



CRITÉRIO PRÁTICO PARA ESCOLHA DO TIPO DE MND PARA IMPLANTAÇÃO DE REDES NOVAS

Alisson Gomes de Moraes⁽¹⁾

Doutor em Engenharia Civil – Modalidade Obras Hidráulicas pela Escola Politécnica da USP - Universidade de São Paulo, Mestre em Engenharia Civil – Modalidade Obras Hidráulicas pela Escola Politécnica da USP. Engenheiro Civil pela Universidade Nove de Julho e Tecnólogo em Obras Hidráulicas pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP). Engenheiro Civil na SABESP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros – São Paulo - SP - CEP: 05429-900 - País - Tel: +55 (11) 3388-6603 - e-mail: agmoraes@sabesp.com.br.

RESUMO

A implantação de novas redes em métodos não destrutivos é cada vez mais demanda, porém há dificuldade, por parte do engenheiro, para definição do método mais adequado. Este trabalho visa apresentar um critério prático para definição do método a ser utilizado para execução de redes novas por métodos não destrutivos. Foram levantadas as principais características e restrições dos métodos: perfuração direcional horizontal (HDD), tubo cravado, NATM e *Tunnel Liner*. As restrições levantadas foram tabuladas de modo a uniformizá-las e em seguida foram atribuídos pesos para cada restrição por cada método. Como resultado, foi elaborada uma tabela a qual é possível criar um critério prático orientativo para auxiliar o engenheiro a definição do método mais adequado para sua obra.

PALAVRAS-CHAVE: método não destrutivo; infraestrutura; critério prático.

INTRODUÇÃO

Implantação de novas redes de infraestrutura, seja de saneamento, energia ou comunicação, nas áreas urbanas está a cada dia mais difícil de ser realizada. A quantidade de interferências, bem como as restrições a obras nestas áreas tem forçado a adoção de práticas que minimizem o impacto destas obras na superfície.

Em função disto há um aumento da demanda para execução de redes por métodos não destrutivos. Com o aumento da demanda e a evolução da tecnologia há uma redução do custo para execução de redes novas e também há um aumento na diversidade de métodos existentes no mercado.

Cada um destes métodos tem suas próprias características e possibilidade de emprego. Com tal diversidade e por estes métodos até poucos anos atrás serem pouco difundidos, há uma dificuldade de escolha, por parte do engenheiro, do método mais adequado para execução de uma determinada rede.

Em função de tal dificuldade verifica-se a adoção de métodos inadequados ou inexequíveis para a rede que se propões implantar. Há a necessidade de elaboração de critérios tendo em vista a facilitar a escolha do método executivo não destrutivo mais adequado.

OBJETIVO

Apresentar um critério prático para definição do método a ser utilizado para execução de redes novas por métodos não destrutivos.

METODO

O método utilizado para elaboração desta pesquisa, consistiu nos passos:

- Definição dos métodos a serem abordados;
- Elaborar revisão bibliográfica apresentado suas respectivas características e restrições
- Tabulação das restrições apresentadas pelos métodos avaliados;
- Definir critério para classificação e atribuir forma de avaliação;



- Realização de análise crítica dos resultados.

Conforme método apresentado do tópico anterior, foi realizada uma pesquisa para levantamento das características dos métodos HDD, Tubo Cravado, NATM e Tunel Liner. O resultado desta pesquisa está apresentado nos tópicos abaixo.

Perfuração Horizontal Direcional (Horizontal Directional Drilling - HDD)

Segundo BENNET e ARIARATNAM (2017) a Perfuração Horizontal Direcional é um método o qual uma haste é lançada a partir da superfície por uma perfuratriz, fazendo um furo piloto. Após o alargamento e estabilização deste furo é puxada a tubulação.



Figura 1. Execução de redes em perfuração direcional. Fonte: Autor.

Para execução em redes em perfuração direcional são utilizados uma perfuratriz e os seus acessórios. O principal critério para a especificação da perfuratriz é sua força de puxada (“pullback”) a qual varia principalmente em função do tipo de solo e do diâmetro do tubo. Os acessórios são: hastes, equipamento para mistura de lama, equipamento de navegação, equipamento de solda (para redes em PEAD e aço) e ponteiras.

Exige no mínimo duas pessoas para a execução do furo, sem contar o acoplamento ou solda dos tubos. Tais funcionários devem ter nível médio de qualificação.

Apesar de não existir a necessidade de poços de emboque, exige a abertura de no mínimo duas pequenas valas. Uma vala é para a cravação da haste e saída dos alargadores e a segunda deve ser suficiente para a inserção dos tubos. No caso de redes de gravidade, além de tais valas, devem ser feitas aberturas para execução dos poços de visita.

As redes executadas através deste método, segundo BENNET e ARIARATNAM (2017), podem ser de PEAD, FPVC, PVC Segmentado, Aço e DIP. No Brasil o material mais utilizado é o PEAD, com algumas aplicações pontuais em aço. O PVC segmentado, apesar do tubo ser amplamente utilizado no Brasil, não há conexões disponíveis para tal tipo de aplicação.

É um método de execução considerada rápida. O avanço depende do diâmetro da rede, do tipo de solo, da declividade aplicada à rede e das interferências existentes. O tipo de solo e a declividade aplicada à rede determinam a velocidade de cravação da haste. Já o diâmetro da rede, determina a quantidade de passadas do alargador e o tempo necessário para sua instalação.

Os itens abaixo são restrições para utilização deste método:

- Tipo de solo, principalmente solos moles, com baixo ângulo de atrito ou rochosos;
- Espaço para estacionamento da perfuratriz e do misturador de lama;
- Espaço para o ângulo vertical de entrada e saída da haste e as curvas verticais para atingir as cotas desejadas da rede;
- Recalques na superfície;



- Proximidade de outras interferências;
- Redes com limitações de declividades, não sendo possível executar redes com declividades inferiores à 1% (algumas literaturas recomendando 2%);
- Descarte da lama gerada em aterros licenciados classe IIA;
- Local para solda e espera do tubo antes de ser assentado;
- Estresse por tração do tubo na puxada;
- Aplicação de polímeros e/ou bentonita em função do tipo de solo existente no local;
- Nível de escolaridade da equipe;
- Custo de aquisição e operação da perfuratriz.

Tubo Cravado (Pipe Jacking)

O método de cravação de tubos, ou *Pipe Jacking*, consiste em cravar tubos de concreto ou aço empurrados por um macaco hidráulico. Segundo NAJAFI (2016) na frente dos tubos é instalada uma máquina de perfuração do tipo microtúnel controlada remotamente. Dentro do poço de emboque são instalados macacos hidráulicos que fornecem a energia necessária para empurrar os tubos e a máquina de perfuração para a frente.



Figura 2. Cravação de tubos de concreto e tubos de aço. Fonte: Autor.

O acesso para instalação do equipamento é feito através de dois poços, um para emboque do tubo e outro para desemboque do tubo, ambos geralmente executados através do método NATM. O poço de emboque deve ter diâmetro suficiente para a instalação do equipamento de cravação e deve ter paredes de reação para apoio dos macacos hidráulicos durante a cravação. Já o poço de desemboque deve ter diâmetro suficiente para a remoção da cabeça de perfuração ao término da cravação. Em função disto, este método é o método que exige maiores diâmetros dos poços de acesso, o que representa restrição em locais com pouco espaço na superfície.

Tabela 1. Aplicabilidade do tubo cravado para diferentes condições de solo. Fonte: Adaptado de NAJAFI (2016).

<i>Tipo de Solo</i>	<i>Aplicabilidade</i>
Depósitos orgânicos, siltes e argilas de macias a muito macias	Sim
Siltes e argilas de médias e muito rígidas	Sim
Argilas duras e folhelhos altamente desgastados	Sim
Areias de muito soltas a soltas (acima do lençol freático)	Sim
Areias de médias a densas (abaixo do lençol freático)	Sim
Areias de médias a densas (acima do lençol freático)	Sim
Cascalhos e seixos com menos de 5 a 10 cm de diâmetro	Sim
Solos com seixos significativos, matações e obstruções com diâmetro maior que 10 a 15 cm	Marginal
Rochas intemperizadas, margas, gizes e solos firmemente cimentados	Sim
Rochas significativamente intemperizadas e não desgastadas	Não

A cravação é um processo, devido à precisão deste método, com um nível alto de instrumentação, com isto, necessita um operador com um nível de instrução alto. Em função deste fato, em algumas obras as quais foram acompanhadas pelo autor, o operador era do mesmo país de origem do fabricante do equipamento. Também



necessita de funcionários de menor qualificação para montagem e movimentação dos equipamentos no local da obra.

A maior parte das obras executadas atualmente na Sabesp são de cravação de tubos de concreto armado, principalmente para obras de redes coletora de esgoto. Também existem casos, como por exemplo uma Adutora de Reforço do Setor Consolação a qual foi executada através de cravação de tubos de aço. Segundo o executante foram necessárias poucas adaptações do equipamento de cravação de tubos de concreto para tubos de aço.

Segundo NAJAFI (2016) a produtividade de execução de tubulações por este método é de 10 a 25 m por turno de 8 horas. Porém esta velocidade de avanço vai depender das condições de solo, das condições de projeto e da experiência da equipe de operação.

É fundamental a identificação do perfil geotécnico ao longo do caminhamento da tubulação. NAJAFI (2016) apresentou na tabela 1 os tipos de solo onde este método é aplicável.

Em função do apresentado, o método do tubo cravado apresenta as seguintes restrições:

- Não utilizável em solos com rochas significativamente intemperizadas e não desgastadas ou seixos significativos, matacões e obstruções com diâmetro maior que 10 a 15 cm;
- Locais com espaço reduzido para a abertura dos poços de emboque e desemboque;
- Não é possível executar trechos não retilíneos;
- Podem ocorrer recalques na superfície, principalmente nas máquinas de frente não estabilizada;
- Proximidade de outras interferências;
- Descarte da lama gerada em aterros licenciados classe IIA;
- Estresse por compressão do tubo na cravação;
- Aplicação de polímeros e/ou bentonita em função do tipo de solo existente no local;
- Nível de escolaridade da equipe;
- Custo de aquisição e operação do equipamento de cravação.

NATM (New Austrian Tunneling Method)

O NATM é um método manual de escavação de túneis. Por ser manual é o método mais versátil, porém é o mais caro e com menor produtividade.

A forma de escavação do túnel varia em função do tipo de solo existente no local:

- Solos coesivos: são utilizadas ferramentas rudimentares (pás, picaretas, etc.);
- Solos Rochosos: podem ser feitos por martelo, explosivos ou argamassa expansiva. Em alguns casos, em função das condições geológicas necessitam de tratamento especiais;
- Solos moles ou submersos: Necessitam tratamento do maciço, principalmente com a utilização de estacas injetadas de nata de cimento (“Jet Grouting”). Após o tratamento pode ser escavado como um túnel em solo rochoso.

Após escavado, é feita a projeção de concreto nas paredes do túnel. Em função da estabilidade do túnel podem ser utilizadas cambotas metálicas. Podem ser adicionadas ao concreto fibras para aumentar a resistência do mesmo à tração.

A execução de túneis em NATM também exige equipamentos auxiliares, como por exemplo: trilhos e carrinhas, insufladores de ar, bombas de esgotamento, etc.

Por ser um método de execução basicamente manual não exige profissionais qualificados para sua execução. Porém necessita acompanhamento constante de equipe de topografia e equipe para avaliação da estabilidade do maciço.

Os poços de acesso podem ser executados também por NATM. Necessitam de diâmetros suficientes apenas para a passagem dos equipamentos e do solo escavado. Diferentemente do método de tubo cravado, não



necessitam a execução de um poço de desemboque, o que torna este método mais adequado para interligações a tubulações existentes.



Figura 3. Execução da estação Altos do Ipiranga do Metrô de São Paulo em NATM. Fonte: Autor

Através deste método pode ser utilizado para instalação todos os tipos de tubos e todos os diâmetros, apenas variando espaço para a descida do tubo até o túnel. O túnel sem revestimento como tubulação definitiva, apenas executando a canaleta de fundo.

Conforme o apresentado anteriormente as principais restrições para execução de tubulações por NATM são:

- Necessidade de estabilização de maciços em função do tipo de solo existente;
- Acompanhamento topográfico para a escavação e verificação recalques na superfície do terreno;
- Baixa produtividade, com trabalho totalmente manual em pequenas seções;
- Necessidade maior acompanhamento da equipe de segurança do trabalho;
- Necessidade de rebaixamento do lençol freático ou encapsulamento contra água da seção do túnel;

Tunnel Liner

O *Tunnel Liner* é uma técnica de execução manual de túneis similar ao NATM. Estes métodos diferem entre si, pois no *Tunnel Liner* nas paredes do túnel são instaladas chapas metálicas corrugadas, com espaço entre as placas e o terreno preenchido com nata de cimento, ao invés de paredes em concreto projetado. Esta diferença dá a este método uma produtividade maior em relação ao NATM, porém limitando o diâmetro máximo do túnel ao diâmetro e à resistência das chapas metálicas corrugadas.

Os equipamentos utilizados são os mesmo em relação ao NATM, apenas variando parafusadeiras para a instalação das chapas metálicas corrugadas. As chapas corrugadas são produtos comum de encontrar no mercado e podem ser de aço preto, aço galvanizado ou aço galvanizado revestido.

Não é necessário um alto nível de qualificação da equipe. Porém é necessário acompanhamento de uma equipe de topografia para garantir a trajetória do túnel e detectar possíveis recalques na superfície.



Segundo PINI (2012) a produtividade estimada a partir de uma obra executada em Lajes-SC foi de 5 m de túnel por dia. A produtividade é maior em relação ao NATM, pois a colocação das chapas metálicas corrugadas é muito mais simples que a projeção de concreto nas paredes do túnel. Também diâmetro do túnel pode ser reduzido, conseqüente o volume escavado é menor e a produtividade do avanço aumenta, em função da não necessidade de projeção de concreto.



Figura 4. Tubulações executadas através do método *Tunnel Liner*. Fonte: (Nakamura 2012).

Pode ser instalado qualquer tipo de tubo, porém deve-se atentar quanto as dimensões dos poços de acesso para passagem do tubo. É possível utilizar o túnel como tubulação definitiva, porém recomenda-se realizar estudo para evitar a corrosão das chapas metálicas e utilizar de chapas galvanizadas ou revestidas.

Quanto ao espaço para acesso na superfície, é o menor em relação aos demais métodos citados neste artigo. Em função deste fato, e de que é possível execução de traçados não retilíneos, a execução de redes em *Tunnel Liner* é recomendada para locais com baixa disponibilidade de espaço na superfície. Pode ser uma alternativa mais barata em relação à execução de rede em NATM.

Este método é utilizado em locais em solos coesivos, não sendo recomendado para locais com solos moles ou arenosos. Em locais onde há lençol freático alto, é necessário se prever a instalação de um sistema de rebaixamento de lençol freático durante o período de execução da obra. Em locais onde o solo é rochoso o diâmetro do tubo deve ser suficiente para passagem do equipamento, muitas vezes inviabilizado a execução por este método.

As principais restrições para utilização do método *Tunnel Liner* para execução de tubulações são:

- Restrição da utilização deste método em solos moles, rochosos ou granulares;
- Acompanhamento topográfico para a escavação e verificação recalques na superfície do terreno;
- Necessidade maior acompanhamento da equipe de segurança do trabalho;
- Necessidade de rebaixamento do lençol freático;
- Trabalho de escavação manual resultado em baixa produtividade em relação aos métodos Tubo Cravado e HDD.

RESULTADOS

A partir do conhecimento dos métodos de execução não destrutivos para de implantação de novas redes novas apresentados anteriormente. Nesta tabela foram elencadas as principais restrições as principais restrições levantadas.

Para cada método foi atribuída uma nota, conforme o critério a seguir:

- As notas para as restrições variam de 0 a 5 de acordo com a intensidade da restrição para cada um dos quatro métodos estudados neste artigo.
- A nota 0 é para aquele método onde esta restrição tem menor impacto na execução.
- Já a nota 5 é para o método onde ocorre o maior impacto, o qual pode inviabilizar ou necessitar de medidas para viabilizar a execução de tal método.



A tabela 2 foi elaborada seguindo os passos aqui descritos. Esta tabela estabelece um critério de avaliação comparativa entre os quatro métodos aqui abordados. Este critério é a comparação de cada restrição levantada em função da nota estabelecida para cada método executivo.

Tabela 2. Comparação entre os métodos executivos apresentados através de notas de 0 a 5.

RESTRIÇÃO	MÉTODOS			
	HDD	TUBO CRAVADO	NATM	TUNNEL LINER
Solos Arenosos	3	0	5	5
Solos Moles	5	3	4	5
Solos Rochosos	4	4	2	3
Nível do lenço freático	0	0 ¹	4	4
Acompanhamento topográfico	2	2	4	4
Produtividade	1	3	5	4
Segurança do trabalho	1	3	5	5
Limitação em função da declividade da rede	4	0	0	0
Utilização de lama e sua disposição final	4	3	0	0
Espaço ocupado na superfície	3	5	2	1
Mudanças de direção	0	5	0	2
Nível de instrução da equipe	4	5	2	2
Estresse na tubulação durante a execução	5	3	0	0
Custo de aquisição dos equipamentos	4	5	1	2
Recalque na superfície	3	3	5	5
Sensibilidade a interferências	5	5	5	5

CONCLUSÃO

A partir da revisão da bibliografia e da experiência do autor foram levantadas as principais restrições para a utilização dos quatro principais métodos utilizados para a implantação de redes por métodos não destrutivos. O conhecimento de tais restrições é fundamental, tendo em vista que não é possível fazer a escolha do método apenas comparando os custos ou indiscriminadamente.

Com as principais restrições levantadas, foram tabuladas de forma a criar um critério comparativo entre os métodos. O meio encontrado foi dar notas de 0 a 5, porém, por falta de bibliografia foi utilizada a experiência do autor para inferir tais notas.

Foi apresentada uma proposta de critério prático para a definição do método não destrutivo para instalação de novas redes. A tabela 2 é uma proposta de critério para auxiliar o engenheiro a definir o método executivo mais adequado para a sua obra, porém é de fundamental importância a elaboração de um projeto bem detalhado.

¹ Apenas para os equipamentos de cabeça balanceada, no qual a frente do equipamento é fechada;



Sem a elaboração de um projeto bem detalhado a tabela 2 perde uma parte de seu valor, pois não há parâmetros de comparação.

RECOMENDAÇÕES

Em função da ausência de bibliografia na área, é recomendado continuação deste estudo de forma a calibrar tanto aos itens elencados quanto às notas aplicadas a estes critérios. Também é possível agregar maior quantidade métodos não destrutivos, os quais não foram abordados neste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRATT. **Diretrizes dos Métodos Não Destrutivos.** Disponível em: http://www.abratt.org.br/diretrizes_mnd.pdf. Acesso em: 18 de outubro de 2016;
2. ADEL, M.; ZAYED, T. **Productivity Analysis of Horizontal Directional Drilling.** Pipelines 2009: Infrastructure's Hidden Assets, ASCE. San Diego, 2009;
3. BENNETT, David, e ARIARATNAM, Samuel. **HDD Perfuração Horizontal Direcional - Guia das Melhores Práticas.** 4ª. Tradução: Sérgio A. Palazzo. São Paulo: NASTT, 2017.
4. JAMAL, Fernando Galvanin. **Avaliação da precisão da declividade da técnica de perfuração direcional horizontal para instalações de redes de esgoto.** Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geotecnia. 2008;
5. NAKAMURA, Juliana. **“Execução de tunnel liner.”** *Infraestrutura Urbana* (PINI), Setembro 2012.
6. NAJAFI, Mohammad. **Tecnologia não destrutiva: planejamento, equipamentos e métodos.** Porto Alegre: Bookman, 2016;
7. SARIREH, M.; TARAWNEH, S.. **Modeling of Productivity for Horizontal Directional Drilling (HDD) Operation and Applications.** *European Journal of Business and Management*, ISSN 2222-1905 (Paper) ISSN 2222-2839 (Online), Vol.6, No.2, 2014.