe ainda o levantamento manual, ou seja, uma visita ao local da obra e levantamento das interferências através da medição da profundidade das redes existentes que podem interferir no caminhamento da nova rede a ser instalada ou na localização da rede a ser reparada, no caso de não se utilizar os equipamentos de detecção remota. Pode-se ainda solicitar às empresas concessionárias de serviços que informem a localização de suas redes, geralmente pelo *as built* (expressão inglesa que significa como construído).

Diretrizes dos Métodos Não Destrutivos - MND

Preliminarmente o sucesso dos Métodos Não Destrutivos depende de pesquisas precisas e investigações adequadas de campo.

Pesquisas e investigações de campo:

- Inspeção por Circuito Fechado de Televisão (CFTV)
- Sonar
- Georadar – Ground Penetrating Radar (GPR)
- Detecção Eletromagnética



Figura 3.11: Investigações preliminares ao MND.

Fonte: <http://www.abratt.org.br/seminario/intro.pdf>. Acesso em 15/11/2014

3.2.1. MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO NÃO DESTRUTIVOS

Segundo Dezotti (2008), os métodos de recuperação não destrutivos abrangem todos os métodos de reparo, reabilitação e ou substituição de um sistema de tubulação existente. Têm a finalidade de recuperar a integridade das redes subterrâneas já existentes, de modo a prolongar sua vida útil. Os métodos de reabilitação mais utilizados são:

- Inserção de tubulação – “*Sliplining*”
- Inserção de tubulação deformada – “*Close-fit pipe*” ou “*close-fit-lining*”
- Tubulação Curada in Loco – “*Cured-in-place pipe (CIPP)*”
- Tubulação termo-formada – “*Thermoformed pipe*”
- Revestimento por aspersão – “*Spray lining*”
- Reparo localizado – “*Localized repair*”
- Inserção de tubo por arrebentamento – “*Pipe bursting*”

A ABRATT trata a inserção de tubo por arrebentamento (*pipe bursting*) como uma categoria em separado, mas neste trabalho ela ficará incluída na categoria de métodos de recuperação não destrutivos.

a) Inserção de tubulação – “*Sliplining*”

É a técnica mais simples de se executar a substituição de redes deterioradas onde não é possível a entrada de pessoas para substituição. (ABRATT, 2007).

Este método é um dos mais antigos e difundidos para reabilitação de tubulações. Nesta técnica, uma tubulação de menor diâmetro é inserida dentro da tubulação existente a ser recuperada e o espaço entre os tubos (diferença dos diâmetros) é preenchido, geralmente com uma argamassa de elevada resistência mecânica – *grout* (DEZOTTI, 2008). Os materiais mais comumente empregados para são o Polietileno de Alta Densidade (PEAD), a fibra de vidro reforçada e o PVC.

Segundo Dezotti (2008), para a execução deste método deve-se escavar de um poço de partida, e a inserção do novo tubo é feita a partir deste ponto, puxando-se ou empurrando-se o novo tubo para o interior da tubulação deteriorada a ser recuperada. A Figura 3.12 ilustra esse processo.

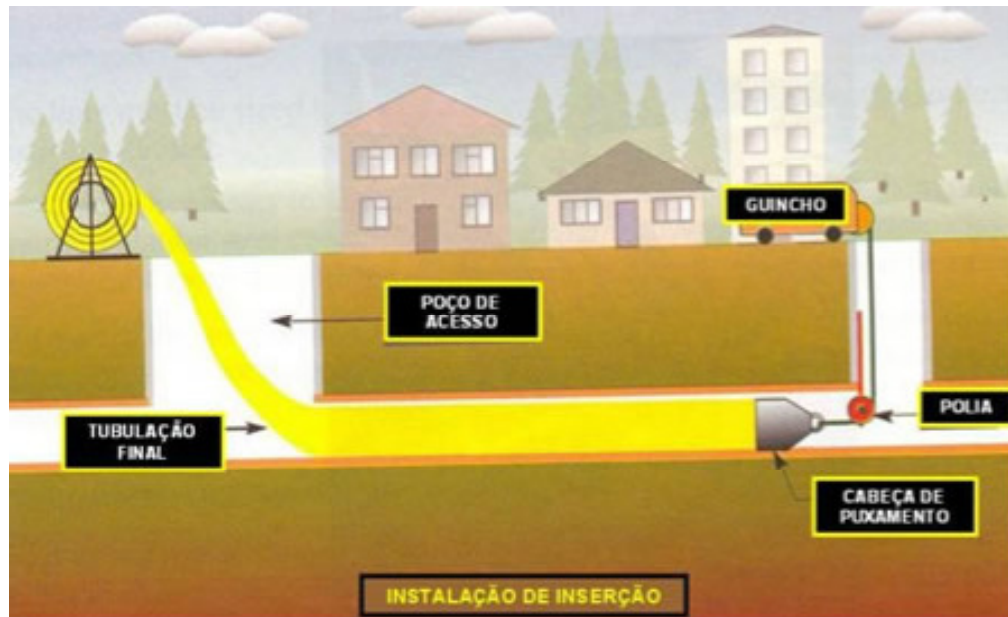


Figura 3.12: Execução do *sliplining*
Fonte: ABRATT (2007)

O material mais usado nessa técnica é o PEAD, pois além de ser um material já bastante difundido no setor é também um material que apresenta boa resistência à abrasão e suficientemente flexível para passar por curvas apertadas durante o processo de instalação (ABRATT, 2007).

Além disso, poder ter emenda de topo por solda de fusão em comprimentos bastante longos, antes de ser puxado para dentro da rede existente, sendo bastante versátil neste aspecto.

Apesar de ser barata e simples de executar, esta técnica apresenta a desvantagem de reduzir o diâmetro da rede, havendo uma perda da capacidade hidráulica da mesma (DEZOTTI, 2008).

b) Inserção de tubulação deformada – “*close-fit pipe*” ou “*close-fit lining*”

Este método segue praticamente o mesmo procedimento do anterior (*Sliplining*), e pode ser usado tanto em redes por gravidade (não pressurizadas) como em redes pressurizadas.

No *close-fit lining* o tubo a ser utilizado, antes de ser instalado, tem sua seção transversal modificada. É realizada uma alteração temporária na geometria do tubo, antes deste ser inserido na rede existente. Após sua inserção na rede existente, o tubo é expandido para sua forma e tamanho original, coincidindo com a tubulação existente (DEZOTTI, 2008).

A Figura 3.13 ilustra a técnica empregada neste método.



Figura 3.13: Técnica empregada no *close-fit lining*.
Fonte: <http://www.abratt.org.br/seminario/intro.pdf>. Acesso em 15/11/2014.

c) Tubulação Curada in Loco – “Cured-in-place pipe (CIPP)”

O método da Tubulação Curada in Loco, mais conhecida pela sigla CIPP, é um dos métodos não destrutivos de reabilitação mais utilizados. Trata-se de uma técnica polivalente, podendo ser empregada tanto para fins estruturais, quanto para não estruturais. O CIPP pode ser utilizado para reabilitação de tubulações principais, ramais e para reparos pontuais (DEZOTTI, 2008).

O CIPP envolve a inserção de um tubo de feltro fabricado com fibras de poliéster, produzido sob medida e impregnado com uma resina termoestável (os tipos de resinas geralmente utilizadas são poliésteres insaturados, vinil éster e epóxi) no interior de uma tubulação existente. A inserção é realizada por meio de inversão com água ou ar, ou através de um guincho.

Após a inserção do tubo de tecido, o mesmo é pressionado contra a parede da rede existente, através da injeção de ar ou água. A flexibilidade do tecido impregnado de resina permite a instalação através de tubulações curvas e desalinhas e possibilita o preenchimento de trincas e vazios. O processo de cura pode ser feito através de água quente, vapor ou raio ultravioleta (DEZOTTI, 2008).

d) Tubulação termo-formada – “Thermoformed pipe”

Esta técnica de reabilitação não destrutiva de tubulação utiliza um novo tubo, geralmente de PVC ou PEAD, o qual sofre expansão utilizando-se a elevação de temperatura para fixar-se justamente à tubulação antiga.

O processo pode ocorrer de três formas: dobra (no ato da fabricação) e reconformação da tubulação inserida; deformação da tubulação (em obra) e posteriormente sua reconformação; e tubulação expandida, a qual a solda da tubulação é feita em obra, diferentemente dos dois primeiros casos, nos quais a tubulação vem soldada de fábrica (DEZZOTI, 2008).

e) Revestimento por aspersão – “*Spray lining*”

Este método consiste na aplicação de um revestimento tanto para reabilitação de tubulações antigas, quanto para proteção de novas redes subterrâneas, promovendo um aumento da vida de serviço das mesmas. Para tubulações onde não há possibilidade de entrada de pessoal, os revestimentos podem prover uma melhoria das características hidráulicas e fornecer resistência contra corrosão, no caso de tubulações metálicas (DEZOTTI, 2008).

Os materiais utilizados como revestimento podem incluir epóxi, poliéster, vinil éster, silicone, poliuretano, argamassa e concreto selante (NAJAFI, 2004).

A Figura 3.14 ilustra o processo de aplicação do *spray lining*.



Figura 3.14: Aplicação do *spray lining*.

Fonte: (ABRATT, 2007)

Disponível em <http://www.abratt.org.br/seminario/intro.pdf>. Acesso em 15/11/2014

f) **Reparo localizado – “Localized repair”**

O termo reparo é empregado quando o defeito do tubo é consertado, sem necessariamente, prolongar sua vida útil.

Defeitos pontuais podem ser encontrados em tubulações recém-implantadas, como resultado de trincas, desalinhamentos ou rupturas. O reparo localizado é utilizado para solucionar vários desses problemas, como trincas, tubulações quebradas, infiltração, vazamentos, obstruções, intrusão de raízes e seções da tubulação desalinhadas (DEZOTTI, 2008).

A Tabela 3.2 apresenta os diferentes métodos empregados no reparo localizado, bem como os materiais utilizados e aplicações de cada um.

Tabela 3.2 – Principais características do método de reparo localizado

Método	Diâmetros (mm)	Material	Aplicações
Reparo por robô	200-760	Resina epóxi, cimento acrílico.	Tubulação sob gravidade.
Grauteamento	-	Grautes químicos, grautes de base cimentícia.	Qualquer tipo de Tubulação.
Selagem interna	150-2794	Mantas especiais	Qualquer tipo de Tubulação.
CIPP pontual	100-1200	Fibra de vidro, poliéster, etc.	Tubulação sob gravidade.

Fonte: (DEZOTTI, 2008)

g) **Inserção de tubo por arrebentamento – “Pipe bursting”**

O *pipe bursting* é um método não destrutivo de substituição de tubulações. É utilizado principalmente para aumentar a capacidade de redes existentes ou em

casos em que a tubulação existente encontra-se em um avançado estado de deterioração, inviabilizando a utilização de técnicas não destrutivas de recuperação (ABRATT, 2007).

A operação típica do *pipe bursting* consiste na inserção de uma ferramenta com formato cônico (cabeça de fragmentação) no interior da tubulação a ser substituída a partir de poço de partida e puxada ou empurrada para o poço de recepção. À medida que a cabeça de fragmentação percorre a rede existente, ela promove o arrebentamento do tubo e deslocamento dos seus fragmentos para o entorno. Simultaneamente, um novo tubo é puxado para o espaço deixado pela operação de expansão, conforme ilustra a Figura 3.15.

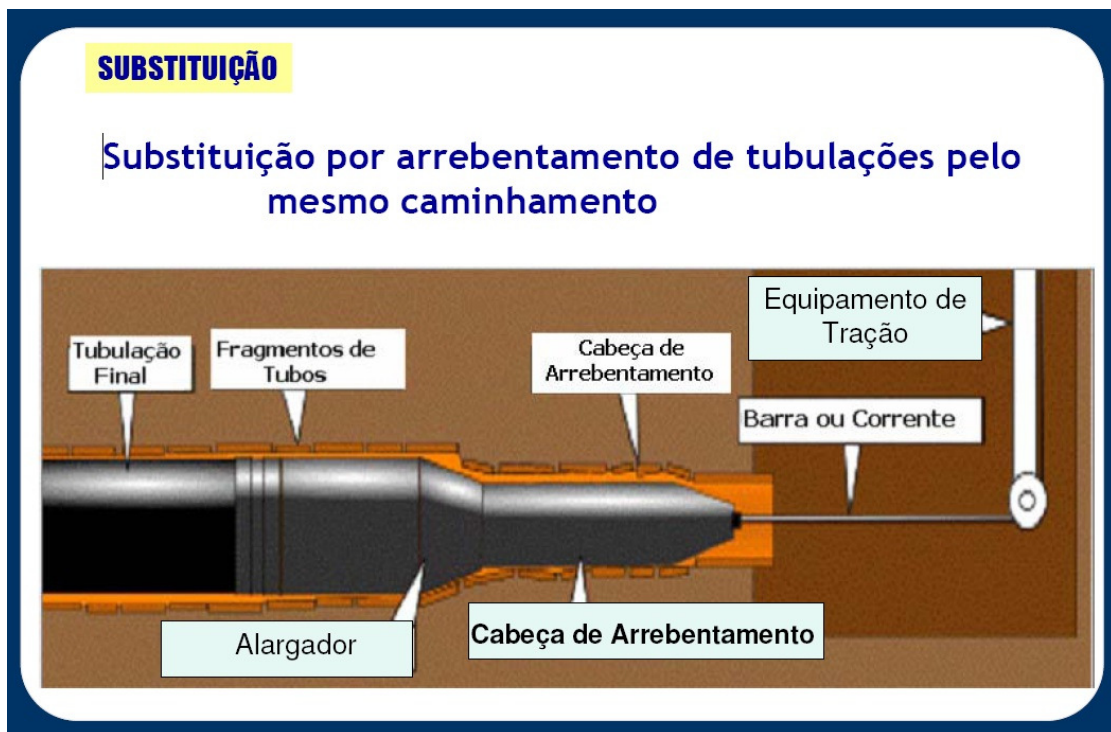


Figura 3.15 – Substituição de tubulação por arrebentamento – *pipe bursting*.

Fonte: (ABRATT, 2007)

Disponível em: <http://www.abratt.org.br/seminario/intro.pdf>. Acesso em 15/11/2014.

3.2.2. MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO NÃO DESTRUTIVOS

Os métodos de construção não destrutivos abrangem todos os métodos de instalações de novas redes subterrâneas, sem a necessidade de abertura de valas ao longo de toda extensão da nova rede.

Os principais métodos de construção não destrutivos que serão abordados nesse trabalho são os seguintes, destacando-se a perfuração horizontal direcional:

- Microtúneis – “*Microtunneling*”
- Cravação Dinâmica de Tubo – “*Pipe Ramming*”
- Cravação de Tubo por Percussão – “*Impact Molding*”
- Perfuração Horizontal com Rosca sem Fim – “*Horizontal Auger Boring*”
- Perfuração Horizontal Direcional – “*Horizontal Directional Drilling (HDD)*”

a) Microtúneis – “*Microtunneling*”

A técnica de microtúneis pode ser descrita como um método de cravação de tubos, totalmente guiada e controlada remotamente e não requer entrada de pessoal no interior do túnel. O sistema instala simultaneamente a tubulação à medida que o solo é escavado e removido. A entrada de trabalhadores é necessária apenas para trabalhar dentro dos poços (DEZOTTI, 2008).

Os microtúneis podem ser utilizados para instalação de redes com diâmetro entre 250 mm a 3500 mm. A Figura 3.16 ilustra este método construtivo.

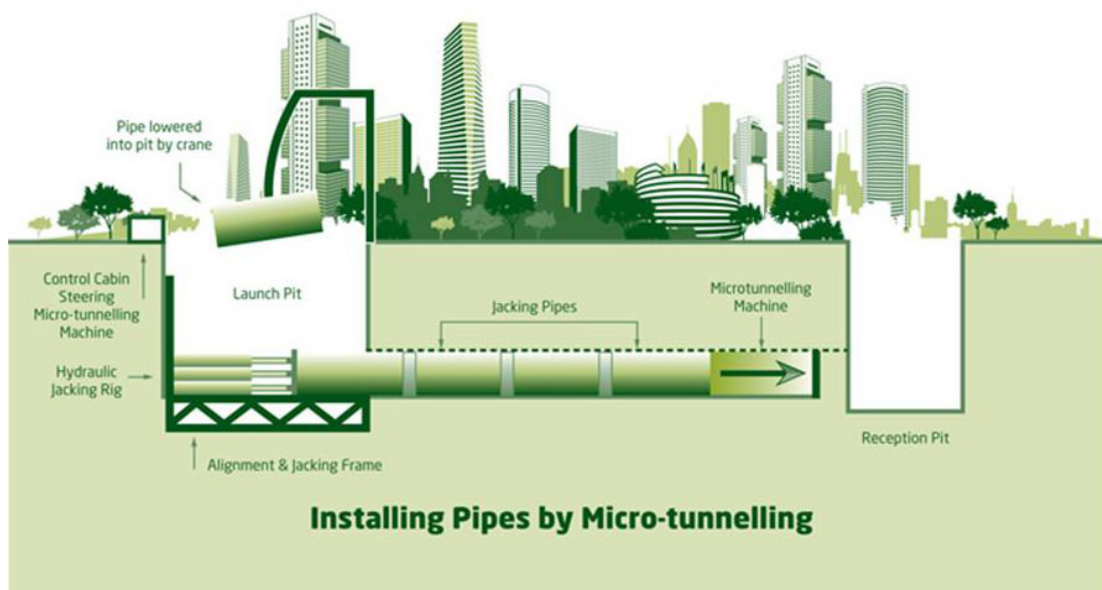


Figura 3.16: Método de microtúneis.

Fonte: <http://blogs.brpamdki.org/wp-content/uploads/2014/05/microtunneling.jpg>. Acesso em 18/11/2014.

b) Cravação dinâmica de tubo – “*Pipe ramming*”

O *Pipe ramming* “é um método não destrutivo para instalação de tubos e revestimentos de aço, no qual um martelo pneumático é utilizado para cravar os tubos ou revestimentos no solo” (DEZOTTI, 2008, p. 52).

Depois de concluída a instalação, o revestimento de aço está pronto para ser utilizado ou, dependendo do caso, pode servir como tubo camisa.

A figura 3.17 exemplifica o processo do *pipe ramming*.

CONSTRUÇÃO

Perfuração por Percussão - Cravação de tubos(Pipe Ramming)

- Instalação de tubos de aço sob rodovias, ferrovias e outros obstáculos, utilizando-se um martelo percussivo a partir de um “shaft” de entrada

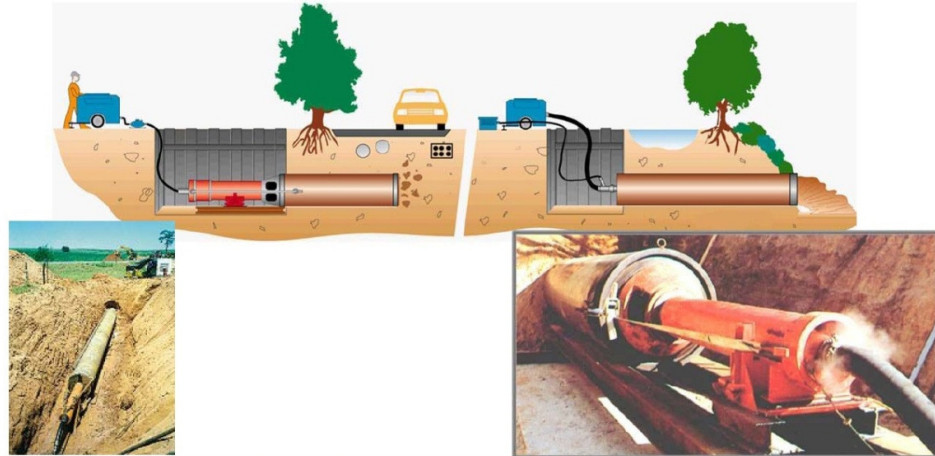


Figura 3.17: Método de cravação de tubos – *pipe ramming*.

Retirado de: <http://www.abratt.org.br/seminario/intro.pdf>. Acesso em 15/11/2014.

c) Cravação de tubo por percussão – “*Impact moling*”

A cravação de tubo por percussão é um método não destrutivo de instalação de tubulações no qual a perfuração é feita através da compactação e deslocamento do solo, ao invés da remoção do mesmo, como acontece no *pipe ramming* (DEZOTTI, 2008).

A viabilidade do emprego deste método é restringida pelo diâmetro e extensão do furo e pelas condições locais do solo. Terrenos rochosos, argilas densas e outros tipos de solos não compactáveis constituem condições desfavoráveis a utilização do *impact moling*.

Segundo Dezotti (2008), outra limitação desta técnica diz respeito ao diâmetro da tubulação a ser instalada, que geralmente não ultrapassa 200 mm.

O método de cravação de tubo por percussão ou *pipe moling* é ilustrado na Figura 3.18.



Figura 3.18: Método de cravação de tubos por percussão – *impact moling*.
Retirado de: <http://www.abratt.org.br/seminario/intro.pdf>. Acesso em 15/11/2014.

d) Perfuração Horizontal com Rosca sem Fim – “*Horizontal Auger Boring*”

A perfuração horizontal com rosca sem fim é um método utilizado principalmente para instalação de redes e tubos camisa de aço sob ferrovias e rodovias, evitando cortes nos pavimentos e reduzindo interrupções no tráfego. Este método requer um poço de entrada e um de saída. Durante o processo, um revestimento de aço é cravado no solo do poço de entrada e o avanço da escavação é feito através de uma cabeça perfuradora, enquanto uma série de trados (rosca sem fim) simultaneamente executa a remoção contínua do material escavado dentro do revestimento, conforme ilustra a Figura 3.19 (DEZOTTI, 2008).

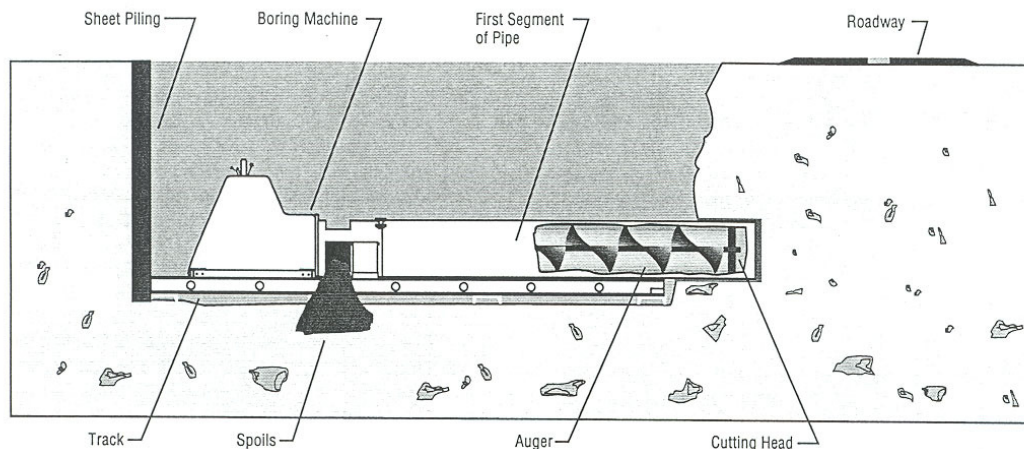


Figura 3.19: Processo de perfuração horizontal com rosca sem fim.
Retirado de: <http://rebar.ecn.purdue.edu/Trenchless/Pics/AB/AB-Track%20Type%20AB.jpg>. Acesso em 25/11/2014.

A perfuração horizontal com rosca sem fim pode ser utilizada para instalação de revestimento com diâmetros variando de 100 mm a 1500 mm. Porém para diâmetros inferiores a 200 mm, outras técnicas não destrutivas tornam-se mais vantajosas, sobretudo economicamente (DEZOTTI, 2008).

3.3. Perfuração Horizontal Direcional – “*Horizontal Directional Drilling*”

A perfuração horizontal direcional (HDD) trata-se de uma tecnologia de travessia subterrânea e pode ser definida como um método de perfuração dirigível para instalação de tubulações e cabos. Nesse método é possível o monitoramento da localização da cabeça de perfuração, bem como seu direcionamento durante o processo de perfuração.

Uma máquina perfuratriz rotativa executa por meio de sistema direcional o furo piloto, utilizando uma broca em forma de pá que escava o solo com a ajuda de um jato de água com aditivos em alta pressão.

De maneira geral, o HDD segue os seguintes passos:

- Detecção das interferências;
- Planejamento da perfuração;

- Execução do furo piloto;
- Alargamento e desobstrução do furo piloto;
- Instalação da tubulação.

3.3.1. Detecção das interferências

Para detecção das interferências alguns métodos podem ser utilizados, destacando-se os seguintes:

1. Utilização de equipamentos de detecção remota de tubulações e cabos metálicos enterrados, conforme Figura 3.20;
2. Método de inspeção visual a partir dos poços de visita, permitindo a identificação da quantidade, tipos, direções e cotas das redes existentes;
3. Levantamento junto às concessionárias de água, luz e telecomunicações da localização de suas redes subterrâneas.



Figura 3.20: Equipamento de detecção remota de tubulações e cabos.

Fonte: http://www.sondeq.com.br/arquivos/folder_rd8000.pdf. Acesso em 30/11/2014.

3.3.2. Planejamento da perfuração

Após o estudo do terreno (solo e rocha), e uma vez detectadas as interferências (redes de outras concessionárias), o próximo passo é o planejamento da perfuração. Esse planejamento depende, em primeiro lugar, do tipo de tubulação que será implantada. Caso seja uma tubulação de esgoto, ela necessita obedecer à declividade de projeto e as possíveis interferências devem ser levadas em consideração na definição da profundidade e caminhamento da rede.

No caso de tubulações de gás natural, deve-se obedecer a profundidade mínima especificada pela concessionária do serviço. Já no caso de eletrodutos para telecomunicações, não existe a necessidade de se obedecer a uma profundidade constante, sendo uma implantação mais flexível nesse ponto.

O planejamento da perfuração inicial, ou seja, do furo piloto, pode ser executada através de softwares ou através de planilhas de cálculo.

São definidos os pontos de entrada e de saída, a inclinação com que o equipamento de perfuração iniciará o serviço, bem como a distância necessária para se atingir as cotas de projeto, conforme ilustra a figura 3.21.

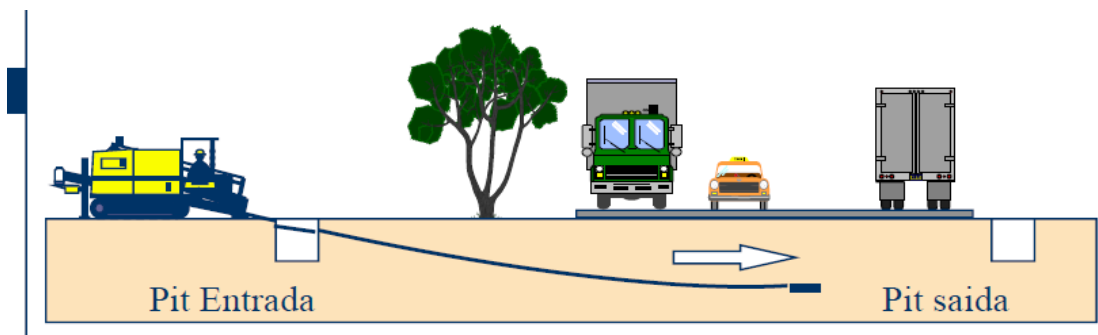


Figura 3.21: Pontos de entrada e saída em uma travessia subterrânea

Fonte: http://www.acquacon.com.br/nodigbrasil2008/ppt/cursos/curso_sergio.pdf. Acesso em 15/11/2014.

O planejamento da perfuração também depende do equipamento que será utilizado. O comprimento da haste de perfuração varia dependendo do porte da perfuratriz. De modo geral, os equipamentos mais utilizados dentro dos centros urbanos são de médio porte, apresentando o comprimento da haste de 3m. Assim, uma limitação da distância da travessia a ser executada é a quantidade de hastes necessárias.

Segundo Quélhas (2005), outra limitação é a flexibilidade da haste, que permite uma variação máxima na inclinação (*pitch*) em torno de 7% por haste. A Figura 3.22 ilustra o planejamento de uma travessia para implantação de uma rede de gás natural em Belo Horizonte.

MND Redes Subterrâneas Ltda			1º PILOTO				
			ANALISE VARIAÇÃO % CURVATURA - PERFIL M N D				
			3,00		+ 17 %	INCL. TOTAL MND	
			BARRA	PITCH	PROFUND.	REF. EM PLANTA	ESTACA
nº	Mts	(%)	ENTRADA	PITCH (%)	COTA	IDENT	
ENTRADA		-32	0,00				
1	3	-30	-0,54				
2	6	-28	-1,02				
3	9	-25	-1,43	TIE IN	-8,0	754,000 E 0	
4	12	-22	-1,74				
5	15	-20	-1,98				
6	18	-18	-2,16				
7	21	-15	-2,27				
8	24	-16	-2,34				
9	27	-18	-2,46				
10	30	-20	-2,29		-19,6	752,400 E 01 + 1m	
11	33	-22	-2,18				
12	36	-22	-2,11				
13	39	-24	-2,06				
14	42	-26	-2,07				
15	45	-26	-2,11				
16	48	-22	-2,34		-11,4	748,480 E 01 + 19m	
17	51	-18	-2,45			E 02 + 2m	
18	54	-15	-2,45				
19	57	-15	-2,41				
20	60	-15	-2,37				
21	63	-16	-2,34				
22	66	-16	-2,33				
23	69	-16	-2,47		-6,2	746,200 E 03	
24	72	-12	-2,56				
25	75	-10	-2,55				
26	78	-10	-2,51				
27	81	-8	-2,45				
28	84	-6	-2,32			745,240 E 04 - 0,92m	
29	87	-4	-2,14			Estaca do Projeto	
30	90	-4	-1,92			E 04 + 1m	
31	93	-4	-1,70				
32	96	-2	-1,46	TIE IN			
33	99	-2	-1,18				
34	102	1	-0,86				
35	105	4	-0,45				
36	108	5	0,02				
				TOTAL FURO ENTRE TIE-IN's	87,0 m		

Figura 3.22 – Plano Furo Piloto Ramal Lavanderia Claro – Rua Caldas da Rainha
Fonte: Próprio autor.

3.3.3. Execução do furo piloto

Após a detecção das interferências e planejamento da perfuração, segue-se com a execução da perfuração propriamente dita, que nesta fase inicial é chamada de furo piloto ou furo guia.

Primeiramente procede-se o posicionamento e ancoragem do equipamento de perfuração e abertura de uma pequena vala por onde se iniciará o furo piloto. Em alguns casos o equipamento de perfuração pode ficar posicionado dentro de uma via ou em uma calçada ou passeio, sendo necessárias as devidas autorizações dos órgãos competentes de gerenciamento do trânsito e a devida sinalização do local da obra.

Pode ser necessário, quando a rede implantada for de esgoto, da abertura de poços auxiliares, que serão os futuros poços de visita (PV) dessa rede.

A operação de perfuração do furo piloto exige dois empregados: um que opera o equipamento de perfuração e o outro que monitora a inclinação e profundidade da cabeça de perfuração e direciona o furo, chamado de navegador.

Segundo Guilhem (2006), O direcionamento da perfuração é feito através de um transmissor de ondas eletromagnéticas (sonda) na cabeça de perfuração. Um receptor operado pelo navegador indica vários parâmetros, que também são transmitidos a um receptor no equipamento de perfuração, conforme ilustra a Figura 3.23. A figura 3.24 demonstra como o operador da perfuratriz consegue direcionar o furo piloto alterando a direção e inclinação da cabeça de perfuração.

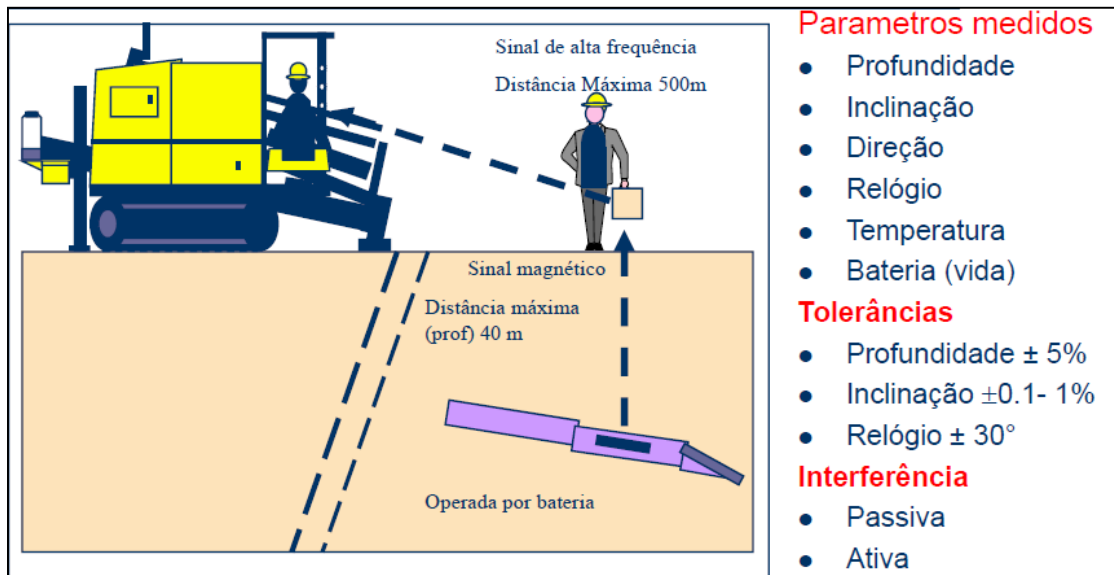


Figura 3.23: Parâmetros medidos na perfuração direcional horizontal.

Fonte: http://www.acquacon.com.br/nodigbrasil2008/ppt/cursos/curso_sergio.pdf. Acesso em 15/11/2014.

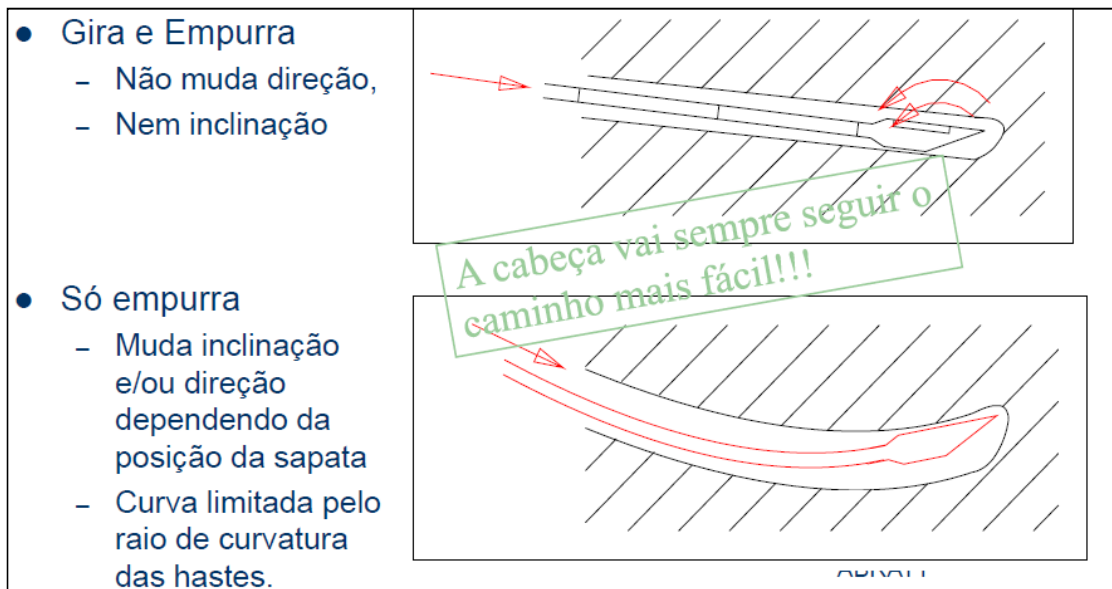


Figura 3.24: Direcionamento do furo piloto.

Fonte: http://www.acquacon.com.br/nodigbrasil2008/ppt/cursos/curso_sergio.pdf. Acesso em 15/11/2014.

O furo piloto é o caminho inicial aberto no subsolo, por onde será instalada a nova rede. O diâmetro inicial varia de acordo com a ferramenta de perfuração utilizada (entre 3 e 4 polegadas ou entre 7,5 e 10cm). Na sequência executa-se o alargamento do furo piloto, visando adequá-lo ao diâmetro da tubulação a ser instalada.

3.3.4. Alargamento e desobstrução do furo piloto

O alargamento do furo piloto consiste na passagem progressiva de alargadores, que são ferramentas de diâmetros maiores, em marcha a ré, ou seja, do ponto de saída até o ponto de entrada, até que se atinja um diâmetro suficiente para a instalação da tubulação. Nesse processo o material (solo ou rocha) é removido e compactado, deixando o furo desobstruído e pronto para a instalação da tubulação (GUILHEM, 2006).

Segundo Quélhas (2005), dependendo do diâmetro da tubulação a ser puxada e do tipo de solo do local da implantação, pode ser necessário que se efetue mais de um alargamento antes da instalação definitiva da tubulação, o que é denominado pré-alargamento.

Na etapa de pré-alargamento/alargamento e desobstrução do furo, que serve de preparação para o puxamento final da tubulação a ser instalada, é de suma importância a utilização do fluido de perfuração correto, que propicia a estabilização do solo em torno do furo, bem como serve como lubrificante, diminuindo o atrito entre o solo e a tubulação no puxamento final, evitando travamentos e esforços excessivos nas ferramentas e na tubulação. Os fluidos de perfuração serão mais detalhados na sequência do trabalho.

A Figura 3.25 ilustra o processo de alargamento do furo. Os diferentes tipos de alargadores serão abordados em equipamentos e acessórios.

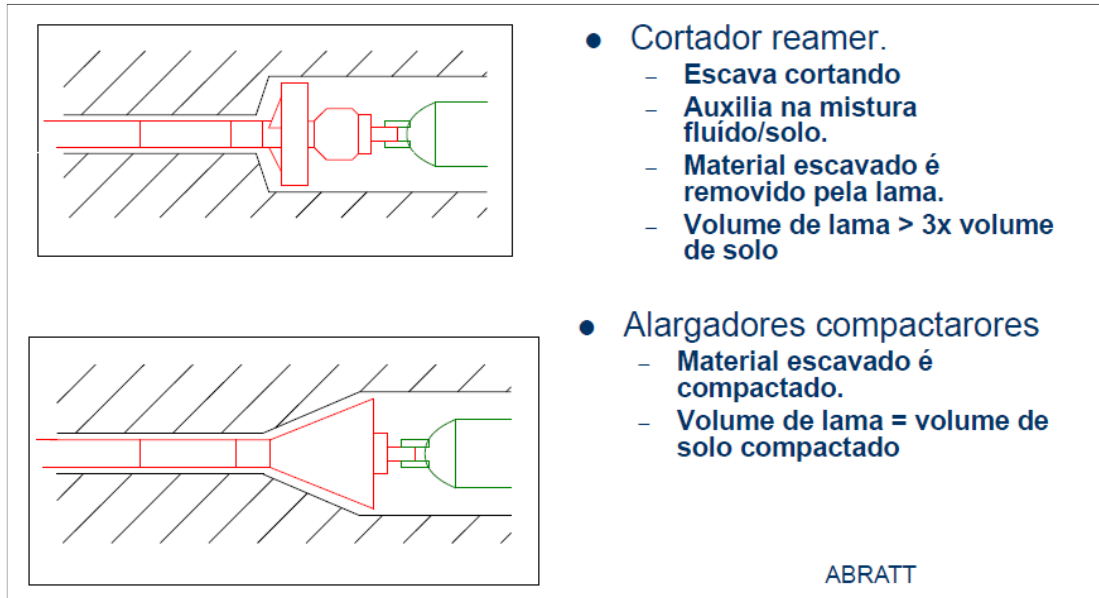


Figura 3.25 : Processo de alargamento do furo piloto.

Fonte: http://www.acquacon.com.br/nodigbrasil2008/ppt/cursos/curso_serjio.pdf. Acesso em 15/11/2014.

3.3.5. Instalação da tubulação

A instalação da tubulação é a etapa final da perfuração horizontal direcional e é feita tracionando-se o(s) tubo(s) para dentro do furo. Antes do puxamento da tubulação, a mesma deve estar devidamente preparada.

Dependendo do material e do diâmetro da tubulação, pode ser necessário a execução de soldas, para totalizar o comprimento da rede. De qualquer forma, a tubulação deve estar pronta no momento do puxamento final, devendo ser preparada antes ou concomitantemente ao processo de perfuração e alargamento do furo.

Caso não se possa realizar o puxamento da tubulação logo após o término do alargamento, é necessário realizar novamente a etapa de alargamento antes do puxamento, a fim de desobstruir o furo e deixar que o fluido de perfuração possa atuar no solo, estabilizando-o e servindo como lubrificante.

Segundo Quélhas (2005), a capacidade de puxada do equipamento de perfuração (*pullback*) deve ser levado em consideração nessa etapa, pois caso haja uma carga

excessiva (peso da tubulação somado-se aos esforços dentro do furo) podem inviabilizar o puxamento ou mesmo danificar o equipamento de perfuração.

Após a preparação da tubulação, ela deve ser posicionada sobre roletes ou sobre algum anteparo que a guie e a proteja de danos no momento em que estiver sendo puxada. A tubulação é ligada ao alargador e ao distorcedor (*swivel*) através de uma cabeça de puxamento ou camisa, que se prende ao(s) tubo(s), impedindo que lama e detritos entre dentro deste(s).

O distorcedor pode funcionar como um fusível mecânico, rompendo-se em casos quando a força máxima de tração da tubulação seja ultrapassada, conforme ilustra a Figura 3.26.

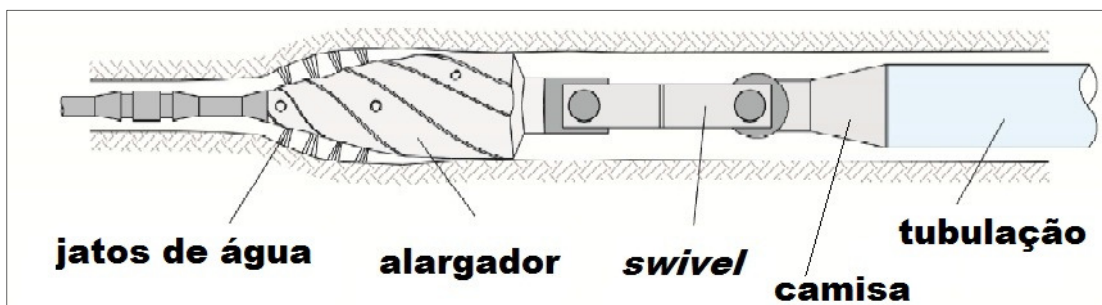


Figura 3.26: Disposição dos equipamentos no puxamento da tubulação.

Adaptado de: http://www.abpebrasil.com.br/cartilha/4_3.pdf. Acesso em 02/12/2014.

Terminado o puxamento da tubulação, é necessário separá-la da camisa. Geralmente isso é feito seccionando-se o(s) tubo(s) bem próximos à camisa. Após esse processo é necessário tamponar a entrada do(s) tubo(s), de maneira a evitar a entrada de lama e detritos dentro dele(s). Finalmente é construída uma caixa ou PV, dependendo da aplicação que a tubulação será destinada.

3.4. Equipamentos, acessórios e materiais

Na sequência serão descritos os principais equipamentos e acessórios utilizados pelo método de perfuração direcional horizontal, constantes na Figura 3.27.

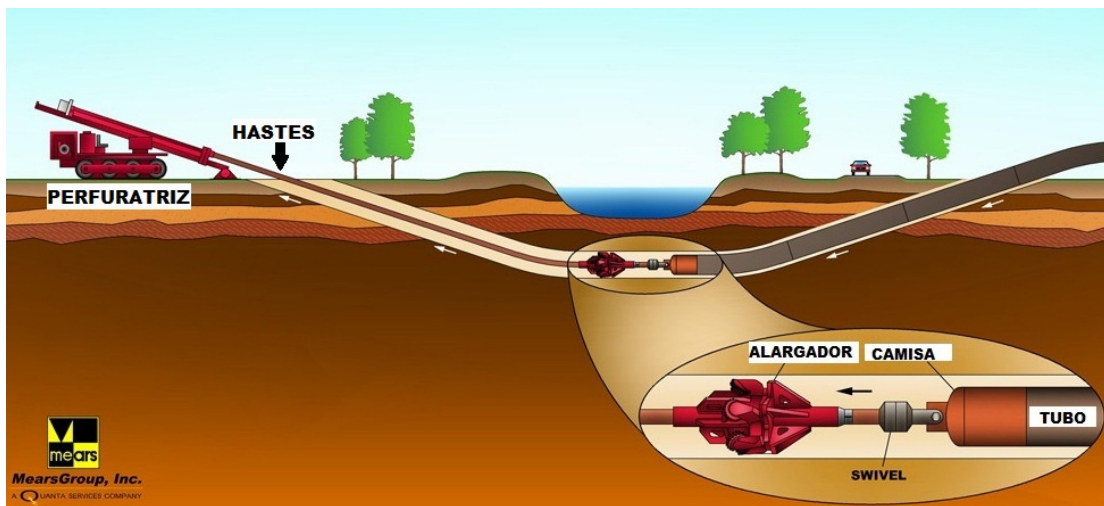


Figura 3.27: Disposição dos equipamentos e acessórios HDD.

Adaptado de: <http://www.mears.net/horizontal-directional-drilling/index.php/hdd/the-hdd-process/>.

Acesso em 05/12/2014.

3.4.1. Perfuratriz

É o equipamento responsável pela execução do furo piloto, dos alargamentos e do puxamento da tubulação até o ponto de saída da perfuração.

As barras ou hastas para perfuração são conectadas entre si através de roscas, contrárias ao sentido de rotação das barras, e são rotacionadas pelo sistema hidráulico e mecânico deste equipamento, que geralmente é feito por um motor a combustão interna movido a diesel (JAMAL, 2008).

Ainda segundo Jamal (2008), os equipamentos de perfuração são divididos em três categorias, de acordo com sua capacidade de tração e com as dimensões da tubulação instalada, conforme indicado na Tabela 3.3. A Figura 3.28 ilustra uma

perfuratriz HDD de médio porte (*Mid*) em funcionamento, com detalhe para as hastes de perfuração.

Tabela 3.3 – Categoria das perfuratrizes HDD

Característica	Unidade	<i>Maxi</i>	<i>Mid</i>	<i>Mini</i>
Diâmetro	(mm)	600 a 1200	300 a 600	50 a 300
Profundidade	(m)	≤ 61	≤ 23	≤ 6
Extensão	(m)	≤ 1830	≤ 305	≤ 183
Torque	(KN.m)	≤ 108,5	1,2 a 9,5	≤ 1,3
Capacidade de puxada/tração	(t)	≥ 45,36	9,07 a 45,36	≤ 9,07
Peso da máquina	(t)	≤ 30	≤ 18	≤ 9
Material do tubo		PEAD e aço	PEAD, aço e ferro dúctil	PEAD, aço e PVC fundido
Aplicações típicas		Travessias sob Rios e Autovias	Travessias sob Rios e Rodovias	Linhas de gás, cabos de energia e telecominações

Fonte: (DEZOTTI, 2008)



Figura 3.28: Perfuratriz HDD de médio porte do fabricante Vermeer.

Fonte: Próprio autor.

3.4.2. Hastes

Segundo Jamal (2008), as hastes ou barras são elementos que transmitem os esforços para a cabeça de perfuração/alargadores durante a execução do furo piloto e dos alargamentos do furo piloto, além de suportar a tração exercida pela perfuratriz no ato de puxamento da tubulação. Além disso, conduz o fluido de perfuração até a cabeça de perfuração (no furo piloto) e para os alargadores (alargamentos).

As hastes são feitas em liga metálica e a conexão entre elas é feita através de roscas, que possuem sentido contrário ao de rotação da perfuratriz, garantindo assim que não se desapertem na execução dos serviços. Dependendo do tipo de perfuratriz, os comprimentos das barras podem variar entre 1,8 e 10,4 m (JAMAL, 2008).

Outra característica relevante das hastes é o raio de curvatura, pois as especificações de projeto (geometria e dimensões) irão influenciar na escolha do equipamento em função do raio de curvatura mínimo suportado pelas hastes da perfuratriz HDD. A tabela 3.4 apresenta os raios de curvatura para diferentes hastes encontradas comercialmente.

Tabela 3.4 – Valores comerciais de raio de curvatura mínimo para hastes

Diâmetro (cm)	Comprimento (m)	Massa (kg)	Raio de Curvatura Mínimo (m)
4,3	1,8	8	17,5
6,4	3,0	29	31,1
7,0	3,0	37	33,0
7,0	4,6	54	33,0
8,6	4,6	79	42,7
9,8	4,6	91	51,4
10,5	6,1	150	60,2

Fonte: (JAMAL, 2008)

A Figura 3.28 ilustra o posicionamento das hastes na perfuratriz e a Figura 3.29 apresenta um corte longitudinal em uma haste de perfuração, demonstrando a parte interna por onde circula o fluido de perfuração e as roscas, onde as hastes se ligam umas às outras.

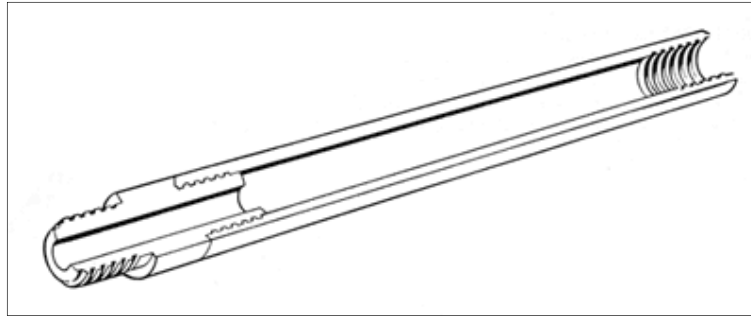


Figura 3.29: Corte longitudinal em uma haste de perfuração.

Fonte: http://www.drillwell.co.uk/a_drillrod.gif. Acesso em 06/12/2014.

3.4.3. Cabeça de perfuração

É um acessório instalado na frente da haste de perfuração, onde fica alojado a sonda transmissora dos sinais eletromagnéticos de localização, bem como onde vai afixada a ferramenta de corte utilizada no furo piloto, conforme ilustra a figura 3.30.



Figura 3.30: Cabeça de perfuração, com detalhe para a ferramenta de corte e para o transmissor/sonda.

Fonte: (DEZZOTI, 2008)

Existem vários tipos de ferramenta de corte, cada uma adequada para um tipo de utilização, segundo a Figura 3.31.

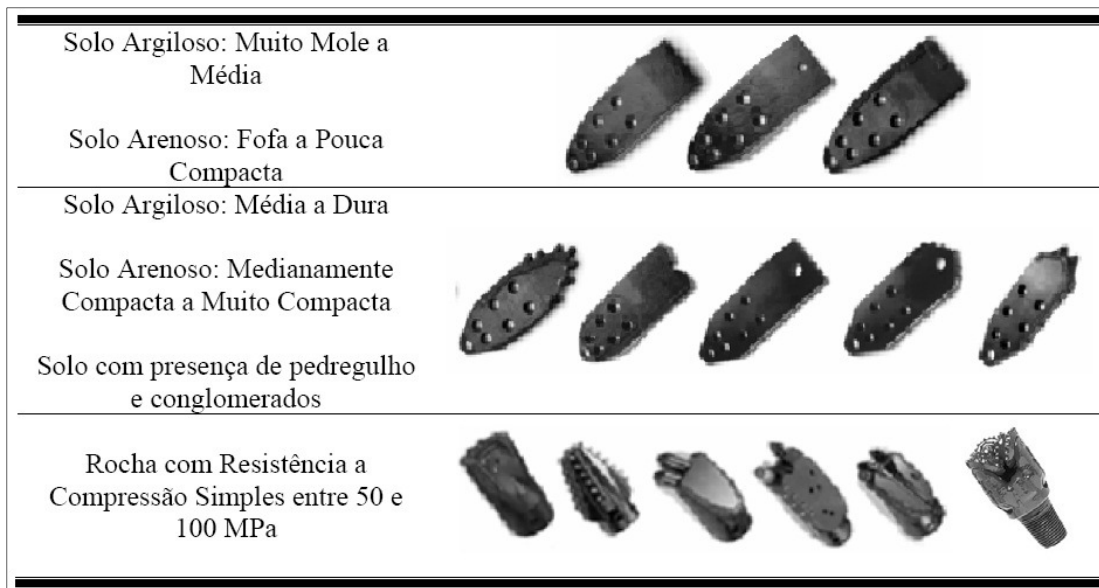


Figura 3.31: Tipos de ferramentas de corte e aplicações.

Fonte: (JAMAL, 2008)

3.4.4. Alargadores

Segundo Jamal (2008), o alargador é um acessório instalado na frente da haste de perfuração e se destina a aumentar o diâmetro do furo piloto até que este diâmetro seja adequado à tubulação que será instalada, minimizando assim os esforços de tração no ato do puxamento do(s) tubo(s).

Existem vários tipos e tamanhos de alargadores, sendo que a escolha adequada baseia-se, sobretudo, nas condições do solo, no comprimento e diâmetro do furo e na capacidade de bombeamento da perfuratriz (DEZOTTI, 2008).

A Figura 3.32 ilustra os vários tipos de alargadores e suas principais aplicações.

Alargador de Compactação	Alargador de Mistura	Alargador Multi-Utilitário
		
“Espiral”	“Fly-Cutter”	“Fluted”
Maciço com presença de pedregulhos e cascalho	Maciço arenoso compacto ou argiloso consistente	Maciço com trechos para alargador de compactação e mistura alternados
		Alargador Para Rocha 
“Barrel”	“Helical”	“Rock-it”
Maciço arenoso de baixa compacidade ou argiloso de baixa consistência	Maciço arenoso compacto ou argiloso consistente	Rochas com resistência a compressão simples próximo a 100 MPa

Figura 3.32: Tipos de alargadores e principais aplicações.

Fonte: (JAMAL, 2008)

3.4.5. Swivel

É um acessório, também chamado de distorcedor, instalado entre o alargador e a cabeça de puxamento dos tubos de maneira a evitar que a rotação das hastes e do alargador seja transferida para a tubulação que está sendo implantada. Na maioria das vezes este dispositivo já vem acoplado ao alargador, conforme demonstra a Figura 3.33.

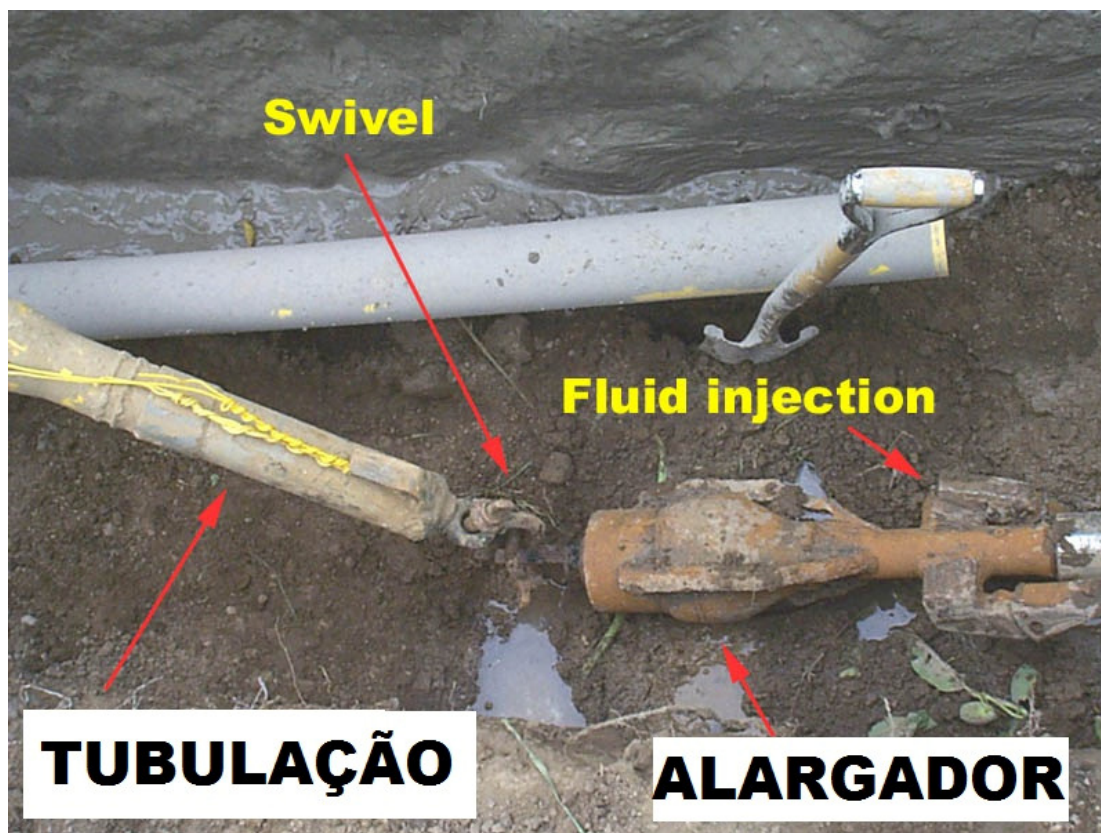


Figura 3.33: *Swivel* acoplado ao alargador.

Fonte: <http://rebar.ecn.purdue.edu/Trenchless/secondpage/Content/HDD.htm>. Acesso em 10/12/2014.

3.4.6. Cabeça de puxamento

A cabeça de puxamento, também chamada de camisa, é um dispositivo, geralmente metálico, instalado após o *swivel* que se prende à tubulação a ser implantada, devendo suportar os esforços de tração durante a instalação do(s) tubo(s) no furo já alargado. A Figura 3.34 exemplifica o uso da cabeça de puxamento e a fixação do tubo, feita através de parafusos.



Figura 3.34: Camisa/cabeça de puxamento com fixação do tubo através de parafusos.

Fonte: Próprio autor.

3.4.7. Sistema de navegação

O sistema responsável pelo controle da trajetória da perfuração é denominado de sistema de navegação. Durante o furo piloto, a posição da cabeça de perfuração, possível de ser identificada devido ao transmissor instalado dentro da mesma, permite que se oriente a perfuração, corrigindo e guiando a trajetória do furo piloto.

Segundo Jamal (2008), de um modo geral, os sistemas de navegação são compostos por transmissores e receptores de sinais, nesse caso, sinais eletromagnéticos. Os transmissores estão instalados dentro da cabeça de perfuração e os receptores recebem estes dados transmitidos, convertendo-os em dados que informam a posição, inclinação, temperatura e rotação da ferramenta de corte.

Basicamente, os receptores são dois: um localizado na perfuratriz, que é fixo, e um móvel, operado pelo navegador da perfuração, que em tempo real monitora todos os aspectos do furo piloto e guia a trajetória da perfuração.

Todos estes equipamentos são eletrônicos e operados por bateria. No caso da sonda transmissora, ela utiliza pilhas tamanho D de 1,5v cada. A Figura 3.35 ilustra todos os componentes do sistema de navegação.



Figura 3.35: Componentes do sistema de navegação.

Fonte: <http://www.santoseteodoro.com.br/santoseteodoro/Web/Equipamentos>. Acesso em 15/12/2014.

3.4.8. Fluidos de perfuração

Basicamente, os fluidos de perfuração são compostos por água e aditivos, que podem ser bentonita e/ou polímeros. As bentonitas são argilas bastante finas formadas, em sua maioria, pela alteração química de cinzas vulcânicas, predominando em sua composição a montmorilonita, que explica sua tendência ao inchamento.

Segundo Quélhas (2005), a bentonita é indicada para solos arenosos, que são mais instáveis e não adquirem boas propriedades de compactação e sustentação do furo recém perfurado. Além disso, são solos bastante permeáveis, absorvendo a água. Dessa forma, utiliza-se a bentonita dissolvida na água de perfuração para evitar ou retardar ao máximo a absorção de água pelo solo arenoso, já que a bentonita é um tipo de argila altamente refinada, formando uma espécie de capa nas paredes do

furo, evitando que o fluido penetre nos vazios do solo arenoso e aumentando a estabilidade do solo.

A bentonita apresenta também outras funções, como a lubrificação e a suspensão das partículas da perfuração, em razão da sua consistência de gel, quando dissolvida em água e após a sua hidratação (QUÉLHAS, 2005).

Já para solos argilosos, que têm por característica a absorção da água e consequente inchamento devido à hidratação das argilas, utiliza-se os polímeros, cuja principal função é inibir a absorção de água por parte da argila, evitando seu aumento de volume. Os polímeros são compostos, basicamente, por uma cadeia de carbono longa, sendo produtos orgânicos e ainda biodegradáveis (QUÉLHAS, 2005).

Segundo Guimarães (2007), os polímeros mais utilizados podem ser classificados em três grupos: os polímeros naturais, os naturais modificados e os polímeros sintéticos. Os polímeros naturais presentes nos fluidos de perfuração são as chamadas gomas, os biopolímeros e os a base de amido. Uma característica importante desse tipo polímero consiste no fato de possuir partículas grandes em sua cadeia, minimizando a penetração do fluido de perfuração no solo.

Ainda de acordo com Guimarães (2007), os polímeros modificados mais empregados são os CMC (carboximetilcelulose); HEC (hidroxietilcelulose) e o CMS (carboximetilamido). Além da inibição da absorção de água, outra função importante desses polímeros é a de aumentarem a viscosidade do fluido, colaborando com a capacidade de carregamento de cascalhos.

Segundo Dezotti (2008), as principais funções do fluido de perfuração são:

- Estabilizar a perfuração e prevenir desmoronamentos;
- Remover o material escavado para a superfície;
- Manter o material perfurado em suspensão;
- Lubrificar as ferramentas de perfuração;
- Diminuir o atrito entre a tubulação e a parede do furo;
- Resfriar e limpar a cabeça de perfuração.

A mistura dos componentes do fluido de perfuração é feita em dispositivos misturadores como o da Figura 3.36, que utilizam um pequeno motor de combustão interna para acionar as pás que realizam a mistura do fluido. Estes equipamentos geralmente são instalados em caminhões, facilitando o deslocamento na obra. Existe também a necessidade de apoio de um caminhão pipa, fornecendo água para o sistema misturador, que por sua vez alimenta a perfuratriz com o fluido de perfuração já preparado.



Figura 3.36: Equipamento misturador de fluido de perfuração.

Fonte: http://www2.vermeer.com/vermeer/LA/pt/N/equipment/mix_systems/mx125. Acesso em 20/12/2014.

3.4.9. Tubos

A perfuração direcional permite a instalação de tubulações de aço, tubulações de polietileno de alta densidade (PEAD), tubos semi-rígidos com juntas elásticas (Flex-Ring) e de PVC que permitem a termofusão das barras.

Os tubos em PEAD são bastantes utilizados, visto que possuem diversas aplicações, como esgoto, água potável, gás, telecomunicações e energia elétrica. A Figura 3.37 apresenta uma tabela de um fabricante com as dimensões conforme a NBR 15561

(ABNT, 2011), que regulamenta os sistemas de distribuição e adução de água e transporte de esgoto sanitário sob pressão - requisitos para tubos de polietileno PE 80 e PE 100. As classes de pressão (PN) variam de 4 até 20kgf/cm².

DIMENSÕES CONFORME NORMA ABNT NBR 15561:2011																
	SDR 32,25		SDR 26		SDR 21		SDR 17		SDR 13,6		SDR 11		SDR 9		SDR 7,25	
PE 100	PN 5		PN 6		PN 8		PN 10		PN 12,5		PN 16		PN 20		-	
PE 80	PN 4		PN 5		PN 6		PN 8		PN 10		PN 12,5		PN 16		PN 20	
DE (MM)	e (mm)	peso médio (kg/m)	e (mm)	peso médio (kg/m)	e (mm)	peso médio (kg/m)	e (mm)	peso médio (kg/m)	e (mm)	peso médio (kg/m)	e (mm)	peso médio (kg/m)	e (mm)	peso médio (kg/m)	e (mm)	peso médio (kg/m)
63									4,7	0,866	5,8	1,043	7,0	1,228	8,7	1,477
75							4,5	1,006	5,6	1,226	6,9	1,475	8,4	1,756	10,4	2,101
90							5,4	1,446	6,7	1,757	8,2	2,111	10,0	2,502	12,5	3,026
110					5,3	1,760	6,6	2,152	8,2	2,630	10,0	3,131	12,3	3,763	15,2	4,500
125			4,9	1,859	6,0	2,249	7,5	2,777	9,3	3,385	11,4	4,062	13,9	4,825	17,3	5,814
140			5,4	2,304	6,7	2,816	8,3	3,446	10,4	4,235	12,8	5,097	15,6	6,066	19,4	7,297
160	5,0	2,447	6,2	3,022	7,7	3,694	9,5	4,498	11,9	5,523	14,6	6,646	17,8	7,904	22,1	9,506
180	5,6	3,091	7,0	3,812	8,6	4,641	10,7	5,689	13,4	7,004	16,4	8,401	20,0	9,986	24,9	12,026
200	6,2	3,810	7,7	4,667	9,6	5,751	11,9	7,021	14,9	8,636	18,2	10,360	22,3	12,379	27,6	14,821
225	7,0	4,806	8,7	5,925	10,8	7,267	13,4	8,904	16,7	10,894	20,5	13,112	25,0	15,596	31,1	18,791
250	7,8	5,952	9,7	7,334	11,9	8,894	14,9	10,979	18,6	13,478	22,8	16,188	27,8	19,271	34,5	23,152
280	8,7	7,435	10,8	9,139	13,4	11,227	16,6	13,710	20,8	16,870	25,5	20,286	31,2	24,231	38,7	29,068
315	9,8	9,411	12,2	11,631	15,0	14,209	18,7	17,362	23,4	21,361	28,7	25,670	35,0	30,555	43,5	36,764
355	11,1	12,037	13,7	14,687	16,9	17,914	21,1	22,096	26,3	27,058	32,3	32,573	39,5	38,870	49,0	46,649
400	12,4	15,127	15,4	18,611	19,1	22,843	23,8	28,032	29,7	34,392	36,4	41,345	44,5	49,333	55,2	59,243
450	14,0	19,160	17,4	23,640	21,5	28,889	26,7	35,383	33,4	43,520	41,0	52,341	50,0	62,335	61,7	74,544
500	15,5	23,601	19,3	29,131	23,9	35,642	29,7	43,718	37,1	53,722	45,5	64,571	55,6	77,026		
560	17,4	29,664	21,6	36,478	26,7	44,608	33,2	54,767	41,5	67,267	51,0	81,009	61,7	95,834		
630	19,6	37,554	24,3	46,178	30,0	56,351	37,4	69,366	46,7	85,125	57,3	102,451				
710*	22,1	47,753	27,4	58,649	33,9	71,749	42,1	88,015	52,6	108,054						
800*	24,9	60,507	30,8	74,226	38,1	90,944	47,5	111,815	59,3	137,265						
900*	28,0	76,516	34,7	94,065	42,9	115,071	53,4	141,413								
1000*	31,1	94,542	38,5	115,977	47,7	142,167	59,3	174,482								
1200*	37,3	135,973	46,2	167,007	57,2	204,624										

OBS. 1: no diâmetro de 560 mm SDR 9, só poderá ser produzido em PE 100.

OBS. 2: para redes de distribuição de água somente se aplicam nos diâmetros DE (63; 90; 110; 160; 225; 280 e 315) e SDR (17; 13,6 e 11)

Cor dos Tubos:

- Tubulação para redes de distribuição e/ou adutoras de água: cor preta, cor azul ou cor preta com listras azuis;
- Tubulação para transporte de esgoto sanitário sob pressão: cor preta com listras ocre.

Figura 3.37: Tabela com dimensões e especificações de tubos PEAD segundo a norma ABNT 15561.

Fonte: http://www.polierg.com.br/tubos_em_pead.asp. Acesso em 22/12/2014.

Os tubos em PEAD são produzidos em bobinas ou em barras, dependendo do diâmetro. A maioria dos fabricantes produz bobinas com diâmetro de até 125 mm. Acima disso os tubos são produzidos em barras de 6 ou 12 m, podendo ser soldados através do processo de termofusão, conforme ilustra a Figura 3.38.

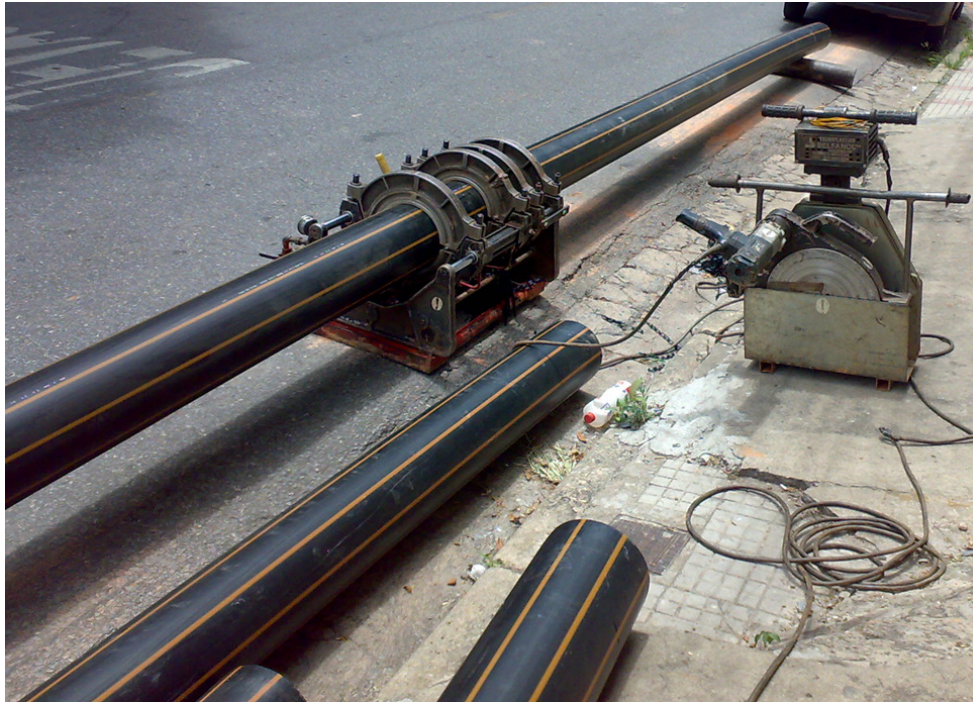


Figura 3.38: Solda em tubos PEAD por termofusão.

Fonte: Próprio autor.

O manuseio dos tubos fornecidos em bobinas deve ser realizado com cuidado, evitando que o tubo dobre como na figura 3.39.



Figura 3.39: Tubo de PEAD dobrado devido a manuseio incorreto.

Fonte: Próprio autor.

4. ESTUDO DE CASO

Como exemplo de aplicação do método de Perfuração Horizontal Direcional será apresentada uma obra realizada em novembro de 2009 na rua Alentejo no bairro São Francisco, em Belo Horizonte, na qual foi implantado um tubo de 225 mm para esgotamento sanitário. A Figura 4.1 apresenta a localização da obra baseada em imagens do *software* Google Earth.



Figura 4.1: Localização da obra.

Fonte: Google Earth.

O trecho de esgotamento sanitário implantado tinha por finalidade coletar o esgoto doméstico de um trecho do bairro São Francisco que era jogado diretamente em um córrego. Tal intervenção fazia parte do programa Caça Esgoto da Copasa, companhia de saneamento e abastecimento de água de Minas Gerais, concessionária do serviço em Belo Horizonte.

O referido trecho na rua Alentejo foi executado com 36 m de tubulação implantada (Figura 4.2), porém, a perfuração totalizou 87 m. Foram utilizados seis tubos PEAD

de 225 mm para esgoto classe PN8 e foi necessário realizar a soldagem dos tubos por termofusão. O alargamento final foi de 12", cerca de 30 cm de diâmetro.

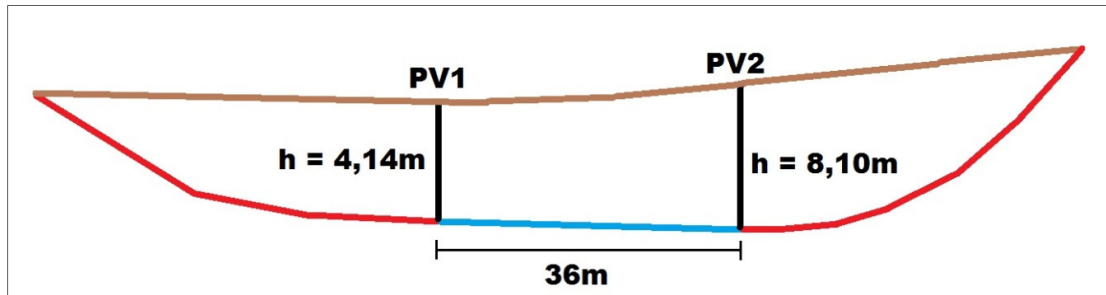


Figura 4.2: Diagrama esquemático da perfuração.

Fonte: Próprio autor.

A obra foi realizada sem prejuízo ao tráfego de veículos e pedestres no local, pois no local onde a perfuratriz e o caminhão de apoio foram estacionados o estacionamento de veículos era autorizado, conforme ilustra a Figura 4.3. Além disso, a empresa contratante já havia providenciado todas as licenças necessárias para a realização da obra em via pública.



Figura 4.3: Posicionamento dos equipamentos para a realização da obra.

Fonte: Próprio autor.

A utilização da perfuração horizontal direcional para implantação da rede de esgoto nesse trecho da obra se deveu principalmente pela maior velocidade de execução, bem como da economia com mão de obra, escoramentos (vide as profundidades dos poços de visita e profundidades da rede entre 4 e 8 m, conforme Figura 4.2) , além de não obstruir o tráfego de veículos na via. Além disso, o impacto gerado com movimentação de terra e recomposição de pavimento foi praticamente eliminado, restando apenas como resíduo uma lama composta pelo fluido de perfuração misturado com o solo perfurado, como apresentado na Figura 4.4.



Figura 4.4: Lama resultante da perfuração

Fonte: Próprio autor.

A figura 4.5 apresenta a finalização de um pré-alargamento e a figura 4.6 ilustra o processo de solda por termofusão dos tubos de PEAD utilizados nesse trecho da rede de esgoto implantada.



Figura 4.5: Finalização de um pré-argamento.

Fonte: Próprio autor.



Figura 4.6: Solda dos tubos de PEAD por termofusão.

Fonte: Próprio autor.

A figura 4.7 ilustra a fixação do tubo na cabeça de puxamento. A figura 4.8 apresenta a abertura de poço auxiliar, que tem a função de aliviar a pressão dentro da perfuração e permite que o tubo possa ser cortado, liberando as ferramentas e a cabeça de puxamento, conforme figura 4.9.



Figura 4.7: Fixação do tubo na cabeça de puxamento.

Fonte: Próprio autor.



Figura 4.8: Abertura de poço auxiliar.

Fonte: Próprio autor.



Figura 4.9: Corte do tubo.

Fonte: Próprio autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando-se os dois grandes grupos de métodos executivos – destrutivos e não destrutivos, a principal vantagem dos não destrutivos é a menor intervenção no entorno da obra.

De maneira geral, o método destrutivo ainda apresenta um custo de execução menor, porém os transtornos que ele causa, principalmente nos centros urbanos, têm inviabilizado o seu uso em detrimento dos métodos não destrutivos.

O uso da perfuração horizontal direcional é ainda relativamente recente e os custos de execução têm caído com o aumento da concorrência e disseminação da técnica, tornando-a cada vez mais atrativa. Seu uso ainda é restrito a determinados trechos, como travessias sob avenidas, viadutos, linhas férreas e cursos d'água. Assim, esse trecho da obra acaba sendo terceirizado para uma empresa que presta os serviços de perfuração.

O tempo de execução das obras é sensivelmente menor e requer um número menor de empregados, dispensa escoramentos e minimiza bastante a recomposição do pavimento, que quase nunca é feita da maneira adequada, gerando mais transtornos no futuro.

A geração de resíduos também é significativamente menor, restando apenas a lama de perfuração, que deve ser recolhida e enviada para a devida destinação em botaforas.

A grande desvantagem da perfuração horizontal direcional é o alto preço dos equipamentos e da manutenção, além da exigência de mão de obra especializada, o que no método tradicional não se caracteriza como um problema.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRATT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NÃO DESTRUTIVA. *Manual Técnico de Métodos Não Destrutivos*. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7367: *Projeto e assentamento de tubulações de PVC rígido para sistemas de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9814: *Execução de rede coletora de esgoto sanitário – Procedimento*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9822: *Manuseio, armazenamento e assentamento de tubulações de poli (cloreto de vinila) não plastificado (PVC-U) para transporte de água e de tubulações de poli (cloreto de vinila) não plastificado orientado (PVC-O) para transporte de água ou esgoto sob pressão positiva*. Rio de Janeiro, 2012)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12266: *Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana de água*. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14461: *Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas - Tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Instalação em obra por método destrutivo (vala a céu aberto)*. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15561: *Sistemas para distribuição e adução de água e transporte de esgoto sanitário sob pressão - Requisitos para tubos de polietileno PE 80 e PE 100*. Rio de Janeiro, 2011.

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *DNIT-ES 106 – Terraplenagem – Cortes: Especificação de serviço*. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

DEZOTTI, M. C. *Análise da utilização de métodos não-destrutivos como alternativa para redução dos custos sociais gerados pela instalação, manutenção e substituição de infra-estruturas urbanas subterrâneas*. Dissertação (mestrado em transportes) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo: 2008. 197 p.

GUILHEM, D. L. *Tecnologia de perfuração direcional nas construções de gasoduto*. Monografia (graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo: 2006. 89 p.

GUIMARÃES, I. B., ROSSI, L. F. *Estudo dos constituintes dos fluídos de perfuração: Proposta de uma formulação otimizada e ambientalmente correta*. 4^º PDPETRO, Campinas, 2007.

IBGE, Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: Estatísticas do século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol 42, 1979.

JAMAL, F. G. *Avaliação da precisão da declividade da técnica de perfuração direcional horizontal para instalações de redes de esgoto*. Dissertação (mestrado em geotecnia). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo: 2008. 126 p.

QUÉLHAS, M. F. *Estudo e concepção de um sistema para caracterização de esforços em máquinas de perfuração direcional*. Dissertação (mestrado em engenharia mecânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro: 2005. 143 p.