

Guidelines for Use of Mini-Horizontal Directional Drilling for Placement of High Density Polyethylene Pipe

TR-46

2009

Prepared by: Dr. Larry Slavin

Member of the HDPE Municipal Advisory Board
Outside Plant Consulting Services, Inc. (OPCS)
15 Lenape Avenue, Rockaway, NJ 07866-1019

for

The Plastics Pipe Institute



105 Decker Court, Suite 825, Irving, TX 75062 P: 469-499-1044 F: 469-499-1063 www.plasticpipe.org
© Copyright, The Plastics Pipe Institute, Inc. 2009

Nota do Tradutor:

Caros leitores, companheiros do setor de Infraestruturas e instalação de redes subterrâneas por PERFURAÇÃO DIRECIONAL HORIZONTAL, ou HDD como mais comumente chamamos esse que é um dos métodos mais utilizados ao redor do mundo em MND,

A publicação deste trabalho, autorizado pela PPI, em língua portuguesa, chega bem depois de sua publicação original (2009), ou seja, praticamente doze anos depois. Sempre penso, que resultados teríamos alcançado na produtividade e precisão dos trabalhos de MNI HDD, na instalação de redes, seja de fibra ópticas, seja de gás natural, água, esgotos (estas pressurizadas), e energia se tivéssemos publicado antes.

São inúmeros incidentes quase que semanais, dos mais simples como “o travamento de uma coluna de hastes”, ou pelo levantamento de um pavimento sob o qual estamos perfurando. Lógico, os pequenos e diários incidentes, próprios de uma instalação comandada por instrumentos, não poderia como tudo em engenharia de infraestruturas, ser considerada uma tecnologia de risco zero.

Mais, no MINI HDD, hoje embora sem grandes pesquisas, é possível afirmar que 70% das instalações por esse método utilizam o MINI.

Nos EEUU, diante do crescimento da tecnologia e do método, o setor de normas, mais exatamente a ASTM, deu cobertura ao MAXI HDD, e deixou para o mercado, a regulamentação e melhores práticas para o MINI HDD, justamente aquele setor onde é mais utilizado, e o que preocupava e preocupa, onde sua aplicação é feita, nos imensamente povoados solos urbanos de todas as cidades, e principalmente, em suas áreas mais centrais.

O PPI, vem no socorro dessa lacuna, e apresenta um trabalho muito bom, que vale ter como uma literatura à mão de projetistas, concessionários, gerenciadores de projetos, o poder concedente, e as empreiteiras e subempreiteiras.

Não há como negar, que mesmo se tratando como ouvi muitas vezes, de “um furinho”, precisamos elaborar a concepção, a viabilidade técnica da aplicação, complementando com orçamentos de custos e prazos de entrega factíveis.

Chega à comunidade no limiar da apresentação da primeira norma brasileira de MND, o MINI HDD, ao contrário dos EEUU, demos tratativas ao setor mais sensível a erros e acidentes.

Esperamos que toda a comunidade, se envolva numa “ambição intelectual” e traga para esses projetos, a exatidão que a engenharia requer.

Engº Sergio A. Palazzo

PREFACIO

Diretrizes para o Uso de Mini Perfuração Horizontal Direcional para instalação de tubulações de Polietileno de Alta Densidade

TR-46

2009

Este relatório foi desenvolvido e publicado com a ajuda técnica dos membros do PPI (Plastics Pipe Institute Inc.). Os membros demonstraram seu interesse em produtos de qualidade trabalhando num grupo independente para formação de uma norma e organizações de usuários para o desenvolvimento delas, e também desenvolvendo relatórios para uma larga base das indústrias envolvidas para ajudar engenheiros, codificadores oficiais e definindo grupos e usuários.

O propósito deste relatório técnico é prover importantes informações disponíveis pelo PPI com um aspecto particular relativo às tubulações de polietileno fundidos por termofusão para engenheiros, usuários e empreiteiros, especificadores oficiais e outros interessados. Informações mais detalhadas em seus propósitos e usos são mostrados no documento em si.

O relatório foi preparado pelo PPI como um serviço para a indústria. A informação neste relatório é oferecida em boa fé e acredita-se ser apurada na época em que foi preparada, mas é uma oferta que não traduz nenhuma garantia, expressada ou implicada, incluindo GARANTIAS DE MERCANTILIDADE E ADEQUAÇÃO PARA UM DETERMINADO PROPÓSITO. Consulte o fabricante para informações mais detalhadas sobre procedimentos de união a ser utilizada em seus produtos. Nenhuma referência para ou de testes de uma particular propriedade de um determinado produto não deve ser executado ou construído o processado por quaisquer fabricantes. A informação deste relatório é oferecida em consideração aos participantes da indústria na tentativa de preencher e ajudar nas suas próprias responsabilidades de conformidade. O PPI assume a responsabilidade pela conformidade em respeito às leis aplicáveis e regulamentos.

The Plastics Pipe Institute, Inc

<http://www.plasticpipe.org>

Este relatório técnico TR 46 foi circulado pela primeira vez em Dezembro de 2009

105 Decker Court, Suite 825, Irving, TX 75062 P: 469-499-1044 F: 469-499-1063 www.plasticpipe.org
© Copyright, The Plastics Pipe Institute, Inc. 2009

Orientações para

Uso do Mini HDD Perfuração Horizontal Direcional para Instalação

De tubulações de Tubulações de Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

Índice do Conteúdo

1. Escopo.....	01
2. Normas e Especificações Referenciadas.....	
3. Terminologia.....	
4. Investigação Preliminar do Local da Instalação.....	
4.1. Considerações Gerais.....	
4.2. Tubulações Existentes no Subsolo.....	
4.3. Investigação na Superfície.....	
4.4. Investigação na Subsuperfície.....	
4.5. Situações não ligadas ao HDD.....	
5. Considerações sobre Segurança e Meio Ambiente.....	
5.1. Considerações Gerais	
5.2. Treinamento de Segurança	
5.3. Vestimenta e EPIs	
5.4. Segurança da Máquina	
5.5. Prevenção de Choque Elétrico	
5.6. Atingimento de Redes de Gás Natural	
5.7. Danos Provocados às Redes Existentes	
5.8. Meio Ambiente	
5.9. Competências	
6. Regulamentos e Prevenção de Danos	
6.1. Considerações Gerais	
6.2. Localização de Redes e sua Demarcação	
6.3. Zona de Tolerância (Afastamento)	
6.4. Engenharia de Gerenciamento de Redes Subterrâneas (SUE)	
7. Considerações sobre o Projeto e Seleção da Tubulação	
7.1. Objetivos	
7.2. Espessura Mínima da Parede em Consequência da Profundidade	
7.3. Espessura Mínima da Parede em Consequência da Carga de Puxada (Pull Back)	
7.4. Resultados	
7.5. Comentários	
8. Plano de Furo e Setup da Perfuratriz	
8.1. Considerações Gerais	
8.2. Direcionamento & Restrições das Hastes de Perfuração	
8.3. Restrições da Tubulação	
8.4. Traçado do Furo (Plano Vertical)	
8.5. Rota do Furo (Plano Horizontal)	

9. Implementação

- 9.1. Posicionamento da Perfuratriz
- 9.2. Furo Piloto
- 9.3. Uso dos Fluidos de Perfuração
- 9.4. Localizando o avanço e direcionamento da coluna de hastes no furo piloto
- 9.5. Registros
- 9.6. Alargamento
- 9.7. Prendendo a tubulação para a puxada
- 9.8. Manuseio da tubulação
- 9.9. Causas potenciais de falhas ou problemas
- 9.10. Como conter o vazamento de fluido de perfuração na superfície(retorno)

10. Finalização

- 10.1. Inspeção
- 10.2. Testes da Tubulação
- 10.3. Limpeza da obra
- 10.4. Registro Certificado (As Built) e Desenhos

APENDICES

- A. Curvatura da coluna de hastes ou capacidade de direcionamento
- B. Profundidade máxima admissível (Colapso da Tubulação – Flambagem)
- C. Predição da Tensão de Tração ou Puxada – Desenvolvimento Teórico
- D. Exemplos de Predição de Cargas e Seleção da Tubulação
- E. Características das Hastes e as Implicações – Desenvolvimento Teórico
- F. Exemplos de Setup da Perfuratriz e Geometria do Furo

REFERENCIAS

1. Escopo

- 1.1. Estas diretrizes descreve o projeto, considerações sobre a seleção e os procedimentos de instalação de tubulações de polietileno (PEAD) ou conduites no subsolo utilizando o método Mini Perfuração Horizontal Direcional (Mini HDD). O foco principal deste documento está na tubulação construída em **polietileno de alta densidade (PEAD) com o código de designação de material para ambos PE3608 ou PE4710**. Por conveniência, o termo PEAD é usado com um termo genérico para se referir a ambos os materiais, PE3608 ou PE4710, com a distinção, se alguma, para que fique claro em relação ao contexto. As informações também são dadas para tubulações de polietileno de média densidade (PEMD) PE 2406/2708. As propriedades relacionadas a esses materiais encontram-se no Manual de Tubulações de Polietileno do Instituto das Tubulações de Plástico¹. A tubulação deve ser fornecida em comprimentos contínuos em um carretel ou em segmentos isolados que são montados geralmente por fusão, no comprimento desejado. As aplicações incluem tubulações para a condução de fluídos como, gás natural, óleo e água, bem como dutos ou conduites para abrigar cabos de energia elétrica ou comunicações (Telefones, TVs a cabo...). Aplicações recentes também incluem redes em gravidade com declividades precisas como esgotos.
- 1.2. IEEE Norma 1333 descreve o uso desta tecnologia para instalar cabos de energia elétrica insulados, incluindo as mencionadas aplicações como conduites. O uso de Mini HDD para aplicação direta de cabos mais vulneráveis de comunicação, não é recomendado. Tais cabos devem ser do tipo PEAD ou conduites os quais devem ser instalados seguinte as diretrizes desta norma.
- 1.3. Perfuração Direcional Horizontal (HDD) representa a forma de tecnologia não destrutiva. O equipamento e os procedimentos são entendidos para minimizar na superfície e no subsolo maiores danos, e exigências de restauração, além de distúrbios no tráfego, com pouca ou nenhuma interrupção dos serviços existentes. Mini HDD também conhecido por “perfuração direcional” é tipicamente utilizada para pequenas distâncias e profundidades pequenas além pequenos diâmetros associados às linhas de distribuição, em comparação como o Maxi HDD tipicamente utilizado para distâncias mais longas, profundidades maiores e também tubulações de diâmetros maiores como por exemplo o cruzamento de rios. ASTM 1962 dá informações do detalhamento e diretrizes para o lançamento de tubulações utilizando-se a tecnologia Maxi HDD.
- 1.4. *Em contraste com a ASTM 1962, da qual as presentes diretrizes são parcialmente derivadas (veja Seção 7 e Apêndices B e C) o presente documento tem a intenção de providenciar informações úteis para as tecnologias e instalações menos sofisticadas, como pode ser avaliado no planejamento correspondente e nas práticas de projeto. Assim, o Mini HDD garante uma visão mais conservadora e limitada da abordagem do projeto utilizada na F 1962. O objetivo é prover um esboço e uma descrição breve dos próprios procedimentos a serem seguidos nas operações de Mini HDD, em comparação com as normas existentes na indústria e as diretrizes publicadas com inúmeros detalhes como é de praxe e apropriado. Todavia é a intenção deste documento prover os detalhes úteis para aspectos específicos que podem não estar convenientemente disponíveis em outras fontes. Exemplos das últimas publicações incluem informações*

¹ Os números em negrito e entre parênteses referem-se a lista de referências no fim desta norma.

sobre o set up das perfuratrizes, como os espaços necessários em função das hastes de perfuração e parâmetros de set up das perfuratrizes, bem como, uma metodologia para selecionar a resistências (espessura da parede) de um tubo de PEAD como função da geometria do caminhamento.

- 1.5. Por conveniência as dimensões e outras quantidades são providenciadas nas unidades comumente utilizadas polegada-pé-libra.

2. Normas e Especificações Referenciadas neste trabalho (Deixado em inglês para facilitar a busca)

ASC C2, National Electrical Safety Code, Institute of Electrical and Electronic Engineers

ASCE 108, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 108, Pipeline Design for Installation by Horizontal Directional Drilling

ASTM D 2657, Practice for Heat-Joining of Polyolefin Pipe and Fittings

ASTM D 3035, Specification for Polyethylene (PE) Plastic Pipe (SDR-PR) Based on Controlled Outside Diameter

ASTM F 512, Standard Specification for Smooth-Wall Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Conduit and Fittings for Underground Installation

ASTM F 714, Specification for Polyethylene (PE) Plastic Pipe (SDR-PR) Based on Outside Diameter

ASTM F 1962, Standard Guide for Use of Maxi-Horizontal Directional Drilling for Placement of Polyethylene Pipe or Conduit Under Obstacles, Including River Crossings

ASTM F 2160, Standard Specification for Solid Wall High Density Polyethylene (HDPE) Conduit Based on Controlled Outside Diameter (OD)

CI/ASCE 38, Standard Guidelines for the Collection and Depiction of Existing Subsurface Utility Data, American Society of Civil Engineers.

IEEE Std 1333, IEEE Guide for Installation of Cable Using the Guided Boring Method

OPSS 450, Ontario Provincial Standard Specification Construction Specification for Pipeline and Utility Installation in Soil by Horizontal Directional Drilling,

OSHA 3075, Controlling Electrical Hazards

GR-356, Telcordia Technologies Generic Requirements for Optical Cable Innerduct and Accessories

TIA/EIA-590A, Standard for Physical Location and Protection of Below Ground Fiber Optic Cable Plant

3. Terminologia

- 3.1. “Perfuração Horizontal Direcional” (HDD) é uma técnica de instalação de tubulações incluindo linhas de serviços públicos, abaixo da superfície usando uma perfuratriz que opera na superfície e insere e coloca uma coluna de hastes num ângulo de entrada e que possui um sistema de localização e direcionamento.

- 3.1.1. A coluna de hastes gera inicialmente um furo (piloto), de algumas polegadas de diâmetro, e num caminhamento essencialmente horizontal ou arco raso. Esse furo piloto deverá ser alargado durante uma operação secundária ou uma sequência dessas operações de alargamento com a utilização de um alargador. A tubulação

ou linha de serviço é tipicamente instalada durante a operação de alargamento final ou, se necessário, como uma etapa separada no processo. O caminhamento Pré determinado do furo é mantido por um sistema de localização do furo piloto usando um receptor portátil operado na superfície ou ainda com um sistema (sem fio, ou com fio) de localização e pode assim executar curvas e correções do caminhamento controlando a orientação da cabeça de perfuração. A cabeça de perfuração tem uma sapata com um viés direcional com uma face inclinada ou ainda um motor de fundo com uma cabeça (Bent Sub) que muda de posição e opera na frente de um conjunto especial de haste. Curvas e correções são obtidas empurrando o conjunto de hastes para frente com a face da sapata na direção pretendida ². A rotação continuada da coluna de hastes permite que a coluna descreva um movimento retilíneo e faça um furo reto. A penetração no solo é obtida com utilizando-se fluidos com alta pressão e baixo volume auxiliado por corte mecânico. O volume do fluido de perfuração é controlado para se evitar ou minimizar a criação de vazios durante a perfuração inicial e os alargamentos. O fluido de perfuração tem vários propósitos, incluindo a estabilização do furo piloto, remoção dos cortados³, lubrificação do ferramental de perfuração e do produto que está sendo instalado, além de resfriar a cabeça de perfuração e o transmissor eletrônico. Tipicamente, a lama resultante da mistura de fluido e cortados gradualmente se solidifica e se transforma numa massa que encapsula a tubulação que está sendo puxada.

3.1.2. “Mini HDD, ou Mini Perfuração Horizontal Direcional, é uma classe de HDD tipicamente empregado para instalações cujas extensões sejam inferiores a 180 m a uma profundidade até 4,5 m e colocando tubulações com diâmetros externos até 12” (300 mm). O equipamento tem como característica uma capacidade de puxada ou impulso (empuxo) até 20.000 libras (9.071 kg) com um torque inferior a 950 libras.pé. Máquinas de mini HDD pesam menos de 9 toneladas.

3.1.2.1. Equipamentos de Mini HDD são tipicamente utilizados para instalação de dutos e condutas para distribuição local de cabos para energia elétrica, comunicação, linhas de gás natural, sob ruas, propriedades privadas e ao longo de áreas abertas em rodovias. As menores máquinas de Mini HDD algumas vezes são mencionadas como “Micro HDD” e são mais adequadas para instalação de serviços de ligações domiciliares ou comerciais. Devido à recente experiência obtida pelos empreiteiros tem sido possível instalar algumas linhas (condutos livres) de esgoto por declividade. A construção do furo piloto e as operações de alargamento são conseguidos com o auxílio do fluido de corte e/ou o corte provido pelas ferramentas de escavação através de rotação da coluna de hastes. A localização e direcionamento geralmente requer um receptor que é operado na superfície e que é utilizado ao longo do caminhamento da instalação, e somente é utilizado na execução do furo piloto muito embora haja sistemas de localização e direcionamento remotos. As figuras 1 e 2 mostram um equipamento típico de Mini-HDD, as operações do furo piloto e alargamento, incluindo a puxada da tubulação.

3.1.3. “Maxi-HDD, ou Maxi Perfuração Horizontal Direcional é requisitada para instalações muito além das capacidades da tecnologia Mini-HDD. Maxi-HDD e

² NT Sem girar a mesma, pois girar resulta no caminhamento retilíneo.

³ Material escavado

capaz de instalar furos com muita precisão e em extensões de uma milha (1609 m) e colocando tubulações com diâmetros de 48" (1,22 m) e até maiores em profundidades que podem chegar a 60 m (200 pés). A capacidade de puxada e empuxo dessas máquinas pode passar em muito de 100.000 libras (45 toneladas) com capacidade de torque de 80.000 libras.pé respectivamente, e seu peso pode passar de 30 toneladas. Assim, o Máxi-HDD é mais apropriada quando se precisar instalar tubulações sob rios muito largos, ou outras grandes situações de restrições e obstáculos. O equipamento correspondente e a tecnologia são muito mais sofisticadas do que o Mini-HDD incluindo direcionamento e localização por sistemas com cabos e até sem cabos, e suas aplicações tendem a ser bem individualizadas, com instalações relativamente bem complicadas, que requerem engenheiros especializados durante todo o processo, incluso durante a fase de planejamento, projeto e na instalação. Máquinas de Máxi-HDD tipicamente utilizam motores de fundo com uma montagem de corte e direcionamento também conhecido por BENT-SUB para o corte de solos e formações rochosas. ASTM F 1962 fornece informações detalhadas e as melhores práticas para utilização desse método.

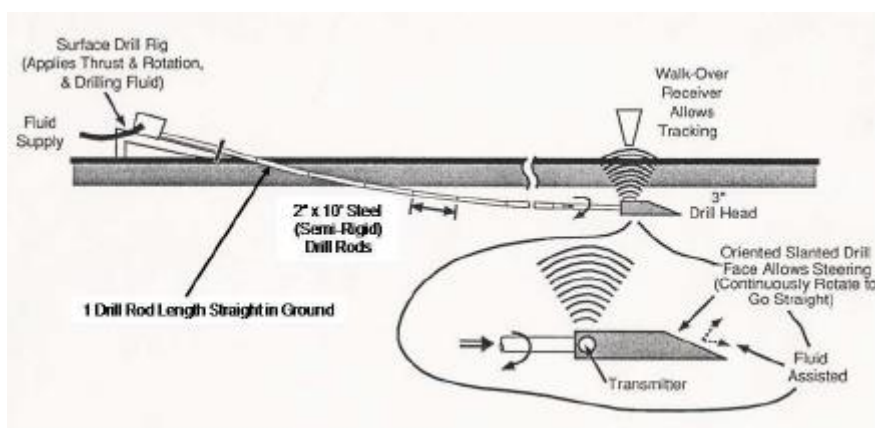


Figura 1 Equipamento típico de Mini-HDD e o furo piloto em andamento

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc.)

3.1.4. “Midi-HDD” Midi Perfuração Horizontal Direcional é uma categoria intermediária entre o Mini-HDD e o Máxi-HDD em relação às capacidades dos equipamentos, no planejamento e nos esforços de engenharia. Ele é empregado para traçados com extensão de até 300 m e profundidades de até 23 m (75 pés) e para colocação de tubulações com diâmetro externo de até 24” (610 mm) e sua aplicação mais comum é sob rios e rodovias. É de se notar que há distinções então entre Mini-HDD, Midi-HDD e Máxi-HDD cuja variação depende de referências nem sempre inteiramente consistentes como as indicadas na seção 3.1.2 (3). *Guia para uso de máquinas Midi-HDD bem como as melhores práticas podem ser obtidas nesta publicação, como sugestão, e ou, na norma ASTM F 1962 dependendo de uma determinada aplicação e ainda no julgamento do empreiteiro ou engenheiro da obra.*

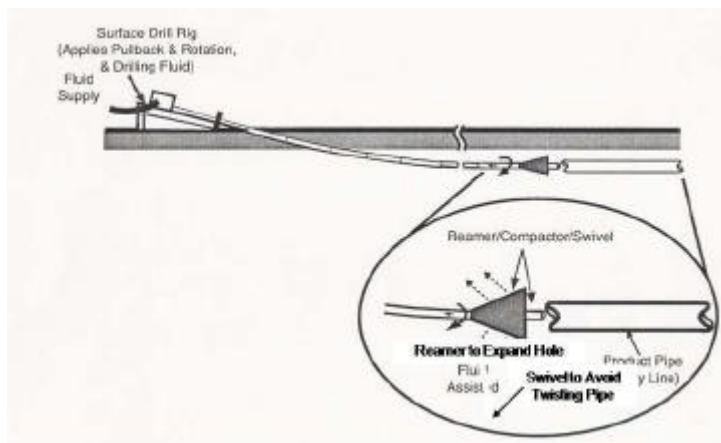


Figura 2 Típica aplicação Mini-HDD no processo de puxada e alargamento

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc)

- 3.2. O “DR” (Dimension Ratio ou Razão Dimensional) é a razão entre o diâmetro externo para a menor dimensão da espessura da parede do tubo, tal qual utilizada na ASTM D 3035, ASTM F 714 ou ainda ASTM 2160. Assim quanto maior o valor de DR maior o valor correspondente às espessuras mais finas, ou tubulações mais fracas, já os valores mais baixos correspondem a tubulações com estruturas mais fortes.
- 3.2.1. O “SDR” (Standard Dimension Ratio) é uma razão específica baseada no sistema de tubulações de ferro (IPS).
- 3.3. O grau de curvatura ao qual a coluna de haste ou a haste, ou a tubulação se sujeitará sem que haja danos ou degradação, é uma função do tamanho e tipo de material do item analisado. Há diversas alternativas, utilizadas na indústria, referentes às medidas de curvatura admissível e podem ser vistas na Figura nº 3.

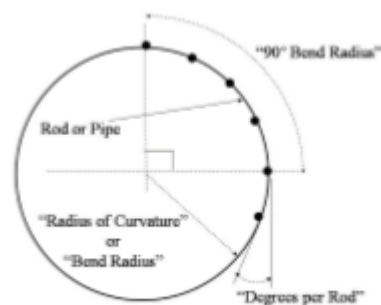


Figura nº 3 Terminologia utilizada para o raio de curvatura da haste ou da tubulação

(Fonte: Outside plant Consulting Services, Inc)

- 3.3.1. O “raio de curvatura é a distância desde o centro da curva ou configuração até o perímetro e seu comprimento.
- 3.3.2. O raio medido como 90° é a distância ou quadrante do perímetro circular do arco.
- 3.3.3. O “raio por haste” é a mudança angular ao longo de uma única haste
- 3.3.4. As várias medidas para quantificar a curvatura permitida são relativas à seguinte formulação:

$$90^\circ \text{ Raio de Curvatura} = 90 \times \text{O comprimento da Haste/Mudança Angular (1a)}$$

$$\text{Raio de curvatura (m)} = 90^\circ \text{ Raio} / 1,57 \quad (1b)$$

$$\text{Raio de curvatura (m)} = 57.3 \times \text{Comprimento da Haste/Mudança Angular (1c)}$$

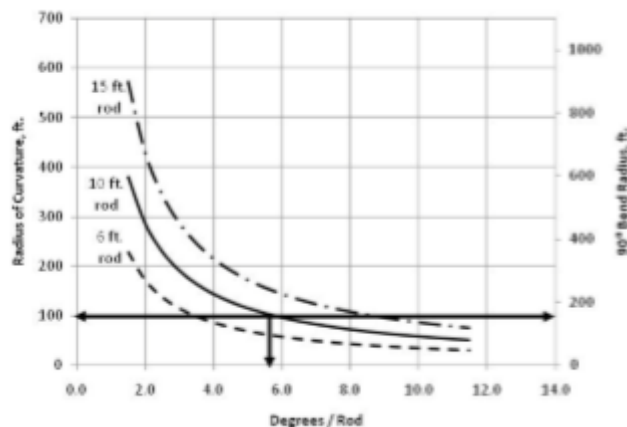


Figura 4 Relação entre as curvaturas admissíveis

(Fonte: Outside plant Consulting Services, Inc)

Figura 4 Ilustra as relações mostradas na figura 3. Veja o Apêndice A para exemplos onde se quantificam a capacidade de curvatura de uma haste de perfuração direcional utilizando-se os vários termos. Há uma diferença significativa entre o Comprimento de Curvatura de 90° e o Raio de Curvatura. Este (raio de curvatura) é aproximadamente 2/3 da Comprimento da Curvatura de 90°. Para sua conveniência, há menos que indicado uma orientação diferente, a medida do Raio de Curvatura (Bend Radius) será utilizada neste documento.

4. **Investigação Preliminar de Campo** : A seção 4 descreve a informação básica que auxiliará o engenheiro projetista que está planejando a instalação ou o empreiteiro para assegurar uma instalação segura quando por ocasião da construção da perfuração direcional. Essa investigação inclui uma avaliação das condições na superfície e na subsuperfície para determinar a compatibilidade do local com a operação proposta de perfuração direcional. De particular importância é a necessidade de entender a presença e a natureza **das redes existentes no subsolo**, discutido na Seção 4.2 de maneira a evitar danos a essas instalações.

4.1. Considerações Gerais

- 4.1.1. Diferente do Máxi HDD, a instalação típica com Mini HDD requer uma análise mais simples, o que deve ser feito em um simples dia, como num cruzamento de estrada, ou menos se for para um linha de serviço, para períodos estendidos de muitos meses, ou ainda para uma renovação de uma rede de distribuição degradada que estejam atendendo uma inteira comunidade ou bairro. A viabilidade e o desejo de indicar a utilização de um Mini HDD para um projeto específico em contrapartida a uma máquina maior de Mídi HDD, ou ainda VCA (Vala a Céu Aberto), depende de muitos fatores, incluindo as condições do solo, a localização de outras redes, aspectos ambientais, e dispositivos específicos e características próprias da área existente. O porte e a duração da instalação do projeto é uma consideração importante com respeito à quantificação e qualificação do planejamento preliminar e das investigações que podem ser praticadas.

- 4.1.2. Para projetos relativamente grandes ou extensos, tais como a renovação de uma rede através da comunidade, o proprietário da rede a ser instalada ou seu representante (por exemplo o geólogo) ou ainda o empreiteiro (potencial) deve proceder uma investigação preliminar bem antes da construção. O ideal é que essa investigação seja conduzida pelo proprietário da rede pois isso facilita o significado e o correspondente processo licitatório. Os empreiteiros fazem assim então, as investigações complementares para que possam entender as exigências da licitação, bem como posteriormente fornecer elementos para a construção, caso vençam a mesma. Para projetos de duração muito curta, o empreiteiro deve executar uma investigação ou estudo mais breve para verificar a viabilidade geral e determinar o equipamento e recursos a serem requeridos para completar de forma bem feita a sua tarefa.
- 4.1.3. A presença de obstáculos ou situações especiais deve também ser considerada. Por exemplo, a presença de poluentes ou contaminantes na área da perfuração deve ser identificada, incluindo a devida orientação para o bota fora.

4.2. Interferências ou Redes Existentes

- 4.2.1. A tecnologia Mini HDD foi inicialmente desenvolvida para a instalação de novas redes em áreas urbanas, incluindo aplicações residenciais, e vários cruzamentos em limitadas extensões, com um mínimo de danos causados à superfície. Todavia, de forma a evitar danos às redes subterrâneas existentes, públicas ou privadas, bem como para julgar a magnitude do esforço a ser feito, é essencial que se entenda a natureza dessas redes e estruturas incluindo, tipos, localização e profundidades. As informações obtidas na fase preliminar ajudarão a guiar as inspeções e localizações subsequentes exigidas imediatamente após ou durante o processo construtivo.
- 4.2.2. As novas linhas de distribuição serão geralmente assentadas ao longo da faixa mais livre e as redes de serviços serão tipicamente instaladas próximas às propriedades que serão atendidas. Desde que o objetivo é manter uma determinada distância das redes existentes nos caminhos mais livres, as áreas restantes devem ser verificadas de forma a identificar potenciais dificuldades de instalação da perfuração. Novos cabos de distribuição geralmente cruzarão redes existentes para edificações individuais, residências ou estruturas, as quais serão expostas durante a fase da construção da perfuração (Seção 6.2.3). Em complemento às linhas de serviços, a presença e frequência de instalações elétricas ou de irrigação dentro da área devem ser levadas em consideração.
- 4.2.3. **Importantes regulamentos e procedimentos para prevenção de danos são discutidos na Seção 6.**

4.3. Investigações na Superfície

- 4.3.1. A área superfície de interesse imediato corresponde àquela específica ou desejada pelo proprietário da rede para instalar a sua rede, consistente com a arquitetura do seu projeto incluindo o número e a dimensão das tubulações requeridas e seus pontos terminais.
- 4.3.2. O empreiteiro deve rever o local da construção para verificar se há espaço suficiente para o set up da perfuratriz e equipamento auxiliares, bem como veículos, caminhões, nas duas extremidades da perfuração. A área da perfuração deve ter uma base firme, nivelada e compatível com o movimento

das esteiras ou pneus. Para as tubulações de Polietileno de diâmetros relativamente grandes, que não são fornecidos em carretéis, para os quais é necessária uma preparação (termofusão), deve ser avaliado se há espaço para o equipamento e essa operação, bem como espaço para deixar a tubulação soldada. A presença de eventuais estruturas que venham a interferir nessas operações, bem como linhas aéreas de energia e comunicação devem ser avaliadas pensando-se nos equipamentos de movimentação de cargas.

4.3.3. A habilidade para os equipamentos de localização e direcionamento funcionarem de forma correta deve ser avaliada ao longo de toda a extensão da perfuração. Os sistemas de localização (Walk Over) requerem acesso direto, enquanto outros mais sofisticados podem incluir controles remotos. Fontes potenciais de interferência incluindo estruturas aéreas, ou linhas de cabos, bem como reforços em aço em estruturas de concreto das calçadas, entradas de veículos e estradas devem ser investigados.

4.3.4. O uso de fluidos de perfuração exige que se conheça a fonte de suprimento de água, preferivelmente potável, que deve estar disponível para a mistura. Muito embora os componentes e o produto final dos fluidos de perfuração não sejam considerados materiais perigosos, o excesso de fluido associado aos materiais escavados deve ser destinado ao bota fora de forma adequada. A localização dos aterros, devem estar consistentes com as regulamentações locais, e identificadas antecipadamente à época da construção, como parte do planejamento e fase preliminar.

4.3.5. Muito embora os níveis de ruídos associados ao Mini HDD não sejam exagerados, deve haver restrições nos horários de trabalho, principalmente em áreas com edificações residenciais, hospitais e outras instituições.

4.4. Investigação no Subsolo ou Subsuperfície

4.4.1. A efetividade e eficiência da maioria das operações de construções das instalações subterrâneas é dependente das condições do solo e é especialmente relevante no caso da tecnologia HDD. Instalações por furo direcional devem simultaneamente penetrar e manobrar através da formação do solo, usando técnicas menos agressivas do que na operação convencional de abertura de valas. Condições de solos problemáticas podem retardar o avanço da perfuração e/ou ocasionar danos a propriedades privadas e públicas além de perigos em termos de segurança. Assim, é fundamental proceder com uma investigação das características dos solos e das formações locais, incluindo obstáculos potenciais para avaliar a viabilidade de utilização do Mini HDD para o projeto proposto, bem como concluir por estimativas de custos mais realistas, todavia, a extensão da investigação subterrânea deve ser compatível com a magnitude geral do projeto.

4.4.2. A investigação do solo deve atentar a avaliação das condições de colocação da profundidade nominal que a tubulação será instalada. A tecnologia Mini HDD é capaz de colocar tubulações a uma profundidade máxima de 4,5 m. Em muitos casos, todavia, a profundidade desejada ou requerida para uma linha de distribuição deve ser relativamente mais rasa – possivelmente no intervalo de até 1,80 m de profundidade (profundidades maiores seriam até inconvenientes para os procedimentos de reparos e manutenção). Essas instalações com Mini HDD, também são executadas em áreas com características que incluem as residenciais. Assim, as condições relevantes do subsolo não

são necessariamente iguais àsquelas de um solo virgem a maiores profundidades, mas sim, áreas onde houve algum distúrbio ou aterro, o que pode possivelmente incluir entulhos e obstáculos resultantes de construções anteriores.

4.4.3. Para projetos de uma escala maior, a investigação deve incluir uma revisão de relatórios publicados por várias entidades governamentais (por exemplo, relatórios de agências de controle de solos)⁴. Todavia, em reconhecimento a uma possível diferença entre a correlação desses estudos sobre solos virgens como anunciado, considerando-se áreas que tiveram movimentações de solos (escavações) é conveniente, em se tratando de profundidades menores e instalações mais rasas, buscar informações como os projetos anteriores executados na mesma região, se disponível, com os proprietários das redes já existentes (até o próprio proprietário da rede em estudo). Os relatórios mais recentes devem inclusive trazer ou revelar a presença de estruturas no subsolo, inclusive alguma eventualmente abandonada. As informações de construções e experiências de projetos executadas anteriormente envolvendo métodos não destrutivos para instalações de quaisquer tipos podem ser muito valiosas.

4.4.4. Ensaio de Sondagem – Se previsto no escopo da contratação, as informações obtidas devem ser confirmadas com ensaios suplementares, em pontos estratégicos e em profundidades relevantes para verificação das condições. As características a serem avaliadas devem seguir a classificação oficial dos solos, testes de SPT e seus valores resultantes, tipo de rocha e sua resistência à compressão simples, como dureza (Mohs). As normas ASTM F 1962 faz referência aos métodos de sondagem. Outras informações podem ser localizadas em publicações locais.

4.4.5. Para algumas aplicações Mini HDD tais como projetos de grande escala de renovação de redes em determinadas áreas, eventuais bloqueios devido a assoreamentos e outras ocorrências, não estarão evidentes através de algumas sondagens em determinados espaçamentos e localizações. Dependendo da profundidade de interesse as ocorrências das condições dos solos e as dimensões de eventuais obstáculos ou objetos, devem ser sondados com tecnologias não destrutivas ou invasivas como o GPR, Georadar que eletronicamente pode eventualmente ser capaz de escanear tais ocorrências. Essas tecnologias estão em contínuo desenvolvimento e sua aplicação e viabilidade econômica cada vez mais acessíveis, e dependerão das condições e preocupações em relação ao local investigado.

4.4.6. A adequação das condições do solo – A tabela 1 indica as melhores adequações para perfuração horizontal direcional como função das características gerais do solo nas áreas e profundidades de interesse.

4.4.6.1. As indicações e aplicabilidade da tabela 1 assume que o empreiteiro e suas equipes são treinadas e experientes no uso dos equipamentos de Mini HDD e que a tecnologia está aplicando o equipamento apropriado para as condições existentes de solo (por exemplo, cabeça de perfuração, alargadores, etc.) e que tenham o conhecimento dos fluidos de perfuração. O uso adequado dos fluidos é um aspecto críticos das

⁴ NT: No Brasil há publicações de Mapas Geotécnicos

operações de HDD, e sua importância e geralmente subestimada. Preferivelmente, empreiteiros têm obtido sucesso participante de cursos e seminários que especificamente tratam dos métodos Mini HDD e têm geralmente no mínimo um ano de experiência de campo e completaram o lançamento de mais de 9.000 m lineares de construção em projetos relacionados com o tema.

4.4.6.2. “Condições Marginais” geralmente resultarão em uma taxa de sucesso muito menor, mas que podem ser positivamente impactadas se se tratar de empreiteiras com maior experiência e treinamento, e o uso de serviços de consultoria através dos provedores da indústria. Algumas aplicações podem não ser economicamente viáveis para o uso da presente tecnologia de perfuração direcional, veja a seção 4.5 para melhores informações e esclarecimentos.

Tabela 1 Aplicabilidade do Mini HDD (ou Mídi HDD) para diferentes condições de solo (2)

Condições do Solo	Aplicabilidade	
	Mini HDD	Mídi HDD
Argilas moles e muito moles, siltes e depósitos orgânicos	Sim	Sim
Argilas medianamente duras para muito duras e siltes	Sim	Sim
Argilas duras e folhelhos	Sim	Sim
Areias soltas ou muito soltas (acima do nível do lençol freático)	Sim	Sim
Areias medias a densas (abaixo do nível freático)	Sim	Sim
Areais medias a densas (acima do lençol freático)	Sim	Sim
Cascalhos, e Matacos < 0,05 a 0,10 m em diâmetro	Marginal	Marginal
Solos com matacos significantes, maiores que 0,10 - 0,15 m	Não	Marginal
Rochas Decompostas, Calcáreos, e Solos muito compactos	Sim	Sim
Rochas com algum nível de decomposição, ou não decompostas	Marginal	Marginal

4.5. Situações em que não se utiliza o HDD

4.5.1. Muito embora o presente guia foque no uso da tecnologia Mini HDD para a instalação de tubulações de polietileno e conduites, como um método para determinadas áreas escolhidas, se reconhece que em alguns casos outras tecnologias são mais apropriadas. A tabela 1 por exemplo, provê um guia para avaliação do uso do Mini HDD ou do Mídi HDD em função das condições do solo. Situações problemáticas podem representar pequenas ocorrências de um grande projeto, para as quais se deva utilizar métodos alternativos para instalações das redes em questão.

4.5.2. Se as condições, tais como descrita acima, não são propicias para o uso do Mini HDD é possível que método mais convencionais possam ser aceitos para situações isoladas. A vala a céu aberto pode ser viável em áreas que não requerem uma extensiva restauração de custo muito elevado. Técnicas de enterramento direto de cabos, podem atender o enterramento de redes de

telefone, TV a cabo, energia, resultando num dano superficial mínimo e, portanto, podem ser viáveis dependendo de eventuais obstáculos que possam estar na altura do ripper da máquina ao longo do caminhamento. Estes métodos obviamente requerem os se beneficiam, do uso simultâneo de tubulações plásticas para atender a função pretendida (por exemplo, o fluxo do líquido) ou por condições de proteção e futuras capacidades de manutenção (por exemplo, cabos).

5. **Segurança e Considerações Ambientais:** A seção 5 discute aspectos potenciais de segurança e relato os procedimentos de construções subterrâneas com ênfase especial no intento de diminuir ou minimizar os riscos durante as operações de Mini HDD. Os funcionários devem ser treinados para prevenir e evitar ferimentos a si mesmos durante a operação com o equipamento e estar preparado para mitigar os efeitos dos acidentes. O cruzamento com Linhas de energia elétrica e gás deve ser especialmente estudados. Muito embora não considerado um material perigoso, o descarte do fluido de perfuração deve ser discutido bem como seu manuseio.

- 5.1. Considerações Gerais: Segurança é uma primeira preocupação em qualquer atividade dentro do setor de construção, incluindo aqueles que utilizam o HDD. Esses itens devem ser avaliados e vão ser tratados em duas categorias – aqueles relacionados com o set up e a operação em si, e aqueles associados com a própria instalação da rede, a identificação e marcação das redes enterradas para evitar o acidente de cruzar e danificar as mesmas. A seção 5 trata dos aspectos do uso do equipamento e a seção 6 foca primariamente nos procedimentos para eliminar ou reduzir os perigos associados com a danificação das redes existentes durante o furo piloto e as operações de alargamento.

- 5.1.1. Uso do Equipamento: É necessário assegurar que os acidentes não resultam do pessoal envolvido na construção ou curiosos e, como resultado da operação da máquina ou dos equipamentos auxiliares. Assim, é essencial que os curiosos, bem como os trabalhadores não envolvidos diretamente na operação sejam afastados imediatamente das redondezas do equipamento de Mini HDD e, de toda a área prática da instalação ao longo de todo o caminhamento da rede. Barreiras e sinalizações devem estar visíveis no equipamento ou ferramental associado a ele.

- 5.1.2. Controle de Tráfego: Considerando-se que uma das primeiras vantagens do MND (HDD) em relação às práticas convencionais de construção, seja a pouca influência no meio ambiente e a interrupção natural do fluxo do trânsito, é muito importante manter o controle desse fluxo de tráfego veicular combinado com luzes sinalizadores, cones e o homem bandeira para assegurar o ambiente do trabalho para o pessoal que trabalha na obra, e para os pedestres que estão de passagem.

- 5.1.3. Escoramento: Muito embora o MND seja um método de construção que promove uma discreta escavação, o HDD requer a instalação de uns pits, nas extremidades das travessias para coletar o fluido e o material escavado contido nele, ou ainda limpar eventuais bloqueios locais. Quando um trabalhador é convocado para tarefas de escavação de valas a céu aberto onde haja perigo pelo fato de ter uma cava aberta, ou ainda com mais de 1,5 m de profundidade, há necessidade de escorar, rampar ou proteger com métodos de escoramentos metálicos para que ele esteja protegido (ASC C2).

- 5.2. Treinamento de Segurança: Ambos, o empreiteiro e seus empregados são responsáveis para assegurar que os procedimentos de segurança são seguidos. O empregador deve prover acesso apropriado aos cursos de treinamento e segurança, e os empregados devem estar a par de suas capacidades de limitações para o trabalho ao qual estão designados (veja a seção 5.9). É o caso de operadores de equipamentos mecanizados. Como um mínimo, todos os operadores de perfuratrizes, e o pessoal associado à operação, incluindo aqueles que trabalham nas proximidades da perfuratriz, ou ainda do lado oposto (pipe side) do furo, devem ter recebido treinamento de primeiros socorros e estarem familiarizados com os perigos de trabalharem próximos à redes de energia elétrica. **As recomendações breves e guia aqui explícitos não substituem ou diminuem o treinamento adequado ou os programas de treinamento de segurança que são exigidos na indústria ou ainda pelos fabricantes dos equipamentos.**
- 5.3. Vestimenta de trabalho: Roupas adequadas e EPIs que devem ser usados durante as instalações com Mini HDD deve ser utilizada, e devem ser evitadas aquelas que poderiam causar ou facilitar a ocorrência de ferimentos. Óculos protetores, capacetes, devem ser utilizados o tempo todo, assim como as botas e luvas insuladas. Todos os itens de proteção individual devem ser verificados quando as sua qualidade e os itens de proteção elétrica devem ser bem mantidos para que mantenham suas propriedades protetoras. Potencialmente, **vestimentas não protetoras** devem ser evitadas e incluem roupas soltas ou longas, joias, desde esses tipos podem ser presos pelas partes moveis da perfuratriz.
- 5.4. Segurança do equipamento: Devido ao perigo potencial de operação de um equipamento mecanizado, de qualquer tipo, é importante para o Mini HDD que o pessoal exercite cuidados especiais e aceite as práticas recomendadas pela indústria. A perfuratriz tem correntes, sistemas de engrenagens, morsas, usados em combinação como pesadas hastes, as quais são inseridas e removidas através de movimentos de avanço e retração que representam oportunidades de perigo para o pessoal envolvido na perfuração. As partes protetoras na perfuratriz não devem ser retiradas em hipótese alguma, ou ainda substituídas. O equipamento de Mini HDD incluindo o alarme do “strike alert” deve ser checado no início de cada dia de trabalho para verificar que sua operação está em boas condições.
- 5.4.1. Fluido hidráulico: Em comparação com os perigos das partes moveis representados pelos componentes mecânicos das máquinas, outros riscos de ferimentos podem ocorrer com óleo hidráulico utilizado para movimentar os dispositivos da perfuratriz. Sistemas de alta pressão podem penetrar na pele ou ainda causa hemorragias provenientes desses cortes. As pressões de trabalho são do nível de milhares de PSI (Libras por Polegada Quadrada) que podem ser lançados de mangueiras ou terminais danificados. Essas mangueiras devem ter manutenção adequada para minimizar esse risco de vazamentos e o sistema deve ser aliviado da pressão de trabalho antes que sejam desconectadas as mangueiras. **Vazamentos suspeitos não devem ser checados sem a devida proteção.**
- 5.4.2. Fluido de Perfuração: Precauções similares como as acima indicadas (Seção 5.4.1) devem ser aplicados ao fluido de perfuração utilizado para o corte e transporte do solo e para o alargamento do furo piloto. O fluido de perfuração suplementa o corte mecânico provido pela cabeça de perfuração ou pelo alargado, e dependendo da operação e instalação também pode atingir

milhares de PSI, incluindo a operação da coluna de hastes e pode haver vazamento em conexões vulneráveis e mangueiras danificadas. As conexões e mangueiras do sistema de fluidos de perfuração devem ter manutenção adequada para minimizar o risco de vazamentos e, antes de montar ou retirar, cada uma das hastes, a pressão do sistema de fluidos deve ser aliviada para evitar um jato muito forte pela junta. A pressão deve ser verificada no manômetro para esse fim antes de desrosquear qualquer haste. Como já dito anteriormente, **vazamentos suspeitos não devem ser verificados com partes do corpo exposto.**

5.4.2.1. Devido à possibilidade de entupimento por solo nos bicos da cabeça de perfuração ou alargadores, a atenção à pressão de alívio na perfuratriz não deve resultar numa perda de pressão na coluna. Nestes casos, cuidados especiais devem ser tomados antes de desrosquear a haste. Componentes de perfuração bloqueados devem ser desimpedidos antes de prosseguir a operação de perfuração, e possivelmente exigindo a coluna a ser retraída ou exposta.

5.4.2.2. O poço de saída da coluna de perfuração (e entrada da tubulação) representa um local de potencial perigo, e uma distância segura deve ser mantida por todo o pessoal trabalhando na perfuração. A pressão do fluido de perfuração deve ser aliviada assim que a cabeça de perfuração sair fora no poço, e da mesma forma do lado oposto, onde está o poço próximo da perfuratriz, deve ocorrer o mesmo com o alargador.

5.5. Descarga elétrica: Muito embora o risco de descargas elétricas no subsolo tenha diminuído em muito em função das melhores práticas da indústria no setor, incluindo as descritas na seção 6, é difícil assegurar que tais eventos não possam ocorrer. Um perigo particular existe com respeito as descargas elétricas ou vazamentos de gás decorrentes da sua própria natureza. **O empreiteiro deve seguir as orientações e regulamentos locais, quando se trata de construção subterrânea.** Muito embora as empresas distribuidoras de energia tenham uma relutância em cortar o suprimento dos seus usuários em alguns casos **deve ser solicitado o corte temporário da energia enquanto se procede a perfuração no subsolo.** Essas situações devem acontecer quando há muita dificuldade em que haja dificuldade em localizar a cabeça de perfuração e a perfuração em si devido interferências incontroláveis ou problemas ambientais similares. Nestes casos, como uma precaução mínima a companhia de eletricidade deve ser solicitada a operar **os sistemas de ligação e desligamento automáticos** (restauração da energia) para prevenir a exposição do pessoal logo após a perda de energia. Como resultado desses procedimentos, a empresa deve ser avisada das atividades de perfuração para que haja da forma mais rápida em caso de um acidente.

5.5.1. **Um sistema de segurança de descarga elétrica deve ser utilizado** e checado ao início de cada dia de perfuração para verificar que esteja funcionando perfeitamente. Esse dispositivo normalmente inclui um sistema de proteção contra descarga elétrica com a manta protetora, uma haste terra, barreiras e o próprio sistema de alarme ligado ao equipamento e seus componentes. Os trabalhadores devem estar sempre vestindo a vestimenta adequada como luvas e botas insuladas, o tempo todo.

5.5.2. Um furo piloto completado com sucesso não garante que uma linha de distribuição ou geração elétrica não seja atingida durante a operação de

alargamento com ou sem a puxada da tubulação a ser instalada, quando o furo é alargado. Na eventualidade de um cruzamento e descarga elétrica durante a operação, a exposição a altas voltagens deve acontecer nas duas extremidades da perfuração. Por exemplo, se há várias operações de alargamento, e considerando que as hastes de aço são muito condutivas, elas são inseridas e retiradas no poço de emboque de forma a manter o alinhamento do furo piloto. Nestes casos, as mantas, a haste terra e o sistema de alerta da descarga elétrica devem estar funcionando e protegendo toda a área na proximidade da perfuratriz. Em comparação com um tubo de aço, o tubo de PEAD que é plástico essencialmente ou melhor de forma relevante reduz o risco no poço de saída (onde entra a tubulação a ser instalada – pipe side) durante a puxada final.

5.5.3. Procedimentos de emergência no caso de uma descarga elétrica são providos pela indústria e suas orientações, e incluem as precauções tanto quanto ao movimento dos equipamentos quanto dos trabalhadores. **No caso de uma ocorrência devem ser comunicados imediatamente a companhia elétrica, em caráter de emergência.**

5.6. Rompimento de Redes de Gás Natural: Considerando as dificuldades de localizar precisamente tubulações plásticas, há um risco muito maior de que se atinjam redes com esse material. **O empreiteiro deve seguir as normas e regulamentos locais para construções subterrâneas.** Em alguns casos, **a companhia de gás deve ser chamada para cortar o abastecimento** na área enquanto se procede o serviço de construção. Essas situações incluem exatamente aquelas em que haja dificuldades de localizar a rede, ou ainda, dificuldade de localizar e dirigir a perfuração direcional devido a interferências incontroláveis que impeçam a correta obtenção dos sinais, ou quaisquer problemas ambientais. Como resultado dessas condições especiais, a concessionária estará especialmente a par das atividades de construção podendo reagir de forma mais rápida na eventualidade de um acidente.

5.6.1. Os passos específicos a serem seguidos no caso de um acidente com rede de gás são oferecidos pelos concessionários e incluem parar e abandonar o equipamento, evacuar a área de trabalho e do público. **O concessionário deve ser avisado imediatamente,** e também os telefones públicos de emergência.

5.7. Danos causados a redes existentes: Em geral o operador deve chamar os serviços de One Call (nos USA), ou equivalente em outros países (veja seção 6.1.1) assim que possível em seguida ao incidente (quebra, rompimento etc.) evitando outros danos. Se há um **perigo** como o de vazamento de gases ou líquidos, o empreiteiro deve **contatar imediatamente a autoridade local**, ou chamar os telefones de emergência da região.

5.8. Ambiental: Os fluidos de perfuração servem para muitas funções úteis, auxiliando na penetração do solo, na remoção dos cortados, na estabilização do furo, na lubrificação do ferramental de escavação e da tubulação, inclusive resfriando a cabeça de perfuração e os equipamentos eletrônicos. Os componentes do fluido de perfuração não são materiais perigosos, e seguem os procedimentos de materiais resultantes de escavação não requerendo um procedimento de deposição especial. O volume de solo a ser removido do local pode ser mais bem manuseado com a utilização de sistemas de circulação. Se a maior parte for argila na região da perfuração, a aplicação de um aditivo de polímero pode ser o mais apropriado. A bentonita ou o material polímero devem ser certificados pelos

órgãos locais correspondentes, para atestar que são quimicamente inertes, biodegradáveis, e não tóxico. Produtos com base de petróleo ou aditivos detergentes não devem ser usados (Nos EEUU, OPSS 450).

5.8.1. Áreas contaminadas: Muito embora a mistura bentonita-água, ou ainda a lama com polímeros, não sejam produtos perigosos, o descarte especial pode ser requerido in áreas onde se sabe que o subsolo contenha poluentes tóxicos. Nesses casos o descarte deve seguir as orientações dos órgãos locais de controle do meio ambiente. Pode ser que seja necessário adicionar algum material especial ao fluido de perfuração de modo a selar a parede do furo para eliminar uma possível passagem para os contaminantes. Bombas de fluidos especiais podem ser requeridas para esse tipo de operação.

5.8.2. Poços de coleta de fluidos: Com o propósito de manter o local da perfuração limpo e ordenado, pode ser necessário a construção de poços adicionais de coleta de fluidos. A área da perfuração estando limpa, favorecerá a instalação e dispensará a necessidade de lavagem da superfície para retirada de material que ficou na superfície. Uma quantidade excessiva de fluido de perfuração e lama na área pode dificultar os trabalhos de conexões e outras ligações e as características de toda a superfície no local. Também podem ser requeridos poços com acesso às redes e interligações da rede nova com a existente, seja nas extremidades ou ao longo da perfuração (seção 8.4), para servir como valas de recepção (tie in). Os poços devem ser esgotados, se necessário.

5.9. Competências: Operadores que operam equipamentos mecanizados, incluindo as perfuratrizes Mini HDD devem ser qualificados para esse fim, como requerido (no EEUU ASC C2) em seus países e locais de trabalhos, e a empreiteira deve assegurar que os operadores e outros trabalhadores na redondeza da operação tenham competência para exercer suas atividades, particularmente na parte de segurança. A princípio o pessoal precisa ter o próprio treinamento, incluindo parte teórica e prática. Os cursos são oferecidos pelos fabricantes bem como por organizações profissionais(5,6)⁵

5.9.1. Submissões: O empreiteiro deve apresentar as seguintes informações para o contratante ou seu representante (nos EEUU OPSS 450):

- Plano de trabalho destacando os procedimentos, e o cronograma a ser utilizado para executar o trabalho;
- Lista do pessoal incluindo pessoal de reserva, suas qualificações e experiências;
- Plano de operação do controle do tráfego
- Projeto e Gerenciamento do fluido de perfuração incluindo eventuais impactos ambientais e procedimentos de emergência, associados a planos de contingência;
- Plano de Segurança incluindo o manual de segurança e os procedimentos de emergência;

6. Regulamentos e Prevenção de Danos: Com o objetivo de colaborar para evitar acidentes como descrito anteriormente, procedimentos adequados devem ser adotados para reduzir o dano às redes existentes no local das perfurações. Seção 6 discute tais práticas,

⁵ O treinamento e certificação de HDD estão disponíveis no CURE Centro para Pesquisa e Educação na Infraestrutura do Subsolo, na Universidade do Texas em Arlington (www.cuire.org) e na NASTT North American Society for Trenchless Technology (www.nastt.org).

incluindo “chame antes de escavar” (811 no EEUU); localizando e marcando as redes existentes na superfície e se necessário expondo-as em valas de sondagem e ainda evitando a escavação mecanizada na zona de tolerância, e também utilizando a ENGENHARIA DE REDES SUBTERRÂNEAS (disponível nos EEUU).

6.1. Considerações Gerais: Seguindo os procedimentos apropriados e os regulamentos existentes ajudará você a evitar danificar uma tubulação existente durante os trabalhos no subsolo e também ajudará a reduzir os perigos em relação a segurança dos trabalhadores, pedestres e do meio ambiente. As permissões concedidas pelos órgãos orientam quanto a quaisquer execuções de obras. O proprietário da rede que está sendo instalada é responsável pela obtenção dessa PERMISSÃO DE TRABALHO com a colaboração e assistência da empreiteira contratada. As permissões são emitidas normalmente pela municipalidade da cidade e quando em região sob a gestão do Estado através do órgão correspondente, e estão ligadas ao impacto que a obra causará na região. Em alguns casos as Permissões podem exigir autorizações complementares de outras agências reguladoras (Por exemplo, empresa de Controle do Meio Ambiente). Permissões também são emitidas para passagem sob rodovias, ferrovias para instalação de redes fora do perímetro urbano. As Permissões devem especificar as exigências que protegem as instalações locais bem com as públicas. Em alguns casos, o método permitido ou requerido de construção é especificado incluindo o HDD ou a vala a céu aberto (VCA).

6.1.1. Para países como os USA que tem o sistema “One Call” o proprietário da rede deve contatar utilizando a regra “Chame o One Call antes de Escavar” pois devido à grande proliferação de redes subterrâneas os Estados e suas regulamentações locais, são comandadas pelo Estado e suas agencias o que impões maior dificuldades nas execuções com o objetivo de evitar acidentes entre as redes novas sendo instaladas e as redes já existentes. A maioria dos Estados tem emitido leis de prevenção de danos as quais endereçam as responsabilidades do proprietário das redes existentes (as de serviços conhecidos) e todas as empreiteiras envolvidas na instalação de redes novas. Essas leis exigem que o empreiteiro chame o serviço One Call antes de iniciar os trabalhos de escavação. Cada empresa proprietária está ligada a uma dessas organizações com escritório local onde pode obter esse tipo de notificação. O empreiteiro deve prover a notificação vários dias antes ao Centro de Aviso (One Call) para permitir que todas as redes sejam identificados pelos seus proprietários e o tempo requerido varia de 48 a 240 horas (2 a 10 dias) antes da construção excluindo os fins de semana e os feriados (Nos EEUU TIA/EIA-590A).

6.1.2. Outras fontes de informação: Quando não existe o serviço One Call ou equivalente no local da obra ou quando as regulamentações locais não exigem que os proprietários das redes pertençam ao ONE CALL⁶, nesse caso o proprietário da rede e o empreiteiro devem tentar localizar os possíveis proprietários de redes já existentes e discutir a instalação das novas redes.

⁶ NT: Nos EEUU as agencias ONE CALL são sem fins lucrativos e seus sócios são os proprietários de redes subterrâneas. Não há participação do setor público.

Essas leis existentes hoje normalmente que se utilize um serviço 0800 ou número público para informar o órgão competente sobre o serviço⁷, ou ainda departamentos de serviços públicos de obras, agências reguladoras, procuradoria de justiça, ou instituições que disponham de informações sobre as redes existentes. Se não obter informações o empreiteiro é recomendado a fazer todo o esforço para conseguir as locações⁸. As consequências de não identificação das redes existentes resultarão no cruzamento entre a existente e a que está sendo construída, penetrando uma rede de esgotos ou redes de ligações domiciliares o que pode rapidamente ser identificado pelas recomendações existentes. Até mesmo uma limpeza de rede principal ou domiciliar pode causar danos às redes de gás natural pela proximidade com riscos potenciais de acidentes perigosos. **É crítico evitar esse tipo de cruzamento.**

6.2. Localização de demarcação: Todas as construções existentes no subsolo incluindo as linhas de serviços como gás natural, energia, águas, esgotos, drenagem, telecomunicações e outras fundações ou redes transportando outros líquidos, produtos químicos, gases, bem como tanques devem estar identificados. As regras e procedimentos aceitas pela indústria estão nos EEUU lançadas na CI/ASCE 38, TIA/EIA-590A e outras. Procure no seu país ou estado ou cidade, onde e quais são as regulamentações existentes, para que o empreiteiro evite danificá-las.

6.2.1. Antes da chegada dos encarregados pela localização, o empreiteiro de Mini HDD deve marcar o traçado teórico proposto, preferivelmente utilizando uma linha pintada na cor branca ou embandeirada e indicar o nome e outras identificações necessárias. Muito embora seja responsabilidade de cada proprietário de rede existente no subsolo, marcá-las, os encontros antes do trabalho entre eles e o empreiteiro que executará a perfuração é particularmente muito importante se o projeto for inusual ou difícil. Esses encontros devem ser fundamentais se houver interrupção do serviço prestado (energia, gás) para reduzir os perigos e riscos associados. Em geral redes no subsolo que estejam até a 3 m de distância da rede nova, devem ser demarcadas e confirmadas pelo proprietário. O caminhamento e as profundidades de redes existentes ainda não são informados nesta fase, o que acontecerá assim que for determinado pelo proprietário da nova rede ou seu representante, ou a empreiteira de Mini HDD, com descrito na seção 6.4.

6.2.2. Equipamentos de localização: Os equipamentos típicos de localização e os procedimentos utilizados para transmissão de um sinal elétrico ao longo de um caminhamento de uma tubulação metálica está em combinação com um receptor na superfície. O afastamento lateral e profundidade são as medidas registradas pelo receptor. Para tubulação não metálicas (portanto não condutoras) ou outras estruturas, requerem uma indução com um fio metálico para potencializar um sinal receptível, deliberadamente assentado para esse fim. Em outros casos, há dispositivos transmissores já instalados nas

⁷ NT: No Brasil normalmente o número fornecido pela municipalidade com três dígitos e acesso direto.

⁸ NT: Incluindo fazer ele mesmo a localização, e até utilizando vala de sondagens, tudo previsto no contrato de execução de sua obra.

tubulações enterradas como plástico e que permite a obtenção do sinal de retorno. Há um contínuo desenvolvimento de novos métodos de localização incluindo técnica acústicas além do tradicional GPR Géo Radar.

6.2.3. **Exposição da rede não identificada:** Quando não foi possível identificar por inteiro ou parcialmente uma rede deve ser aberta uma “vala de sondagem” com ferramentas manuais (se houver redes elétricas os EPIs devem prever ferramentas e luvas insuladas), ou ainda a utilização de máquinas de corte à água alta pressão e sucção a vácuo. É muito importante que a linha existente seja exposta visualmente a fim de permitir a localização exata, daquela que esteja transportando, gases, eletricidade, petróleo ou óleo, qualquer produto inflamável, toxico ou corrosivo. Em geral, **redes de serviços devem ser expostas sempre que houver cruzamentos perpendiculares ou oblíquos previstos no projeto**, além daqueles que naturalmente estarão no caminho como as ligações domiciliares. (veja a seção 8.5.4)

6.2.4. **APWA Indicação padronizada de Redes:** As redes que são identificadas no subsolo devem ser demarcadas na superfície com tinta, bandeiras ou equivalente, em cores que estão padronizadas pela Codificação Uniforme desenvolvido nos EEUU pelo Conselho de Coordenação de Localização de Redes, departamento da Associação Americana de Serviços Públicos (APWA):

Branco	Caminhamento proposto para construção
Vermelho	Redes de eletricidade
Laranja	Redes de Telecom
Amarelo	Gás, Óleo, Vapor e Petróleo
Verde	Esgoto e Drenagem
Azul	Água, Irrigação,
Rosa Fluorescente	Marcações temporárias

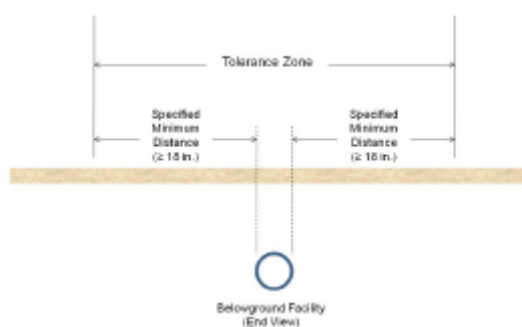


Figura 5 Zona de Tolerância

6.3. Zona de Tolerância: A zona de tolerância (Figura 5 acima) define a região dentro da qual o empreiteiro deve utilizar métodos não agressivos de escavação, tais como ferramentas manuais e escavação a vácuo. A largura da zona é especificada pelas regulamentações legais nos vários Estados e outros países. Um mínimo de 0,45 m da borda da rede existente é uma medida recomendada a menos que uma distância maior seja especificada pelas autoridades locais. Para redes relativamente próximas na posição paralela (com uma distância mínima equivalente a duas vezes o mínimo especificado lateralmente uma da outra), a tolerância é determinada desde a borda da rede existente mais afastada em ambos os lados. Nenhuma parte seja da ferramenta

de corte durante o furo piloto, ou do alargador durante a operação de alargamento, é permitida avançar nesse espaço.

- 6.4. Engenharia de Redes Subterrâneas⁹: (SUE) refere-se a um processo de engenharia com o objetivo de obter informações reais e confiáveis quanto às redes existentes no subsolo, que inclui os tipos e as locações específicas (ligações domiciliares e profundidades). Os princípios e técnicas gerais da matéria são elencadas nos EEUU no documento CI/ASCE 38, o qual define os quatro níveis de qualidade baseados na quantidade e detalhes das informações a serem obtidas para caracterizar as redes existentes no subsolo. Qualidade do nível **D** é o nível mais baixo correspondendo ao relato menos detalhado e/ou com informações menos confiáveis, e Qualidade **A** correspondendo ao mais alto nível de qualidade da informação, obviamente com custos maiores para sua obtenção, e esta informação **é requerida para alguns estágios do processo de construção em Mini HDD**.
- 6.4.1. **Nível D de Qualidade:** O menor nível de informação é baseado nos cadastros existentes. Esse tipo de informação é útil para os propósitos de planejamento e elaboração do projeto somente.
- 6.4.2. **Nível C de Qualidade:** Em complemento às informações obtidas com o nível D, este nível acrescenta informações obtidas da visita de campo e da pesquisa das redes vista da superfície, tais como Poços de Visita, de inspeção, caixa de válvulas, postes etc., e a correlação destas informações com os cadastros existentes¹⁰. Como resultado da presença de redes não indicadas nos cadastros, ou ainda, redes indicadas de forma errada é o momento para essa determinação. Muito embora tais informações podem ser adequadas para áreas com um mínimo de redes existentes ou ainda onde um eventual reparo não representa um grande problema, este nível de qualidade não é adequado para prosseguir com a perfuração na área em análise.
- 6.4.3. **Nível B de Qualidade:** Em complemento às informações do nível C o uso de equipamentos de localização deve ser feito para identificar e marcar outras redes conforme já descrito na seção 6.2, que resulta numa informação mais útil e confiável.
- 6.4.4. **Nível A de Qualidade:** Em complemento às informações do nível B, o mais alto nível de detalhamento inclui o uso de equipamentos de escavações não agressivas em pontos críticos para expor a rede existente e assim definir sua posição precisamente em relação aos afastamentos verticais e horizontais das redes existentes, bem como seu tipo, dimensões, condições, materiais e outras características. As operações com Min HDD incluem esse tipo de localização em cruzamentos e outras locações críticas conforme foi descrito na seção 6.2.3.
7. **Considerações sobre o projeto e seleção da tubulação:** Esta seção oferece um método simplificado para selecionar a resistência à pressão da tubulação de polietileno (espessura da parede) a ser instalada pelo método Mini HDD. Em particular, os procedimentos aqui apresentados oferecem um meio de selecionar a resistência da tubulação afim de evitar o colapso da mesma devido a pressão hidrostática a uma determinada profundidade, bem como para definir as cargas de puxada durante a instalação. Esta metodologia está baseada numa simplificação da norma da ASTM F 1962 e algumas vezes é referida como o método

⁹ Cadeira da Engenharia Civil nos EEUU e outros países, em relação às redes enterradas, hoje ministrada na graduação.

¹⁰ NT: A imprecisão dos cadastros pode e deve ser corrigida neste momento da pesquisa e informada ao proprietário da respectiva rede.

“PPI”¹¹ o qual foi originalmente desenvolvido para estender um método existente aplicável às tubulações de PEAD incorporando várias considerações físicas. Os procedimentos constantes da ASTM 1962 têm sido adotados em vários produtos comerciais existentes para inicialmente atender os cálculos de projeto das tubulações de PEAD. É reconhecido que existem outras ferramentas também que não necessariamente oferecem os resultados equivalentes.

7.1. Objetivos: O processo de seleção da tubulação de PEAD é equivalente a determinar a mínima espessura de sua parede ou o valor máximo do DR que é suficiente para suportar as cargas operacionais de longo prazo assim como os estresses do processo de instalação. De forma similar à decisão em selecionar o tubo de PEAD baseado em suas várias vantagens e propriedades, incluindo sua compatibilidade com sua adequação com os processos de puxada, deve ser assumido que o proprietário da rede irá especificar o diâmetro da tubulação e a espessura mínima da parede de forma consistente com a operação a longo prazo do projeto, baseado numa análise técnica independente provida pela sua equipe e ou com o suporte da indústria. Isso inclui a habilidade de satisfazer as exigências do fluxo interno do fluido e ainda atender as pressões internas no caso de condutos forçados (água, gás, petróleo) em diferentes profundidades e condições. Essas considerações de projeto são oferecidas por diversas fontes, incluindo o **“Plastic Pipe Institute Handbook of Polyethylene Pipe”** (Manual de Tubulações de Polietileno do Instituto de Tubulações Plásticas – USA). Esses cálculos de cargas devem ser assumidos na forma de total independência do método de instalação. Em contraste o processo de perfuração HDD impõe as próprias cargas de instalação devido as forças de tração impostas à tubulação durante o puxamento dela e a pressão temporária, hidrostática associada com os fluidos de perfuração na profundidade em que está sendo instalada (Há uma limitação adicional, a qual, recomenda que haja uma mínima cobertura da tubulação durante a instalação por Mini HDD, baseado na hipótese de se evitar os efeitos negativos da superfície do solo, tais como eventuais vazamentos de fluidos ou recalques, como descrito na seção 8.1.3). **A espessura mínima adequada da parede da tubulação será a maior preocupação com a segurança dela, para enfrentar as várias cargas operacionais (incluindo o solo e a superfície ou aterro) e as tensões de instalação, de curto prazo (inclusive pré-operacional) associadas às operações de Mini HDD. Este guia se dedica primariamente a estes últimos aspectos.**

7.1.1. Aplicações do Mini HDD: ASTM 1962 provê a metodologia para seleção da parede da tubulação de PEAD para instalações feitas pelo método Máxi HDD, o qual inclui travessias de rios de forma a atender as exigências do processo de instalação. Essas instalações são bem maiores, requerem extensas investigações e um planejamento de engenharia, cuja análise e suporte incluem o uso de ferramentas de TI (softwares) como disponíveis. Para essas aplicações, é necessário e desejável que a análise seja o mais precisa possível, consistente com as capacidades presentes, evitando assim que se reduza a eventualidade de ter que recalcular a capacidade da tubulação, o que pode levar a sérias consequências econômicas. Estas considerações logicamente não são as mesmas no caso das aplicações do Mini HDD, as quais são parte de um processo construtivo de ampliação dos serviços numa comunidade ou área geográfica. As operações de Mini HDD são tipicamente mais curtas, instalações mais rasas, e os cálculos detalhados das

¹¹ PPI Plastic Pipe Institute

tensões e cargas na tubulação devido às forças de instalação não necessários ou práticos. Assim, a extensa e relativamente complicada análise constante da norma ASTM 1962 não são apropriadas para o caso em questão. Todavia, se as distâncias de puxamento são relativamente longas ou extensas, ou a profundidade relativamente maior, ou ainda se está se considerando uma tubulação de espessura de parede menor, é recomendável que se façam os cálculos para dar confiança no sucesso da instalação. *O guia para seleção de tubulação de PEAD conforme a ASTM 1962, oferece uma metodologia para seleção ou verificação da espessura mínima da parede consistente com as cargas de instalação, baseada em premissas e aproximações bastante razoáveis.*

- 7.2. **Espessura da parede baseada na profundidade:** Durante as operações de alargamento e puxada (Figura 2) o fluido utilizado no Mini HDD cria uma lança relativamente densa que acaba aplicando uma pressão hidráulica distribuída simetricamente pela circunferência da tubulação. Sob a pressão hidrostática suficiente e em combinação com a pressão local do fluido de perfuração o tubo de PEAD pode deformar e colapsar. O apêndice B oferece a resistência de colapso do PEAD (incluindo os materiais PE 4710 bem como os MDPE)¹² para vários valores de DR, espessuras de paredes em condições ideais, e também descreve as bases para assumir as profundidades em aplicações práticas de Mini HDD (reduzida). Os critérios são baseados nas fases de instalação bem como pós instalação (mas antes de Pré Operacional) e incorporam reduções consistentes com as várias degradações constantes na ASTM 1962, incluindo um fator de segurança 2 para 1. Esta informação no apêndice B indica que essencialmente todas as espessuras comumente utilizadas (por exemplo, DR 7.3 até DR 17) são suficientemente fortes para profundidades até 4,5 m. que é o limite típico das instalações por Mini HDD assumindo o uso da tubulação de PEAD. Para profundidades maiores que 4,5 m, tubulações de paredes mais finas (ou MDPE), ou em situações especiais, a adequação do produto deve ser verificada utilizando-se as informações do apêndice B. Em geral, o uso de tubulações de PEAD com espessuras muito fina (por exemplo > DR 17) não são recomendadas para aplicações com Mini HDD. Por exemplo, um DR 21 pode ser adequado para uma profundidade de 2,1 m ou menos, mas normalmente não é utilizada. A aplicação desses materiais requer práticas ou precauções especiais (Apêndice B 3.5)

Como discutido na seção 7.1, a tubulação deve ser analisada independentemente pelo proprietário, ou por seu engenheiro consultor, para verificar se haverá resistência suficiente para enfrentar a fase pós instalação (operacional) relativamente às cargas de solo e da superfície (por exemplo, tubulações instaladas muito afloradas), como as aplicadas para instalações convencionais, utilizando práticas aceitas pela indústria.

As profundidades permitidas como determinadas no Apêndice B e como indicado acima, assume sempre **uma tubulação vazia**, durante a instalação e a fase Pré operacional, sem levar em conta os fluidos internos ou pressão, os quais acabariam por diminuir os efeitos das pressões externas decorrentes do fluido de perfuração. Muito embora algumas instalações de HDD sejam mais complexas, como as Máxi HDD, são admitidas a opções de preencher a tubulação com água afim de evitar os efeitos de flutuabilidade e reduzir as cargas de puxada, bem como o valor líquido de pressão hidrostática, durante a instalação, tais práticas normalmente não são utilizadas no Mini HDD; veja o Apêndice

¹² MDPE, a classificação do tubo de polietileno de média densidade

B. Dependendo da aplicação todavia, o benefícios são mais efetivos mais tarde durante a fase operacional e devem então ser levados em conta pelo projetista ou proprietário da rede.

7.3. Menor Espessura de Parede baseada na Carga de Pull Back

7.3.1. Tensão Segura de Puxada da Tubulação: A Tabela 2 oferece a tensão de Pull back ideal para diferentes tamanhos de tubulações de PEAD (PE 3608). A força (Libras) é baseada numa tensão de ruptura de 1350 psi, aplicada na seção transversal da tubulação. Esta característica engloba a duração das tensões acumulativas efetivas na tubulação, assumindo-se que seja de 1 (uma) hora, e uma também uma redução relativa significativa da tensão nominal de teste do PEAD até o limite de deformação viscoelástica não recuperável. Para tubulações MDPE, os valores tabulados precisam ser ajustados por um fator de valor 0,80 e, para material do tipo PE4710, aumentado por um fator de 1.05.

Tabela 2 Tensão de Segurança para o Pull back (libras) para PE 3608, em 1 hora

Nominal Size	Pipe Diameter to Thickness Ratio (DR)						
	7.3	9	11	13.5	15.5	17	21*
2-in.	2,998	2,505	2,096	1,739	1,530	1,404	1,085
3-in.	6,511	5,439	4,551	3,777	3,324	3,049	2,356
4-in.	10,762	8,991	7,524	6,244	5,494	5,040	3,895
6-in.	23,327	19,488	16,307	13,533	11,909	10,924	8,442
8-in.	38,399	32,080	26,844	22,278	19,603	17,982	13,897
12-in.	86,398	72,180	60,398	50,125	44,108	40,461	31,268

- Não recomendado para instalações por Mini HDD veja seção 7.2

7.3.2. Pico de Tensão: A equação abaixo prove uma estimativa da força de pico aplicada à tubulação quando ela é puxada através do furo existente (já alargado):

$$\text{Tensão (Libras)} = \left[\text{Comprimento do Furo (pés)} \times \text{Peso de Flutuabilidade (lbs/ft)} \times (1/3) \times (1.6)^n \right]$$

O peso da flutuabilidade deve ser convenientemente determinado (aproximação) por:

$$\text{Peso da flutuabilidade (lbs/ft)} = \frac{1}{2} \left[\text{Diâmetro externo do tubo (Pol.)}^2 \right] - \text{Peso do tubo (lbs/ft)}$$

Onde “n” é igual ao número (ou fração) da comprimento do arco compreendido numa curva de 90° devido à curva acumulativa, ou ainda: $n = n_1 + n_2$

Essa quantidade de n_1 é o número efetivo da curva planejada de 90°, e n_2 é a curvatura acumulada (extensões de curvas de 90°) devido a ondulações não planejadas. Por exemplo, como ilustrado na figura 6, se uma curva horizontal de 45° para à direita for executada para evitar um obstáculo, o para seguir uma outra redes, e é em seguida composto por outra curva horizontal de 45° para a esquerda, cada uma delas (das curvas) são equivalentes a $\frac{1}{2}$ de uma curva de 90°, correspondendo ao total de $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$ A uma curva completa de 90°, portanto $n_1 = 1$. A quantidade de n_2 é descrita na seção 7.3.2.1.

O peso do tubo (libras por pé) na equação 3 é avaliável a partir do fabricante (baseado no diâmetro e no DR) o pode ser determinado pesando-se uma amostra. Alternativamente, Figura 7 é usada para determinar o peso de flutabilidade usada na Equação 2.

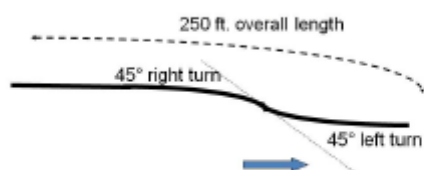
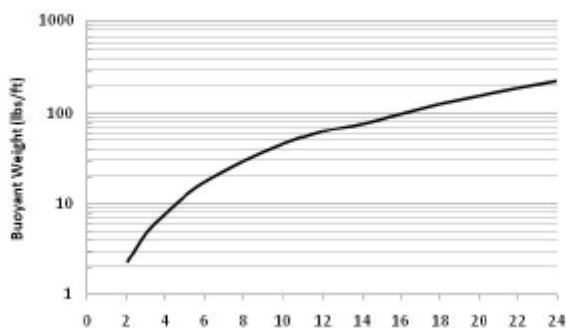


Figura 6 Curvas planejadas e não planejadas (caminhamento)



Diâmetro em polegadas

Figura 7 – Flutuabilidade do PEAD

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc.)

7.3.2.1. Curvatura não Planejada no Caminhamento: a quantidade **n_2** é o **valor acumulativo, efetivo da curvatura não planejada**, devido à correções feitas no caminhamento e resultante também de eventuais ondulações ocorridas no furo piloto ou alargamento. Muito embora essa quantidade variará em instalações devido às características do solo, experiência da equipe, etc., a regra a seguir deve ser usada para prover uma estimativa razoável para uma operação de Mini HDD que esteja utilizando hastes de 2" de diâmetro:

$$N_2 = \text{Comprimento do furo (ft)} / 500 \text{ ft} \quad (5)$$

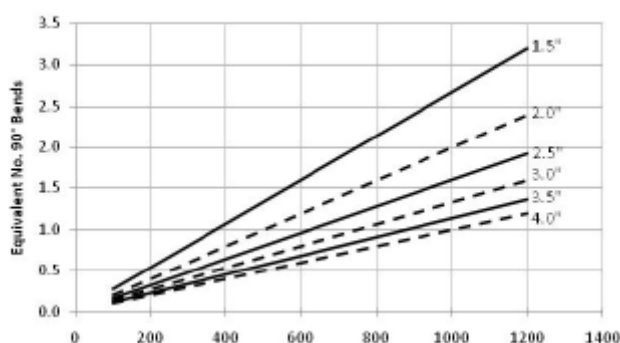
Exemplo: Assumindo que haja uma curvatura de 90° devido a correções de caminhamento, para cada 500 ft de extensão. Para o traçado indicado na Figura 6, a aplicação da fórmula (5) resultará nas seguintes curvaturas:

$$N_2 = 250 \text{ ft} / 500 \text{ ft} = \frac{1}{2}, \text{ ou seja, o total do caminhamento é calculado como } n = n_1 + n_2 = 1 + \frac{1}{2} = 1.1/2.$$

7.3.2.2. Diâmetro da Haste: A magnitude do resultado da curva não planejada resultante da equação numero 5 é aplicada às operações de Mini HDD onde são utilizadas hastes de 2" de diâmetro. No caso de hastes com diâmetros maiores, como há uma flexibilidade menor as variações devem ser graduais e as correções devem ser menores. Assim, aplicando os procedimentos acima para o Mini e o Midi HDD com diferentes diâmetros de haste, o valor de n_2 deve ser calculado pela seguinte fórmula:

$$N_2 = \text{Comprimento do furo (ft)} / 500 \times 2 \text{ pol} / \text{diâmetro da haste (pol)} \quad (6)$$

Por exemplo: uma haste de 4" corresponderia a uma curva de 90° a cada 1000 ft de extensão, resultando na Equação 6 conforme ilustrado na Figura 8 a seguir:



Comprimento do furo em ft

Figura 8 – Curvatura não planejada n_2

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc.)

Muito embora, em princípio, esta mesma regra ou formula possa ser extrapolada para ser utilizada no Maxi HDD, usando-se o diâmetro da has, é considerado excessivamente conservador para operações de Maxi HDD onde a instalação é muito bem planejadas e controlada, como discutido abaixo.

7.3.2.3. Seleção da Tubulação: A tensão estimada como calculada na Equação 2 deve ser comparada coma a carga de puxada segura da Tabela 2 para a qual é requerido não exceder o limite, por exemplo:

Tensão (da Equação 2) < ou igual à Tensão de Puxada Segura (Tabela 2)

Apendice D dá vários exemplos desta aplicação.

O uso da Equação 7 provê uma estimativa razoável da prática de colocação da tubulação utilizando o Mini HDD e é analago ao previsto no procedimento incorporado a ASTM 1962 para o Maxi HDD. O presente cálculo para Mini HDD todavia resultará de forma geraal em distancias consideravelmente menosres dos que as correspondentes a ASTM 1962 o qual também inclui as técnicas de flutuabilidade para reduzir de forma significativa as cargas de puxada para enfrentar essa condição e reduzir as cargas geradas por esse fenomeno. Distâncias menores para o Mini HDD são também resultantes do aumento do arrasto (efeito "capstain"¹³ gerado pelo característica da curvatura imposta à tubulação que está sendo puxada em função de uma mudança ocasional ou proposital do caminhamento para que se faça

¹³ Esse efeito faz que a tubulação gire em torno do próprio eixo.

algum tipo de correção (Equações 5 e 6), as quais são maiores e mais significantes dos que as encontradas nas instalações de Maxi HDD¹⁴

O Apêndice C provê os detalhes em respeito às bases técnicas e de desenvolvimento para a metodologia explicada acima.

- 7.4. Resultados:** Como discutido anteriormente, a Equação 7 deve ser usada para prever as cargas de puxada como uma fração da tensão de segurança da pruxada, e como função do comprimento do caminhamento para várias situações. A Figura 9 ilustra os resultados para uma perfuração reta (Exemplo: $n_1 = 0$) para tubulações de PEAD de vários valores de forças (Material do PEAD PE 3608) independente do diâmetro e considerando uma instalação com hastes de 2" de diâmetro. Por exemplo, baseado numa carga de puxada somente, um tubo de PEAD DR 11 pode ser instalado em

NOTA IMPORTANTE

Os comprimentos resultantes dos cálculos conforme a Figura 9 são significativamente menores daqueles permitidos no Máxi HDD. As cargas que são assumidas para o Mini HDD não levam em conta a existência de contrapeso de água na tubulação, o qual reduz enormemente o movimento de flutuação da tubulação que é associado com o arrasto e também pela presença de curvaturas impostas ao caminhamento devido à correções típicas dos projetos que utilizam Mini HDD. Esse último fenômeno por exemplo, pode reduzir significativamente esse comprimento para tubulações de quaisquer materiais. Assim a imposição de medidas anti-flutuabilidade e/ou providencias para evitar curvas desnecessárias como ocorre no bem planejado, Maxi HDD, correspondem as distâncias práticas obtidas várias vezes como mostrado na Figura 9. A norma ASTM 1962 pode ser utilizado para se obter essas distâncias práticas de puxada.

comprimentos maiores que 1050 ft (320 m) o que estaria acima dos limites nominais do Mini HDD sem previsão de problemas. Baseados na profundidade permitida ele poderá eventualmente ser instalado a mais de 55 ft (18 m) conforme é alertado nos limites do Mini HDD. Os resultados indicam que o PEAD DR 11 deve ter resistencia fisica adequada para basicamente todas as aplicações no método em questão. Também devem estar também preparados para o manuseio dos mesmos no campo, o que não é levado em conta na análise. O limite de colocação da tubulação correpondente ao PEAD DR 11 para o material PE 4710 será um pouco maior (provavelmente atingirá 1100 ft ou 340 m) enquanto a distancia por o MDPE (Polietilieno de Média Densidade) deve ficar ao redor de 950 ft ou 290 m. Os comprimentos máximos serão reduzidos para caminhamentos com curvas planejadas, adicionais, onde $n_1 = 0$ e que você poderá encontrar no Apêndice D.

- 7.5. Comentários:** Como uma determinação para seleção do DR para que o criterio descrito na seção 7, seja seguido não deve ser desconsiderado para encorajar ou permitir que haja cuidados menores ou habilidades menores dos que as recomendadas pela industria, e que são mencionadas em outros capitulos deste guia. Os procedimentos de seleção são baseados na suposição de que os procedimentos de perfuração são observados. Por exemplo, um colapso prematuro do furof deve impor cargas significativamente maiores do que as assumidas por todos os cálculos apresentados até agora, levando seguramente a um insucesso na instalação por HDD. Reciprocamente a determinação de um determinado caminhamento para a perfuração não garante que ela não possa falhar. A metodologia é baseada num certo conservadorismo inerente

¹⁴ Devido ao significado quantitativo das curvaturas não previstas impostas ao caminhamento – e devido a grande variabilidade desses efeitos – em alguns casos deve ser considerado e desejado a aplicar um fator $> 1,0$ devido às tensões previstas pela Equação 2. Para isso veja o Apêndice D. Isto de alguma forma reduzirá as distancias de instalação!

(Veja o Apêndice C) de tal modo que se espera que em muitos casos, certas escolhas de tubulações aquém das especificações não possam ser completas com sucesso utilizando-se o Mini HDD, embora na ausência de uma segurança maior como a que se espera das práticas de projeto apresentadas neste guia.

8. **Planejamento do Caminhamento e do Set Up da Perfuratriz:** A seção 8 endereça o planejamento do caminhamento consistente com os requisitos exigidos pelo proprietário da rede, incluindo a profundidade, bem como as informações para a locação da perfuratriz no local (Set up), as quais dependem de parâmetros do equipamento (por exemplo, a curvatura ou raio de curvatura admissível das hastes). As informações providas dão suporte ao projeto do caminhamento tanto no plano horizontal como no plano vertical. Há softwares disponíveis no mercado para auxiliar nessas funções e cálculos. As informações desta seção compreendem os elementos de projeto (por exemplo, a trajetória do caminhamento) e as operações de implementação ou construção, as quais são normalmente cumpridas pelo empreiteiro contratado para a execução em Mini HDD e que são de relativa complexidade. Para operações mais complexas, como as instalações que utilizam Máxi HDD essas funções são de responsabilidades de diferentes indivíduos ou organizações, e executadas separadamente¹⁵.

8.1. Considerações Gerais:

8.1.1. Trajetória Horizontal (Plano Horizontal) do Caminhamento Teórico: O proprietário da rede ou seu engenheiro representante providenciará todas as informações requeridas para o caminhamento da tubulação, incluindo as regiões fora da área urbana, com a identificação de estradas, ou locais com obstáculos onde haja necessidade de travessias (por exemplo, ligações domiciliares). A precisa localização de cada segmento todavia deve ser confirmado no local, e antes da perfuração, por uma empreiteira especializada ou por um engenheiro de redes subterrâneas, dependendo da localização das redes existentes e outras condições do local da instalação, e que estejam consistentes com a seção 6.

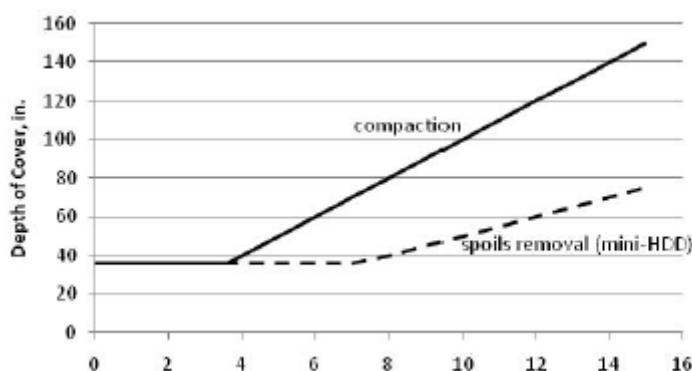
8.1.2. Profundidades Especificadas: A profundidade nominal da perfuração deve ser determinada pelo proprietário da rede, incluindo as dimensões máximas e mínimas consistentes com as tubulações existentes. As profundidades normais de redes devem ser inicialmente julgadas pelos resultados das investigações preliminares e com um determinado nível de confiança, mas em situações críticas como cruzamento com outras redes existentes, devem ser checadas visualmente conforme orientado nas seções 6.2.3 e 6.4.4. Uma cobertura mínima de 36" (91 cm) é desejada como uma medida que tipicamente reduz o impacto na superfície¹⁶, em função do movimento e pressão do fluido de perfuração e sua capacidade de penetração no solo durante o furo piloto, aumentando assim, as operações de direcionamento, muito embora a grandes profundidades geralmente recomendadas em função do diâmetro e comprimento do furo, como discutidos a seguir. Profundidades muito grandes todavia, podem não ser práticas para as atividades de manutenção pós instalação.

8.1.3. Cobertura mínima: As orientações existentes recomendam uma cobertura mínima equivalente a 10 vezes o diâmetro externo da tubulação a ser instalada, de forma a evitar efeitos de recalques e outros, na superfície, e em condições de solos compatíveis em termos de compactação. O uso de "moles" (ferramentas

¹⁵ O que inclui empresas de projetos e consultoria em engenharia.

¹⁶ NT Recalques

pneumáticas) é um exemplo de ferramentas em que há o afastamento ou compactação do solo ao redor da ferramenta de escavação. De forma, similar, nas instalações de HDD em que é criado um furo piloto com diâmetro de 4" ou menos, o fenômeno pode ter o mesmo significado e ocorrência, onde apenas uma pequena quantidade de material escavado é removido para fora do furo em suspensão no fluido de perfuração. Em contraste, para furos de maior dimensão, o Mini HDD utiliza o fluido de perfuração para remoção do cortado, com no mínimo um certo volume durante a operação inicial ou durante os alargamentos. Em função da desproporcionalidade entre os volumes de fluido requeridos para remoção dos cortados é requerido um maior volume para o caso em que haja remoção do solo, quando comparado com o processo de compactação. É uma responsabilidade do empreiteiro de perfuração entender e utilizar a tecnologia de fluidos de perfuração de forma adequada, incluindo o estudo e também evitar que haja quaisquer ocorrências na superfície, e com pouca ou nenhuma ocorrência de fluido na superfície.



(Diâmetro do Furo Final em polegadas)

Figura 10 – Cobertura Mínima Recomendada

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc.)

A Figura 10 mostra a profundidade recomendada de cobertura para condições compatíveis com a razão de 10 para 1, no processo em que haja compactação, bem como 5 para 1 quando houver o processo de remoção dos cortados utilizando-se o Mini HDD, a uma profundidade mínima de 36" (91 cm) como uma função do diâmetro final do furo. É notado que o tamanho do furo final para as operações com Mini HDD, é recomendado que seja pelo menos 50% (cinquenta por cento) maior que o diâmetro externo da tubulação de PEAD. Essas recomendações para profundidades de cobertura são reconhecidas como um guia desde que a tendência de movimentos subsequentes dos solos, como por exemplo em função da penetração do fluido para a superfície, e outros possíveis efeitos, são dependentes das características dos solos e das variáveis da construção. Todavia, uma cobertura menor do que a indicada na Figura 10 é necessária, é recomendado que o furo no alargamento final só seja alargado em várias operações de pré-reaming (Pré-Alargamento) antes da puxada final da tubulação, acompanhada com um monitoramento cuidadoso da pressão do fluido como mostrado na seção 9.3.1

- 8.2. **O direcionamento e as restrições na coluna de hastes:** O caminhamento planejado deve ser consistente com a capacidade de direcionamento da coluna de hastes,

baseado no raio de curvatura admissível dela, incluindo a presença das juntas tal qual especificado pelo fabricante das hastes; veja a seção 3.3. O limite à flexão considera o limite fixado para o material da haste (aço), bem como as características de fadiga em níveis menores de esforços. Uma haste deve poder atender um ciclo de curvatura correspondente a um determinado raio de curvatura, mas deve-se ter em conta que a rotação da haste durante a operação de perfuração passa por repetidas flexões as quais podem acelerar o processo de fadiga afetando os parâmetros primários do seu raio de curvatura admissível e correspondente a sua capacidade de direcionamento. As características de uma haste estão na seção 8.4 em detalhes.

- 8.3. **Restrições da Tubulação de PEAD:** O raio de curvatura da tubulação será dada pelo fabricante dela. Para tubulações construídas em plástico ou outros materiais flexíveis o limite do raio de curvatura da haste é suficientemente grande para ser compatível com o da tubulação¹⁷. Em particular em se tratando de polietileno a tubulação será flexível o suficiente para atender as curvas e traçados impostos pelas instalações de HDD e não será relevante em relação ao das hastes.

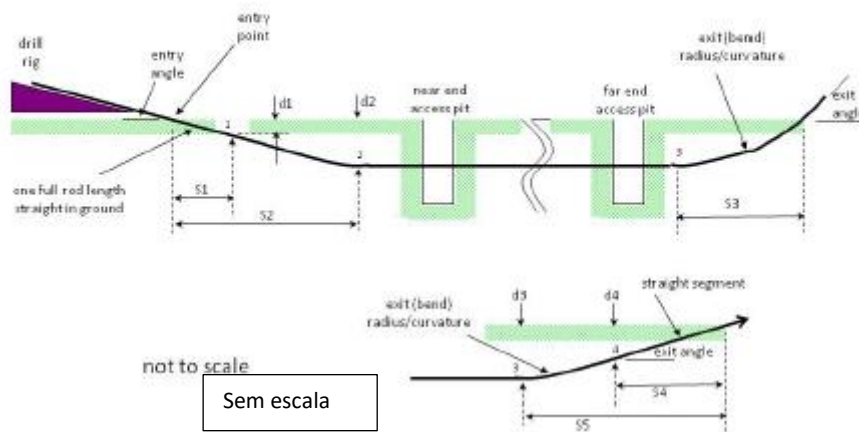


Figura 11 Arranjo da Coluna de Haste e a Distancias Relativas

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc)

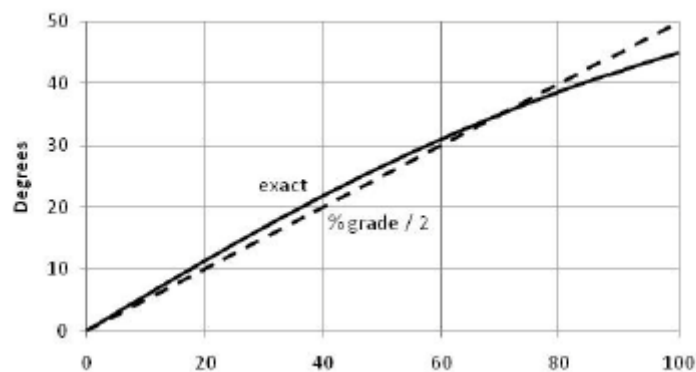
- 8.4. **Perfil (Vista Vertical) do traçado do Furo:** A figura 11 ilustra um perfil de uma trajetória típica de Mini HDD incluindo a existência de alguns pits (poços) ao longo da rota. Esses pits podem ser necessários para que posteriormente sejam feitas ligações transversais (geralmente domiciliares) ou então, têm a função de vala de inspeção para expor redes existentes no subsolo. Esses pits também podem ser úteis para o recolhimento do fluido de perfuração resultante do furo e em sua fase de alargamentos. As características das colunas de hastes como descritas na seção 3.3, incluindo sua capacidade de curvatura e do comprimento delas, assim como o ângulo de entrada desde a superfície em direção ao subsolo e traçado planejado, vão essencialmente determinar as profundidades atingíveis durante o começo da perfuração. Muito embora a figura 11 como está convenientemente mostrada para um determinado nível

¹⁷ NT: Portanto, é quase sempre correto entender que no Mini HDD a restrição da haste é a medida mandatório do raio de curvatura;

superficial, a informações apresentadas devem ser interpretadas como uma rampa uniforme na subida ou na descida em relação ao plano superficial.

8.4.1. Medida do Ângulo: Em operações de HDD, o ângulo de entrada da coluna de hastes em relação ao plano superficial, bem como os ângulos estabelecidos durante o processo do furo piloto, determinam o caminhamento da perfuração. Os ângulos devem ser mostrados no plano vertical (elevação) assim como o ângulo de entrada da coluna, ou num plano horizontal (Azimute) em graus ou para um ângulo de elevação em percentagem (o aumento ou diminuição da distancia horizontal, vezes 100). **O ângulo em graus é aproximadamente igual a metade do percentual de graduação como ilustrado na Figura 12.** O carro perfuratriz (rack) normalmente permite um ângulo de entrada no intervalo de 5° a 25° (ou 10% a 45% em percentagem).

8.4.2. Distância Percorrida: De maneira a atingir uma determinada profundidade em um determinado ponto o inicio da perfuração na superfície, a cabeça de perfuração da coluna de hastes deve estar numa distancia para trás em relação ao ponto de interesse, que pelo ângulo a mesma seja atingida, mas também a orientação desejada (em percentagem) do furo naquele ponto. Na figura 11, o ponto 1 está localizado ao longo da rampa de entrada da coluna de hastes, e a distancia correspondente para atingir a profundidade d1, como designido por S1. S1 rperesenta a menor distância a ser atingida na profundidade especificada, independente da orientação do traçado, além do qual a trajetoria deve começar a ficar nivelada.¹⁸ O conhecimento dessas exigencias dimensionais são importantes com respeito a definação da localização e posição da coluna de hastes, consistente com o espaço ou viabilidade, ou ainda pela conveniencia das locações de set up.



% de Graduação

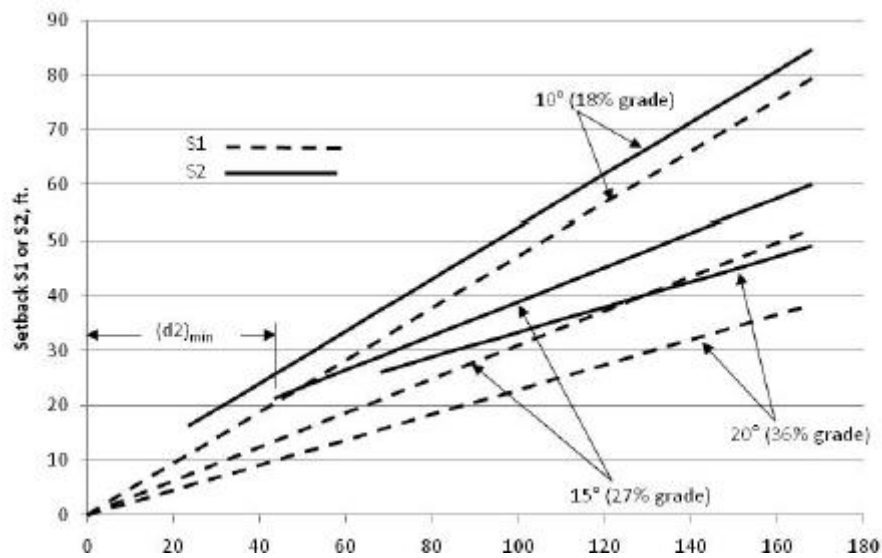
Figura 12 Graus versus Percentual de Graduação

8.4.2.1. Distancia do set back em relação à Trajetoria Nivelada: A partir do ponto 1, a coluna de hastes é direcionada de modo que a trajetória comece a ficar retilinea ou nivelada, ou reta no ponto 2 (Figura 11), correspondendo à profundidade d2, e a distância que controla o afastamento ou set back S2. A distancia S2 é significativamente maior do que a correspondente ao ponto S1 quando se assume a mesma profundidade de interesse. A maior distancia requerida é para permitira a coluna de hastes estabelecer uma curvatura

¹⁸ NT: O leitor poderá rever as orientações de trigonometria para confrontação.

para cima afim de atingir a orientação horizontal. Neste caso, também se assume que o furo é iniciado ao longo do trecho reto, a partir do ângulo de entrada, sem nenhuma curvatura ou direcionamento para a distancia de uma haste em seu comprimento total (tipicamente uma haste de Mini HDD tem 10 pés ou 3.04 m) no solo. Esta é uma prática recomendada para evitar que hajam cargas rotativas ou de rolamento ou giro, na frente da coluna de hastes. A curvatura de subida é introduzida durante as inserção das hastes subsequentes.

8.4.2.2. Profundidade Mínima para o Nível da Trajetoria: Devido a recomendação de que a primeira haste inserida a partir da superfície entra sem qualquer curvatura ou direcionamento, e que a curvatura subsequente é proporcional à capacidade de flexão da haste, haverá uma profundidade mínima a partir da qual a trajetória começará a ficar nivelada, dependendo do ângulo de entrada e das características fisicas da haste. Esta profundidade é designada como d_{2min} .



Profundidade d1 ou d2 em polegadas

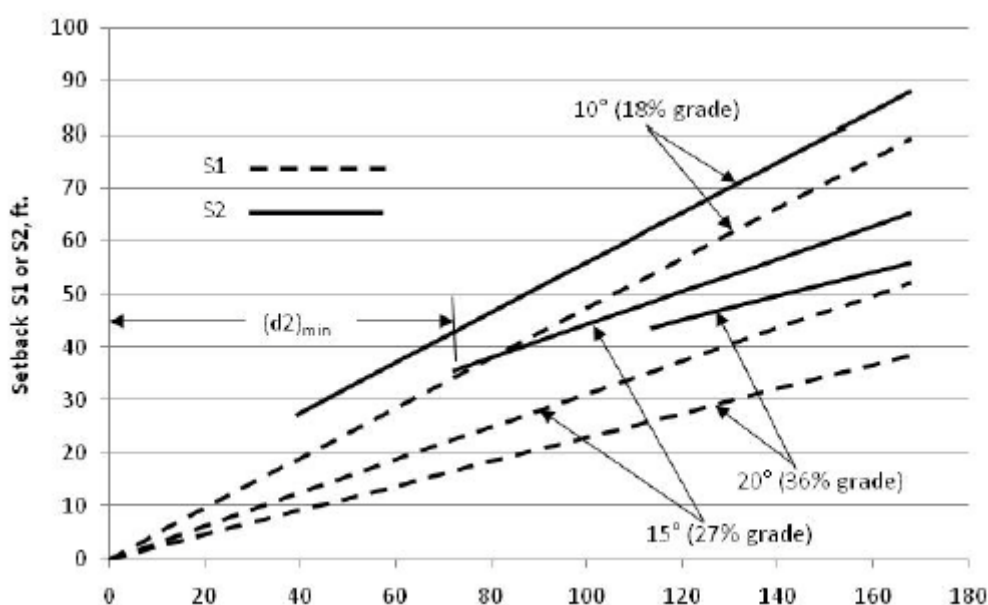
Figura 13 Cálculo da Distancia de Recuo da Perfuratriz (Set Back)

Hastes de 6 pés de comprimento (1,8 m), e 60 ft (18 m de Raio de Curvatura)

(Fonte: Outside Plant Consulting Servies, Inc)

8.4.3. Distância de Recuo – Orientações: As distancias de recuo S1 e S2 como função das profundidade d1 ou d2 respectivamente, como mostradas nas figuras 13, 14 e 15 para diferentes hastes incluindo comprimentos de 6 ft (1,8 m), 10 pés (3,04 m) e 15 pés (4,5 m), com o raio de curvatura correspondente e admissível de 60 pes (18 m), 100 pés (30 m) e 150 pés (45 m). Essas figuras também indicam uma profundidade mínima d_{2min} e a distancia de recuo S2 na qual a trajetoria começa a ficar nivelada. Assim, uma haste tipica de 10 ft (3,04 m) da figura 14, e com um ângulo de entrada de 15°, a uma profundidade de 1,83 m (72") resultará numa distância de recuo de 6,6 m (22 ft) denominada S1, e baseada numa trajetoria inclinada. Em comparação, uma distância de reculo de 11,0 m (36 ft) para S2, é requerida para a mesma profundidade de 1,83 m (72") numa trajetória nivelada. A figura 14 também indica que esta haste em particular (3,04 m) que informa um

raio de curvatura de 30,48 m (100 ft) não é consistente em termos do ângulo de entrada e em atingir uma trajetória nivelada a menos de 1,83 m de profundidade. Se for necessário manter uma determinada profundidade máxima durante todo o caminhamento, incluindo as proximidades do ponto de entrada, então é necessário um e um ângulo mais agudo ou um raio de curvatura mais fechado. Ainda, é possível afundar um pouco mais no início antes da primeira cota a ser alcançada e nesse ponto, subir, o que ocasionará uma distancia de recuo maior do que a calculada. Os resultados indicados nas figuras 13-15 são baseadas em direcionamentos consistentes com as características física das hastes. Para o momento fletor menos severo, ou ainda com hastes mais longas, a distancia S2 requerida para atingir o trecho reto a uma determinada profundidade, será maior do que a indicada.



Profundidades d1 e d2 em polegadas

Figura 15 Distancia de Recuo da Perfuratriz

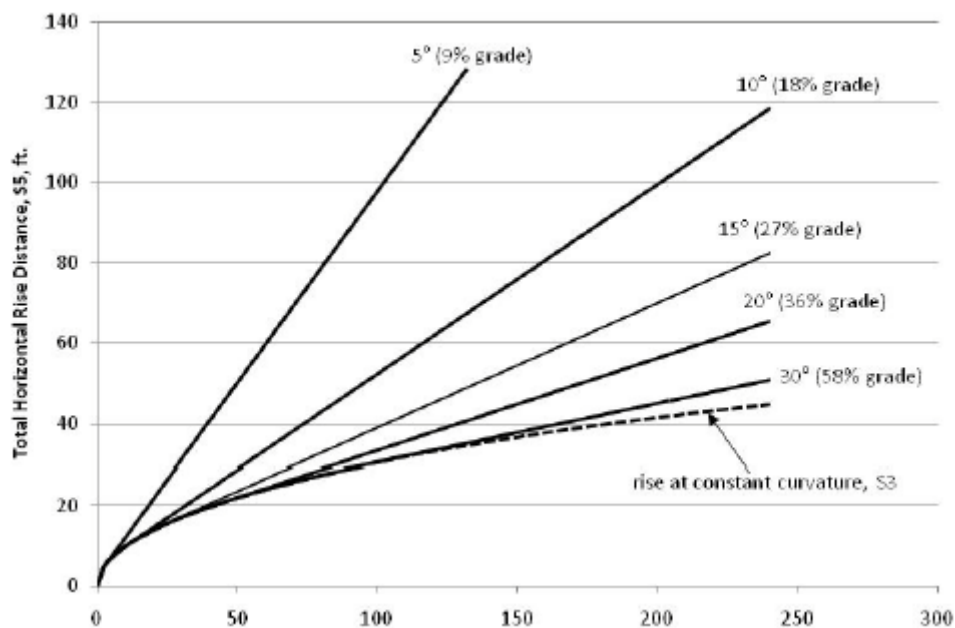
Hastes: 15 ft de comprimento (4,50 m) e 150 ft (45 m) de Raio de Curvatura

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc.)

8.4.4. As implicações entre distâncias de recuo e profundidades: Se determinadas distâncias de recuo ou ângulos consistentes das hastes com especificações de profundidade máxima não são praticáveis, será necessária uma consideração para a aprovação do proprietário da rede autorizando aumentar a velocidade no ponto de entrada, com uma transição gradual até a profundidade desejada ao longo do balanço do caminhamento. Se necessário, diâmetros menores, hastes mais flexíveis (por exemplo a figura 13), deve ser considerados para efeito de se atingir uma consistência, com as cargas de empuxo e torque. Raios menores dos que os recomendados pelo fabricante da haste deve ser avaliados pela empreiteira de perfuração levando em conta que pode haver uma redução na vida útil da mesma. Se em termos de direcionamento, as condições de solo, impedem o uso de subida mais íngreme, talvez uma assistência mecânica possa ser utilizada no pit de entrada e um momento fletor pode ser aplicado para cima na haste.

8.4.5. Distância a ser perfurada para atingir a superfície a partir de um trecho retilíneo:

As figuras 16-18 mostram as distâncias horizontais requeridas desde a cabeça de perfuração para atingir a superfície desde o ponto três na trajetória nivelada, à profundidade que se encontra no momento no ponto d3 como indicado na figura 11. A menor distância denominada S3 corresponde dizer que a coluna de hastes subirá dentro do mínimo raio de curvatura admissível da haste. Alternativamente, se há o desejo de sair na superfície a um determinado ângulo, uma distância horizontal maior pode ser necessária. Por exemplo, é desejável sair um um ângulo relativamente menor para facilitar a entrada posterior da tubulação quando na hora da puxada, a qual exigirá uma distância horizontal maior, denominada S5, do que um ângulo maior.



Profundidade d3 em polegadas

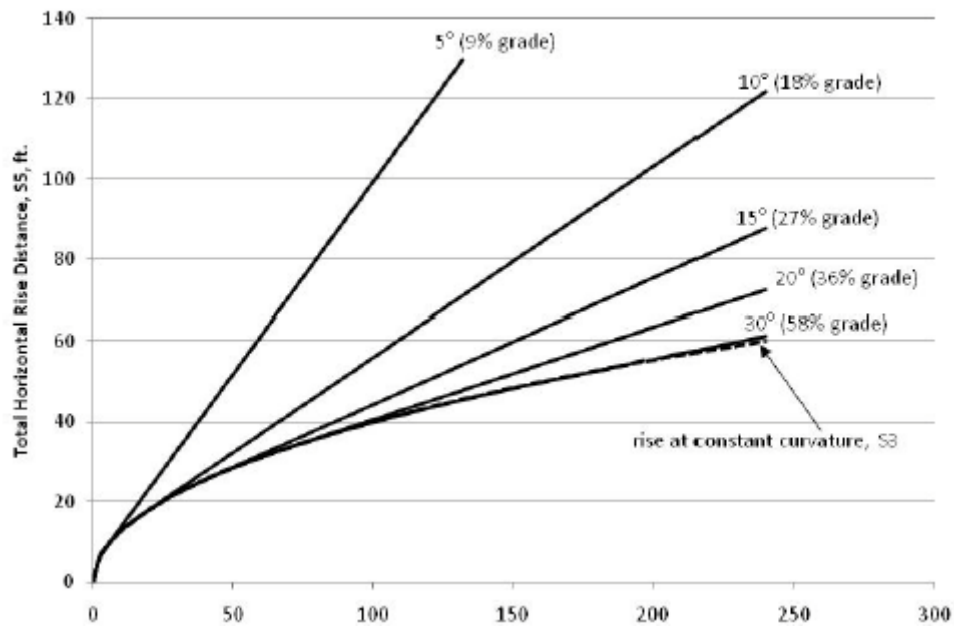
Figura 16 Distância para se atingir a superfície

Hastes: 18 m (60ft) de Raio de Curvatura

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc.)

Assumindo uma haste típica, na Figura 17 (100 ft ou 30,4 m de raio de curvatura admissível)¹⁹ a menor distância de subida, S3, desde a trajetória nivelada ou reta, a 2,54 m (100 pol) de profundidade d3 é de aproximadamente 40 ft (12 m) para um ângulo de saída de 5°; veja também a figura 11. O maior ângulo de saída admissível é limitado pela profundidade. Para esta haste, ângulos de saída relativamente altos (por exemplo maiores do que 20°) não são possíveis a profundidades menores do que 72" ou 1,83 m. A figura 19 ilustra os ângulos de saída para uma subida indicada a uma curvatura constante.

¹⁹ O comprimento da haste não é um fator para ser utilizado na definição da distância para se atingir a superfície.

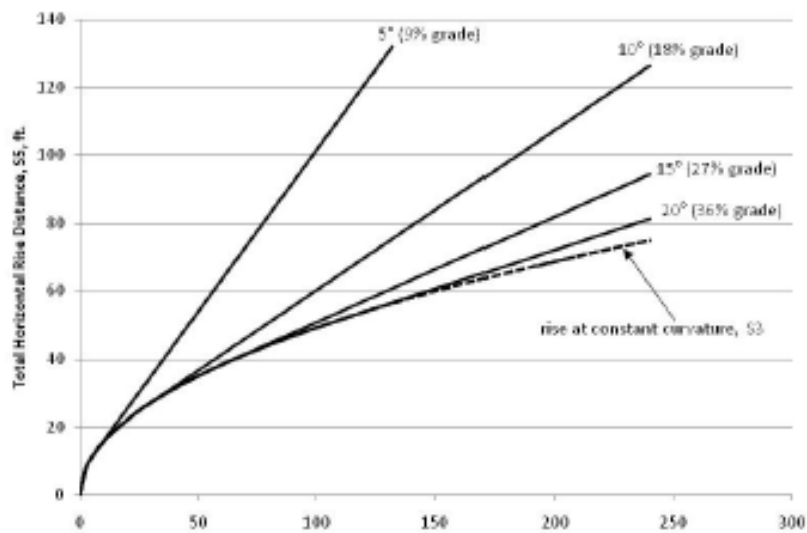


Profundidade d3 em polegadas

Figura 17 Distância suficiente para atingir a superfície

Hastes: 100 ft ou 30,48 m de Raio de Curvatura

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc.)

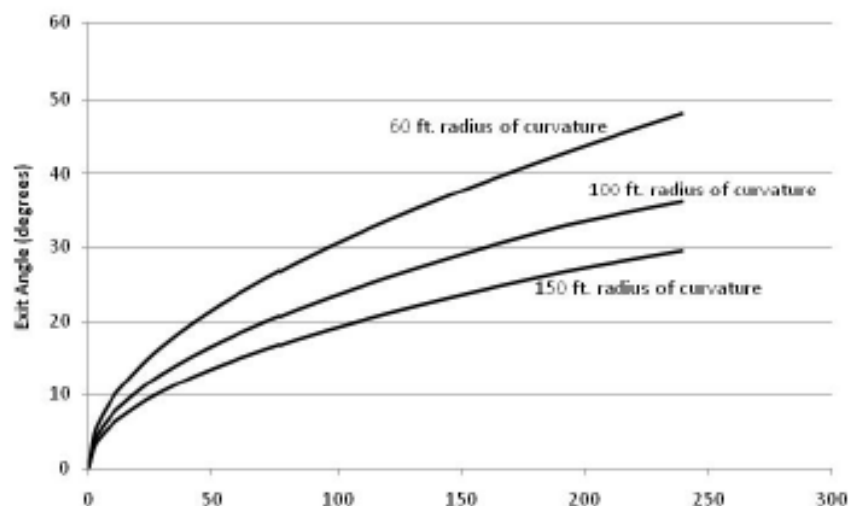


Profundidade d3 em polegadas

Figura 18 Distância para se atingir a superfície

Hastes: 150 ft (45 m) de Raio de Curvatura

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc.)

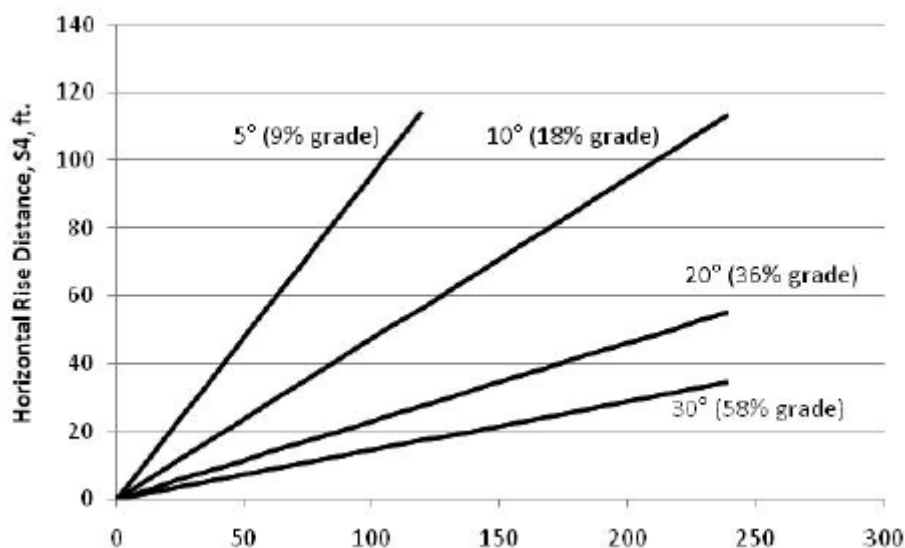


Profundidade d3 em polegadas

Figura 19 Angulo de Saida para atingir a curvatura constante

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc.)

8.4.6. Distancia para saida a uma rampa especificada: Considerando-se a cabeça de perfuração orientada para a rampa de subida, a Figura 20 mostra a distância horizontal S4, requerida para que a cabeça de perfuração atinja a superfície no pnto 4, numa rampa inclinada desde a presente profundidade d4; veja a figura 11. A informação também deve ser utilizada para determinar a distância horizontal correspondente a uma distancia especificada para subida a partir de qualquer ponto num caminhamento inclinado. A indicada d4 e o ângulo de elevação estão indicados no sistema de localização com o navegador. A rampa vertical resulta na figura 20 diretamente correspondente ao percentual de graduação (uma fração da distância horizontal) da trajetoria ou caminhamento.



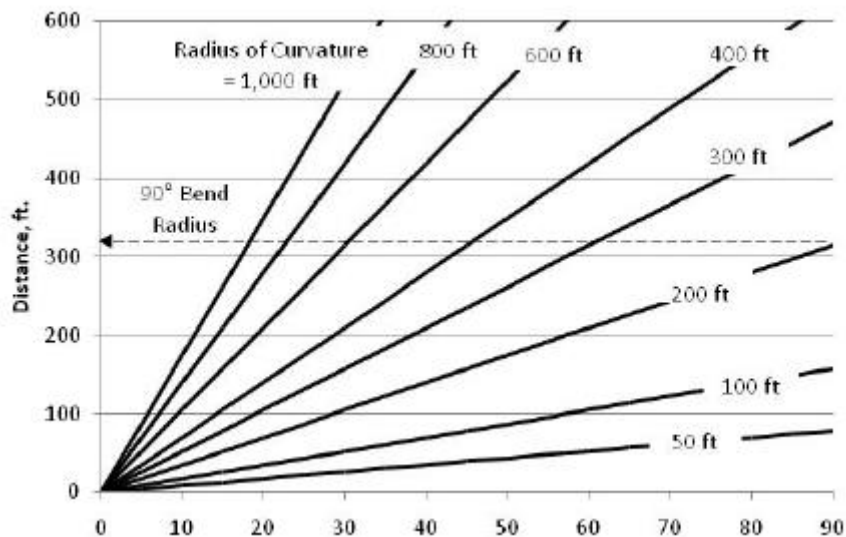
Distancia Vertical ou Profundidade d4 em polegadas

Figura 20 Distance Horizontal para atingir a Distância vertical ou para a Superfície.

O apêndice E dá informações e detalhes adicionais e fórmulas para serem utilizadas a fim de gerar um guia para os casos não explicitamente considerados nas figuras 16 a 20. O apêndice F, provê exemplos neste tipo de aplicação.

8.5. Rota do furo (Plano Horizontal): Numa vista em planta, o traçado do furo deveria ser o mais direto possível, consistente com a área disponível, com a arquitetura da rede, das redes existentes e outros obstáculos, bem como com a capacidade do sistema de Mini HDD levando em consideração o raio de curvatura recomendado para as hastes e com a habilidade de direcionamento no solo. Isso inclui alinhamento para tubulações de linhas de distribuição ou para ligações domiciliares. Em muitos casos, uma pesquisa visual e um simples esquemático pode ser suficiente para definir o caminhamento de um furo. Em situações mais complicadas, deve ser feita uma pesquisa sobre o trânsito ou ainda outro tipo de pesquisa. Em geral, um plano de furo numa vista em planta, e um Lay Out do perfil deve ser preparado indicando a topografia na superfície e outras características importantes, além da localização das redes no subsolo, pontos de referência, etc. O Lay Out do caminhamento do furo deve mostrar antecipadamente os pontos de acesso para as conexões com as redes existentes, ligações domiciliares, e também a profundidade na qual a tubulação deve ser instalada, e os pontos críticos tais como os pontos de acesso e outros pontos de referência na rota.

8.5.1. Topografia na superfície: Como é conveniente e previamente discutido na seção 8.4 são sempre baseadas num levantamento topográfico. Para superfícies relativamente regulares, o atual (médio) nível topográfico pode ser obtido correndo linha, ou uma série delas, marcando a distância entre o ponto de entrada e de saída. A linha deve ainda prover uma referência para que se possa verificar a profundidade durante a operação, havendo pequenas variações na superfície, como depressões e outras irregularidades (sempre comparadas com a cota de profundidade) e de forma que sirva de base para as interpretações mencionadas na seção 8.4 as quais assumem que a superfície é topograficamente nivelada. Em geral o furo deveria seguir o caminhamento com uma profundidade sempre abaixo da média ao longo da superfície. Para a ocorrência de grandes depressões ou superelevações (por exemplo, com uma altura maior do que a profundidade de interesse, e que esteja estendida por uma extensão relevante, na ordem de atender o raio de curvatura da haste ou maior) incluindo picos e vales, o furo deverá manter o mesmo todo a profundidade especificada abaixo da média de variação obtida na topografia.



Graus

Figura 21 Raios de Curvatura para Ângulo e Distância

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc.)

8.5.2. Curvatura da rota ou caminhada: Muito embora possam haver obstáculos ou rota fora do alinhamento a geometria deve impor uma curvatura deliberada (Figura 6), o plano do furo deve atentar a minimizar deliberadamente curvas, horizontais ou verticais. Tais trajetórias com essas curvas são difíceis de serem seguidas e acabam gerando um direcionamento forçado e curvaturas excessivas resultando num aumento do estresse nas hastes exigindo forças de pull back muito maiores durante a puxada da tubulação; veja a seção 7.3. A média dos raios de curvatura, ou ainda curvas de 90° (veja seção 3.3), de um segmento do caminhada deve ser estimado em relação a distância ao longo dele e das mudanças angulares, conforme se vê adiante:

$$\text{Raio de Curvatura (pés)} = 57,3 \times \text{Distância (pés)} / \text{Ângulo (Graus)}$$

$$\text{Raio de } 90^\circ \text{ (pés)} = 90 \times \text{Distância (pés)} / \text{Ângulo (graus)}$$

Assim, uma mudança de 20° ao longo de um segmento de 30 m (100 pés) corresponde a um raio de curvatura de 287 pés (87 m) com um comprimento de 450 pés (137 m). A figura 21 ilustra o raio de curvatura correspondendo a uma angular e ao longo da distância de caminhada. O raio de 90° correspondente ao comprimento da curvatura de 200 pés (60 m) é igual = $200 \text{ ft} \times 1,57 = 314 \text{ ft}$, o qual é tido como concordante com a distância transversal para 90°, como indicado.

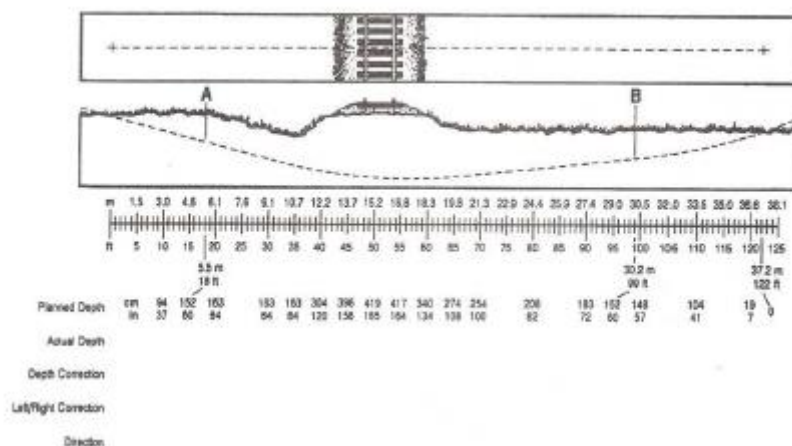


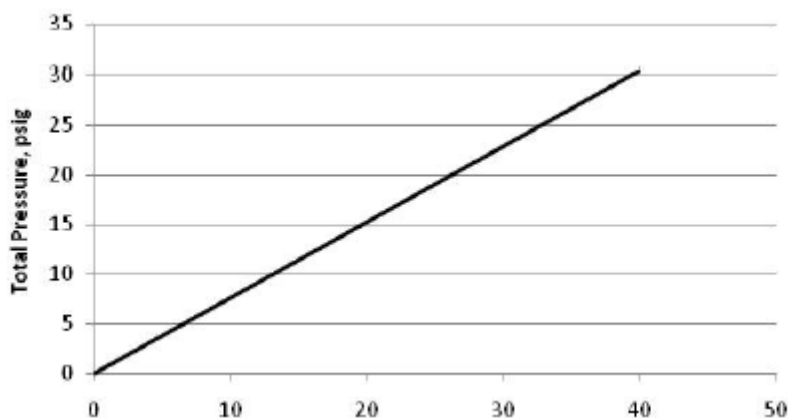
Figura 22 Plano de furo Inicial

(Fonte Ditch Witch)

8.5.3. Traçado proposto: A figura 22 mostra um plano de furo como amostra, composto de um trecho vista em plano horizontal o qual deve ser usado como base do subsquentes desenhos “conforme construído” (as built) ilustrado na figura 24. Muito embora não explicitamente mostrado no exemplo, os pontos de referencia devem ser mostrados.

8.5.4. Precisão e Tolerancia: Na seção 6.3 (Figura 5) a zona de tolerância é discutida com relação às redes existentes no subsolo, as quais devem ser evitadas no contato com quaisquer partes da perfuratriz, seja a cabeça de perfuração, seja o alargador. Para que seja possível manter a separação recomendada, é recomendado que o traçado da perfuração mostrado no plano de furo incluindo a parte mais externa do alargador, esteja com uma distância de pelo menos 45 cm dessa extremidade como zona de tolerância, correspondendo a um total de 90 cm inicialmente planejado como separação. Para o caso do caminhamento cruzar um redes exposta, uma adequada separação física deve ser visualizada quando a cabeça de perfuração ou o alargador, dependendo da fase em que se encontra a perfuração, passe por cima, ou sob a rede em questão. No caso raro, no qual não é viável a exposição da rede existente na posição do cruzamento, a posição do traçado deve estar precisamente estabelecida ou verificada e neste caso a separação minima deve ser de 50 cm ou maior se exigido pelas autoridades locais, também medidas da borda da maior dimensão da cabeça de perfuração ou do alargador, na posição mais próxima da rede, cuja profundidade tenha sido determinada bem como identificada durante o processo de localização e marcação (Seção 6.2 e 6.4). O proprietario da rede deve ampliar as restrições no desvio permitido do traçado da rede nova proposto, tanto na direção vertical como na horizontal (Seção 9.5.1). As condições do solo, incluindo a presença de mato e outros obstáculos encontrados, bem como uma atenção especial a curvamentos muito fechados, devem resultar em desvios não intencionais do caminhamento previsto. Uma confirmação mais frequentemente checada em espaços mais curtos, da cabeça de perfuração durante a fase do furo piloto, ajudará a identificar potenciais discrepancias bem antes e facilitar a correção do caminhamento, veja seção 9.4.3.

9. **Implementação:** Esta seção discute a totalidade das sequencias operacionais e os procedimentos apropriados, durante a instalação da tubulação. Essas operações, incluindo o posicionamento da perfuratriz, executando o furo piloto, o acompanhamento, o direcionamento, o alargamento e o puxamento. Está além dos escopo deste manual prover detalhes dos procedimentos operacionais para os vários equipamentos de Mini Hdd e dos dispositivos auxiliares. Assim, assumimos que a empreiteira de perfuração tenha demonstrado uma evidencia nessa proficiencia (veja seção 5.9).
- 9.1. **Posicionamento da Perfuratriz:** A perfuratriz é posicionada como determinado na seção 8, consistente com a profundidade e o caminhamento desejados, do furo. A unidade deve estar segura no local através de ancoramento enterrado no solo, seja por impacto ou por escavação mecanizada e localizado na frente da perfuratriz. Se houver o caso de solos macios ou solos arenosos, uma atenção maior deve ser dada ao escoramento. É importante assegurar que não há redes ou outros sistemas (ligações domiciliares, espargidores de irrigação etc.) que possam ser atingidos pelas ancoras da perfuratriz à medida em que são cravadas no solo.
- 9.2. **Furo Piloto:** A figura 1 mostra a operação inicial de furo piloto, incluindo a montagem da coluna de hastes e da cabeça de perfuração. O tamanho e tipo da cabeça de perfuração deve ser apropriada às condições existentes e conhecidas do solo, com a capacidade de penetrar e direcionar. Dependendo do equipamento de Mini HDD, a penetração é auxiliada com a utilização de fluido de perfuração com alta pressão e baixo volume além do corte mecânico. A seção 3.3, a 8.2 e o Apêndice A discutem as limitações de curvatura das hastes e suas implicações no método Mini HDD. Impor uma mudança de direção corresponde a impor uma flexão às hastes que podem encurtar sua vida útil pela acumulação de fadiga à medida em que a coluna gira numa configuração curvada. Em complemento, de forma a reduzir ou minimizar as cargas laterais na frente da perfuratriz e assim, evitar dificuldades potenciais na inserção de hastes adicionais, o direcionamento não deve ser tentado ou iniciado antes que uma haste inteira (por exemplo de 3 m) tenha sido inserida reta (girando) no solo. O manuseio e os cuidados com as hastes são importantes para se evitar danos durante a inserção ou remoção delas da coluna, e deve seguir as orientações dos fabricantes. Em geral, as roscas devem ser engraxadas quanto rosqueadas na coluna de perfuração. Um torque indevido durante a conexão pode resultar numa rosca solta e possivelmente se desconectar da coluna de hastes.
- 9.3. **Utilização do Fluido de Perfuração:** Os fluidos de perfuração são utilizados para remover os cortados e auxiliara no suporte e estabilização do furo, bem como, prover um auxílio durante a escavação do furo ou do seu alargamento. Os fluidos também proveem lubrificação durante as varias fases da perfuração (furo piloto, alargamento e puxada) de forma a reduzir o torque requerido e o empuxo ou ainda cargas de tração no pull back, impostos à perfuratriz. A redução do atrito é um fator importante para a redução das forças e tensões aplicadas à tubulação (Apêndice C). O fluido de perfuração também resfria a cabeça de perfuração para reduzir os danos aos cortadores e/ou falhas nos transmissores internos. O volume de fluido requerido depende do tamanho do furo e especialmente das sequencias de alargamento (seção 9.6) e o que ainda se espera na penetração do solo. Se há utilização de motores de fundo, quando por exemplo se tem condições rochosas, os volumes requeridos do fluido de perfuração serão muito maiores, o que exige que a equipe de operação tenha um perfeito conhecimento do uso dos fluidos de perfuração, apropriados para os vários tipos de solos.



Profundidade em pés

Figura 23 Limites recomendados de Pressão Total do Fluido de Perfuração

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc.)

9.3.1. Pressão do Fluido de Perfuração: Um possível problema em operações de HDD é o aparecimento do fluido de perfuração na superfície, ou possivelmente ainda levantando a mesma, algumas vezes, resultantes do excesso de pressão dos fluidos de perfuração. Esse excesso também contribui para o colapso prematura da tubulação (Apêndice B). A Figura 23 deve servir como um guia para o limite máximo de pressão total a ser mantida dentro do furo, incluindo aquela correspondente ao peso do fluido ou lama e o incremento de pressão aplicado à cabeça de perfuração ou alargador (seção B.3.4). Informações e recomendações adicionais podem ser obtidas em outras fontes da indústria. Há equipamentos disponíveis no mercado para monitorar a pressão de fluido de perfuração e assim, ajudar a evitar problemas.

9.3.2. Surgimento de fluido inadvertidamente na superfície: Devido à combinação de pressão e fissuras no solo, é possível que o fluido de perfuração percole pela camada e surja em algum ponto intermediário do traçado do furo, na superfície. Nestes casos, o material deve ser contido e removido imediatamente²⁰. Para se evitar um vazamento descontrolado em áreas sensíveis podem ser feitos furos ao longo do caminhamento que servem com alívio para a pressão do fluido de perfuração. Esses procedimentos devem ser avaliados e adequados com as áreas pavimentadas incluindo os acessos às edificações. Qualquer excesso de fluido deve ser removido e a área limpa logo após o encerramento da instalação da tubulação, e esses furos de alívio reaterrados. Veja a seção 9.10 para informações adicionais.

9.3.2.1. Situações de alto risco: Cuidados adicionais devem ser tomados em situação com retornos inadvertidos de fluidos com alto risco:

- Rochas Fraturadas (Caminhos pré existentes, ou ainda presença de juntas)
- Solos pedregulhosos de granulometria grossa (Matacos, Pedregulhos)
- Diferença considerável de elevação entre os pontos de entrada e saída
- Áreas onde a cobertura vertical sobre a tubulação é insuficiente
- Ocorrências artificiais (por exemplo buracos ou furos exploratórios)

9.4. Monitorando o avanço e mudando de direção

²⁰ NT: Precedido do desligamento imediato do bombeamento do fluido.

9.4.1. Comunicações: Durante a operação de perfuração do furo piloto, as primeiras responsabilidades cabem ao operador da perfuratriz e ao localizador, este tipicamente utilizando o sistema walk over (caminhando sobre a coluna de hastes) como indicado na figura 1. O localizador passa informações ao operador de como está indo o avanço da perfuração de forma a se necessário prover correções no traçado planejado, sempre o mais próximo possível dele. Para perfuratrizes cujos sistemas possuem um controle remoto para transmissão das informações no painel do operador, muitas destas funções são cumpridas automaticamente, mas, as comunicações ainda assim, são necessárias para a coordenação das operações e para evitar situações perigosas. As comunicações por rádio devem ser utilizadas para distâncias onde a comunicação por voz fica restrita ou inconveniente (por exemplo 15 m) ou quando está fora de vista. Se as comunicações são perdidas a perfuração deve ser parada imediatamente e só retornada quando reestabelecida (Nos EEUU IEEE Standard 1333)

9.4.2. Interferências nas comunicações: Na medida do possível, fontes potenciais de interferência no sistema de direcionamento devem ser identificadas e eliminadas. Por exemplo, sinais eletrônicos previamente aplicados às redes existentes, cabos de localização para facilitar a identificação (seção 6.2) devem ser removidos antes do início das operações de perfuração direcional. É também possível que haja alguma linha tal qual uma dielétrica (não metálica), cabo de fibra ótica que esteja utilizando um cabo localizador e que continuamente está carregada para ser facilmente localizada. Se há a suspeita da existência e ainda a mesma banda de frequência estiver sendo utilizada pelo equipamento de localização Mini HDD, o proprietário dessa rede ou fonte deve ser contatado para remover temporariamente o sinal.

9.4.3. Intervalo de Localização: O plano do furo e do caminhamento deve estar marcado visualmente a cada ponto de locação. De forma a que seja seguido precisamente o caminhamento projetado a conferência da cabeça de perfuração deveria ser feita a cada haste adicionada à coluna. Determinações mais frequentes (por exemplo a cada meia haste) são recomendadas quando há curvas ou correções a serem feitas e na proximidade de outras redes. Como a localização exata da cabeça de perfuração pode variar logo após a penetração no solo, será benéfico girar a coluna no local (sem empuxo mas com fluxo do fluido de perfuração) antes de fazer a captação da leitura.

9.4.4. Direcionamento: Em áreas onde possa haver matacos e outros obstáculos que possam desviar a cabeça de perfuração da rota as medidas devem ser tomadas sempre que houver essa suspeita. Tais incidentes podem levar a grandes variações da rota prevista, avançando eventualmente sobre redes existentes, o que requer imediata correção. Se não for aceita a variação é possível retroceder a coluna de hastes e tentar buscar o caminhamento pretendido.

9.5. Registros

9.5.1. Posição do Furo Piloto: A figura 24 mostra um desenho “as built” (como construído) de um furo baseado nas informações do localizador, correspondente ao traçado original da figura 22. Os desvios de caminhamento entre o projeto e o executado tanto com variações horizontais como verticais devem ser informados. Essas informações, e/ou desenhos e informações suplementares devem ser usadas para prover o registro da instalação e ser submetido ao proprietário da rede; veja na seção 10.4. Os desenhos devem fazer referência das estruturas e

dispositivos permanentes, como guais e sarjetas, e preferivelmente indicando a relação com as redes existentes, especialmente quando há cruzamentos perpendiculares com essas linhas. Obstáculos não visíveis e encontrados durante o processo de perfuração também devem ser indicados, seja nos softwares se estiverem sendo utilizados para facilitar a preparação dos desenhos.

9.5.2. **Outras informações** – Figura 24 também inclui as informações relacionadas com a operação de perfuração em execução, tais como os comandos de direcionamento (orientação da cabeça de perfuração). Informações adicionais relacionadas com o alargamento, e perfuração, tais como tipo e tamanho (diâmetros) da cabeça de perfuração, alargadores e/ou compactadores, podem auxiliar em operações subsequentes na área de instalação (veja a seção 4.4.3). Em geral um diário de obra, deve ser mantido pelo empreiteiro de forma a oferecer registros da operação, incluindo as mencionadas aqui.

9.5.3. **Posição da Tubulação:** O registro do caminhamento está baseado na informação de localização obtido durante o furo piloto e assume que o alargador, seguirá muito proximamente esse caminho piloto. Na prática, todavia, não é incomum que o alargador desvie algum tanto do caminho do furo piloto devido a vários efeitos, incluindo a tendência dos alargadores e cortadores de serem puxados em direção às curvas²¹. Muito embora elas possa ser significantes quando se está próximo de outras redes, geralmente não é levado em conta como um item preocupantes, mais ou menos como a tendência da tubulação flutuar em direção à geratriz superior ou inferior, em relação à linha central do furo principalmente em função do alargamento o que diferencia os dois diâmetros (o do furo e o da tubulação).

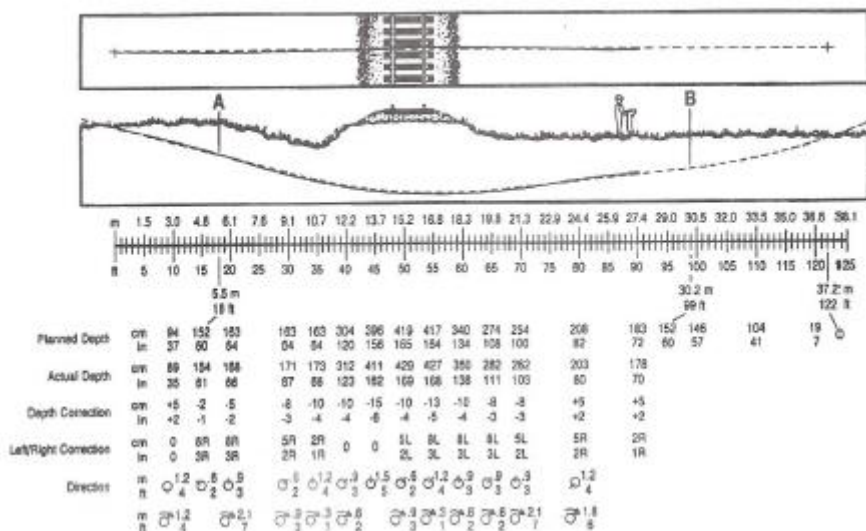


Figura 24 “As built” de um furo piloto.

(Fonte: Ditch Witch)

9.6. Alargamento

9.6.1. **Diâmetro de Alargamento Final do Furo:** A menos de uma tubulação de diâmetro muito pequen $> 1'' < 1.1/2''$, um tipo de duto para cabos de redes (GR 356 US), a

²¹ NT, a coluna de hastes gira no sentido horário, há uma tendência natural de que ela tente sempre desviar nessa direção.

maioria das instalações por Mini HDD, requerem a expansão do furo piloto inicial, como ilustrado na figura 2. O tamanho no aumento é necessário para acomodar a tubulação que é maior incluindo o ferramental, bem como também facilitar a remoção dos cortados evitando um aumento excessivo das forças de pull back. Um furo final deve ser no mínimo 50% maior que o diâmetro externo da tubulação que estiver sendo instalada, ou ainda um conjunto de tubos puxados conjuntamente, e cuja somatoria dos diâmetros inscritos num círculo gerem essa medida de 50% maior. Uma operação de alargamento com a puxada da tubulação requer tipicamente mais tempo, mas carga da perfuratriz e mais volume de fluido de perfuração do que o furo piloto em vista dessa medida de alargamento. As condições do solo vão definir o tamanho do alargador.]

9.6.2. Pré-Alargamento: Em alguns casos, a operação do Mini HDD requer mais de dois estágios conforme ilustrado nas figuras 1 e 2. Uma operação simultânea de alargamento e puxada é adequada para tubulações com diâmetro nominal de 4" sem alargador. Para tubulações de diâmetros maiores, recomenda-se que se crie o furo final em estágios. Muito embora sejam operações que consomem tempo, exigem mais torque e empuxo das perfuratrizes de Mini HDD, elas reduzem as chances de percolação de fluido, criação de cavernas ou vazios devido à pressão do fluido de perfuração, além de provocar recalques ou vazamentos na superfície. O diâmetro normalmente é expandido na razão de 6" (150 mm) em cada passe do alargamento, o que favorece a manutenção do traçado original do furo piloto e do passe anterior. Para isso você precisa ter hastes disponíveis no lado oposto (pipe side) da perfuratriz conectado na parte traseira do alargador e puxadas para dentro do furo conjuntamente. Devido ao risco de perigo potencial de se atingir uma rede elétrica no alargamento, é importante que essa identificação seja averiguada conforme a seção 5.5.2 para evitar um contato e curto circuito na saída do furo e onde as hastes estão sendo aderidas, assim, como a própria perfuratriz.

9.7. Montagem da tubulação na coluna

9.7.1. Montagem: A maior vantagem da tubulação de polietileno é seu fornecimento em extensões contínuas ou ainda em carretéis, ou bobinas, para uma variedade de diâmetros (possível em até 6" ou maior). Para o PEAD não disponível nessas opções, são fornecidas barras de comprimentos discretos que facilmente pode ser soldadas (fundidas) no campo, sem que haja uma perda apreciável da sua capacidade de resistência à tração quando nas operações de puxada (ASTM 2657). No último caso, a tubulação deve ser montada antes da operação de puxada para manter a continuidade do processo de instalação e evitar demoras desnecessárias. Interrupções significantes durante a puxada podem ampliar o arrasto e com isso exigindo maior força de puxada, inclusive correndo-se o risco de haver uma perda da integridade da estrutura do furo e até podendo ocorrer colapsos impedindo o movimento da coluna posteriormente.

9.7.2. Fixação no dispositivo de montagem: Uma ferramenta apropriada para a fixação deve ser compatível com a carga de tração inerente ao trabalho e condições em que estão sendo feitas a instalação (seção 7.3.1) durante a puxada, inclusive verificando para que não haja entrada de fluido dentro da tubulação. Uma montagem inadequada pode resultar em um deslizamento ou ruptura na conexão. Muito embora, em instalações mais sofisticadas, como são os casos de Máxi HDD onde se admite a entrada de fluido para evitar o efeito da

flutuabilidade, a qual tende a exigir mais força (seção 7), bem como efeitos das pressões externas, as operações com Mini HDD em geral utilizam o fluido mais para lubrificação e instalação dos dutos. Permitir que a lama penetre do interior da tubulação requererá um cuidado na limpeza, ou corre-se o risco possível de uma degradada funcionalidade.

9.7.2.1. **Conexão:** Um método de conexão, apropriado para uma gama de tamanho de tubulação, utiliza uma tela (Mão chinesa) que é presa à superfície da tubulação e à medida em que é aplicada uma tensão a tela se prende mais fortemente à ela. É usada em combinação com um guia inserido na tubulação de modo a evitar o fechamento bem como evitar a entrada de materiais e fluidos (se não colocada essa peça interna, a extremidade da tubulação sem proteção, deve ser capeada). A tela deve inicialmente ser colocada por fora da tubulação até uma certa extensão antes que se aplique a tensão nela, com isso previne-se que ela venha a se soltar quando submetida à tração. Embora seja uma forma interessante de instalação é bom considerar que ela pode não ser totalmente compatível com a tração de segurança da tubulação. Outro tipo de grip ou conexão, utiliza um ferramenta rosquada, com o diâmetro apropriado para a tubulação que vem sendo puxada, e também é montada por dentro dela. Há ferramentas com montagem por fora e por dentro. Outra situação, são as conexões para a puxada de um conjunto de tubulações todas juntas, e rebocadas simultaneamente. É montada uma conexão para cada tubulação, e o conjunto é montado numa conexão final para puxada do conjunto, evitando assim que se forme um diâmetro ou conjunto muito grande ou largo.

9.7.3. **Conexão Giratória ou Swivel:** Para se evitar que haja transferencia de forças de torção à tubulação ou tubulações que estão sendo rebocadas devido ao giro da coluna de hastes ou do alargador, uma conexão giratória deve ser montada atrás da última haste e do alargador, ao qual a estão conectadas a linha e as conexões; veja figura 2. A conexão deve ser apropriada para operações de perfuração e compatível com o tipo de solo e de lama. Veja a seção 9.7.4.2 para entender as conexões de proteção às cargas de tração, onde estas devem ser tais que sejam suficientes para instalação de um conjunto de tubulação, mas não excessivamente maiores. As ineficiências em devido ao superdimensionamento dessa conexões acabam por impor torques significativamente maiores mesmo em tubulações menores.

9.7.4. **Protetor de Tração (Fuse Link):** A seção 7 mostra a metodologia para seleção da resistência da tubulação (espessura da parede, DR) para as operações de Mini HDD, de forma a garantir com segurança que a tubulação será instalada preservando suas forças de resistência. Não obstante, algumas aplicações seja desejável garantir que a integridade da tubulação não tenha sido comprometida pelas forças de tração. Em geral, o monitoramento das cargas de tração na tubulação são observadas nos manômetros hidráulicos do paonêl da perfuratriz, os quais refletem as tensões impostas à tubulação e mostrar se as mesmas não estão sendo apropriadas. Deve-se destacar que essas cargas não necessariamente estão sendo transferidas à tubulação, e incluem as forças de pull back necessárias para alargar ou compactar o furo ou puxar a coluna através do caminhamento construído. Uma alternativa é a montagem de um dispositivo entre a conexão principal assegurando assim que a tensão admissível não seja excedida. A razão

dessa tensão deve ser compatível (por exemplo: um tanto menor) com a resistência à força de tração da tubulação. No evento de um excesso, o fuse link arrebenta evitando assim a transferência de uma tração que poderia atingir a integridade da tubulação. O motivo que causou o rompimento do fuse link deve ser determinado e a força de tração verificada e no caso da instalação vir a se repetir (seção 7). Se necessário construa um novo furo.

9.7.4.1. **Puxada de múltiplas tubulações juntas:** Quando instalando um pacote de tubulações, a força de tração não deve ser igualmente distribuída ou proporcionalmente distribuída entre cada uma das tubulações puxadas no conjunto, e assim, uma delas ou mais, pode passar por uma força de tração maior. Recomenda-se o uso de um fuse link em cada tubulação ao invés de um único cuja carga seja rateada em relação a todas as tubulações.

9.7.4.2. **Conexão:** Quando puxando uma única tubulação um conexão estiver sendo utilizada para fazer o papel do fuse link e não for especificamente projetada para um contado direto com os solos, o uso desse dispositivo não reduz a necessidade do recurso demonstrado na seção 9.7.3. Quando puxando várias tubos juntos e for utilizado um fuse link por tubo (seção 9.7.4.1) é necessário uma conexão giratória (swivel) entre o alargador, para evitar a torção do conjunto.

9.8. **Manuseio da tubulação:** Os procedimentos a seguir devem ser seguidos para o manuseio e instalação da tubulação durante a operação de Mini HDD

- Evite deixar a tubulação sobre a superfície pois isto causa abrasão durante o pull back ou puxada
- Minimize a tensão trazeira na tubulação, para prevenir um aumento dos efeitos sobre o terminal de puxada.
- Evite a puxada com grandes curvaturas para evitar o colapso da tubulação (por torção; veja os comentários abaixo)
- Calcule o comprimento da tubulação com um acréscimo de 3% a 4%, para prevenir que na saída, tendo havido algum alongamento aconteça um encurtamento quando soltar a tubulação da conexão.

Quando o projeto submete a instalação a curvaturas muito fechadas há uma possibilidade de colapso localizado. Por exemplo, a tubulação é vulnerável, quando ela passa no pit de acesso (figura 11) onde é recomendável que haja um equipamento auxiliar ou uma interface de comunicação da superfície. Em geral a tubulação fica mais vulnerável quando puxada com a existência de curvaturas enquanto está sob tensão. Assim, utilizar algum dispositivo para reduzir esse efeito é desejável, principalmente na saída e diretamente da superfície, mas nada impede de utilizar, com os devidos cuidados, os próprios recursos da perfuratriz e do seu carro de tração. Se necessário adeque esses pontos cortando-os para reduzir a curvatura, exatamente em relação aos cantos do pit de saída.

O cálculo para a recuperação (relaxamento) de um alongamento temporário que tenha acontecido, nas tubulações de polietileno, requer que pelo menos uns 3% a 4% do comprimento deva ser puxado para fora. A tubulação não deve ser desconectada ou cortada imediatamente por algumas horas²²

²² NT Calcule o tempo total de puxada que foi utilizado, e use esse tempo como o recomendado para a desconexão da tubulação.

9.9. **Causas potencias de falhas ou problemas:** Operações com HDD devem ser efetuadas por pessoal e empreiteiras especializadas (seção 5.9). Ainda assim, essas operações podem apresentar várias dificuldades incluindo:

- Perda de circulação do fluido (fluxo)
- Obstruções (matacos, entulhos, fundações, etc.)
- Calço hidráulica
- Problemas de alinhamento e greide
- Colapso do furo
- Falha da coluna de hastes ou do ferramental de escavação e alargamento
- Colapso na superfície (recalques)
- Retorno inadvertido de fluido (na superfície, em correios, etc.) veja seção 9.10
- Cruzamento com uma tubulação existente ou danos na mesma
- Falha na tubulação
- Travamento da coluna

Práticas para prevenção desses problemas e planos de contingencia para mitigá-los estão disponíveis no guia da indústria.

9.10. **Como conter um extravazamento de fluido:** Se acontecer um retorno descontrolado de fluido de perfuração, há uma série de providencias que poder ser úteis, dependendo do volume que está vazando, do acesso, da sensibilidade ambiental da área que está sendo contaminada e das áreas adjacentes, do tipo de silo e das condições climáticas. Entre as providencias um represamento com areais, fardos, sacos de areia. Se não forem suficientes, tecnicas adicionais estão disponíveis na indústria.

10. **Termino do trabalho:** Em seguida à puxada da tubulação é necessário confirmar a qualidade da nova instalação bem como prover os devidos registros da atual localização da nova rede. A seção 10 endereça essas práticas e também indica as condições de limpeza do local.

10.1. **Inspecção:** Assume-se que o proprietário da rede tenha sua fiscalização no trecho que está sendo feita a instalação ou que ainda visite frequentemente a area, para averigua o progresso da instalação e se a construção está consistente com as práticas recomendadas, tais como as expostas neste guia. É fundamental que a rede sendo instaladas seja inspecionada antes do reaterro das valas de inspeção existentes. Em particular o caminhamento deve ser inspecionado nos pits de entrada e saída, e nos de inspeção, bem como em quaisquer areas onde outras redes existentes foram expostas, tais como onde há cruzamento perpendiculares com a nova rede. A profundidade de instalação deve ser confirmada nessas locações.

10.2. **Teste da tubulação:** Dependendo da aplicação, a integridade da rede instalada deve ser verificada. Qualquer entulho ou lama que tenha entrada na tubulação deve ser retirada e a tubulação lavada, se necessário. Todos os dispositivos para transporte de fluidos (gás ou líquidos) deve ser checado para identificação de vazamentos, e pressurizado se necessário. Para tubulações onde serão instalados cabos, um mandril ou equivalente deve ser passado (puxado ou soprado) para verificação da passagem desobstruido. Se necessário uma linha deve ser passada por dentro da rede nova, simultaneamente com este processo. Para um projeto que instalou varias tubulações ao mesmo tempo, em conjunto, essa verificação deve ser feita por amostragem para que seja mantido o controle de todo o processo, ou ainda conforme especificado pelo proprietário da rede.

- 10.3. **Limpeza do local:** Uma vez aprovada a instalação pelo proprietário da rede, os pits podem ser reaterrados o quanto antes e o solo compactado, restaurando-se a superfície de forma razoável. Lama superficial e fluidos de perfuração devem ser limpos e levados para aterro adequado (seção 5.8)| Todos os equipamentos, ferramentas e etc. devem ser removidos.
- 10.4. **AS BUILT (Como construído):** Informações mostrando a localização final da tubulação deve ser entregue ao proprietário da rede o qual deve confirmar que todas as informações estão mostradas de forma apropriada (seção 9.5.1). Essa informação deve ser suficiente para a geração de um registro certificado da nova rede. Os desenhos providenciados pela empreiteira de perfuração deve ser usada para verificar se a tubulação foi instalada de forma adequada no caminhamento e profundidade previstos com variações aceitáveis e dentro dos desvios permitidos. De forma ideal, a informação provida deve corresponder a posição atual da tubulação considerando-se o diâmetro final do furo alargado na última operação. Esta posição pode ser diferente do traço do furo piloto (figura 24) devido a possíveis desvios do alargamento durante o aumento do furo, bem como por movimentação da tubulação dentro de um furo que tem diâmetro maior que o externo da mesma. A posição precisa da posição final da tubulação pode ser dispendiosa e eventualmente requerendo o uso de ferramentas inseridas dentro da tubulação. Essa precisão pode eventualmente não ser exigida pelo proprietário da rede. Como uma demonstração mínima todavia, os desvios da tubulação em relação a posição central do furo (figura 22) deve ser providenciada com afastamentos que eventualmente excederam 6" (150 mm) verticalmente, ou 12" (300 mm) horizontalmente. Todavia, como uma checagem geral em relação à qualidade da instalação o proprietário da rede deve considerar verificar a locação e profundidade aproximadas em pontos ao longo do caminhamento, certificando-se com pequenos furos, ou utilizando-se um instrumento de transmissão internas inserido na tubulação em combinação com um receptor na superfície.

APENDICE

A. Curvatura das Hastes e Capacidade de Direcionamento

A.1 Características Típicas

A capacidade de curvatura de uma haste de perfuração deve ser baseada em vários parâmetros, incluindo aqueles descritos na Seção 3.3. Em geral o grau de curvatura admissível ou flambagem vai depender das características do aço da haste incluindo sua resistência à fadiga e do produto, bem como a capacidade das juntas rosqueáveis em relação aos esforços associados à flambagem. Em geral o raio de curvatura admissível ou raio de curvatura de 90° será proporcional ao diâmetro externo da haste.

Considere o seguinte **exemplo**: O fabricante de uma haste de 3 m (10 pés) de comprimento, com diâmetro de 2", especifica um comprimento de curvatura para 90° como 157 pés (aproximadamente 48 m). A equação 1b então indica que o raio de curvatura a ser obtido com o seguinte número de hastes (na verdade com haste de 3 m como é o exemplo):

$$\begin{aligned}\text{Raio de Curvatura (pés)} &= 90^\circ / 1.57 \\ &= 157 / 1.57 \\ &= 100 \text{ pés ou } 30 \text{ m}\end{aligned}$$

Assim, a distância do centro do círculo para o perímetro (100 pés ou 30 m) é consideravelmente menor do que a mínima distância admissível num quadrante de 90° (veja a Figura 3). O desentendimento dessas duas grandezas ou termos, pode levar a fatigar as hastes; por exemplo, se é curvada para criar um caminamento circular de apenas 100 ft num quadrante de 90°. Ou assumindo inversamente que a distância desde o centro do círculo até o perímetro deva ser no mínimo 48 m você estaria deixando de utilizar a capacidade toda de curvatura da haste, e portanto, do direcionamento ou mudança de direção.

Para a mesma haste outra equação pode ser recalculada para quantificar a mudança máxima angular por haste:

$$\begin{aligned}\text{Mudança Angular (grau/haste)} &= 90 \times \text{Comprimento da haste (pés)} / 90^\circ (\text{comprimento de curvatura}) \\ &= 90 \times 10 \text{ pés} / 157 \\ &= 5.7^\circ \text{ por haste}\end{aligned}$$

Um resultado similar pode ser obtido numa equação para um rearranjo:

$$\begin{aligned}\text{Mudança Angular (grau/haste)} &= 57,3 \times \text{Comprimento da haste} / \text{Raio de Curvatura} \\ &= 57,3 \times 10 / 100 \\ &= 5.7^\circ \text{ por haste}\end{aligned}$$

Estes valores definindo a curvatura – ou a capacidade máxima de direcionamento – características da haste utilizada no exemplo 2 pés x 10 pés são representativas da capacidade típica de uma perfuratriz de MINI HDD (veja seção A.2). Essas limitações se aplicam nos planos: horizontal (planta) ou na vertical (perfil) bem como num plano inclinado ou ainda num caminamento tridimensional.

A.2 Significância das dimensões da haste

Como um guia aproximado, hastes mais longas, de mesmo diâmetro e desenho como as consideradas no exemplo acima, serão caracterizadas pelo mesmo raio (mínimo) de curvatura ou comprimento do raio de 90°, mas proporcionalmente maior do que a mudança angular admissível por haste. Alternativamente, hastes de fabricação similares de mesmo comprimento todavia de diâmetros maiores corresponderiam a

um raio de curvatura ou comprimento de raio de 90° proporcionalmente maiores do que os mínimo requeridos.

Assim, considerando um outro exemplo onde assumimos uma has de 15 pés (4,5 m) e um diametro de 2" 7/8 , o raio de curvatura, ou comprimento do raio de 90°, espera-se seja maior do que o que calculamos na Seção A.1, ou haste 2 pés x 10 pés terá um fator 2.875/2.0, ou aproximadamente 1.44, que corresponde a 226 pés ou 144 pés respectivamente. A mudança angular por haste, a qual é inversamente proporcional ao raio de curvatura ou comprimento de raio de 90°, seria reduzida por um fator 1.44, mas aumentada por um fator de 15 pés/10pés ou 1.5 para que se tenha um comprimento maior, que resulta em:

$$\begin{aligned}\text{Mudança Angular (grau/haste)} &= 5.7^\circ/\text{haste} \times 1.5/1.44 \\ &= 5.9^\circ \text{ por haste}\end{aligned}$$

Na prática, os limites acabam sendo um pouco diferentes devido à detalhes de projeto, incluindo a capacidade das juntas rosqueadas.

Também se percebe que os limites como descritos acima, são mais liberais do que os cálculos práticos (ASTM F 1962) onde se prega que o raio de curvatura (em pés) para hastes de aço ou tubos de aço não deve ser menos do que 100 vezes o diâmetro em polegadas, correspondendo a 200 pés (60 m) no exemplo da haste de 2" do exemplo 1. Esta definição é muito mais restritiva do que o raio de curvatura de 100 pés (30 m) admitido pelos fabricantes de hastes.

B. Profundidade Máxima Admissível (Colapso da tubulação/Flambagem) Desenvolvimento Teorico

A metodologia a seguir, para aplicação nas instalações de MINI HDD, são baseadas em cima de técnicas similares às que se utiliza para seleção de tubulações de Polietileno – Quia Simplificado para Seleção de Tubulações de Polietileno para MINI HDD (ou MID HDD, elaborado por SLAVIN (12) as quais são derivadas dos procedimentos providos pela ASTM 1962.

B1. *Pressão Externa Líquida* – ASTM F 1962 oferece a seguinte equação básica para determinar a pressão crítica de flambagem P_{cr} :

$$P_{cr} = 2 \cdot E \times f_o \times f_R / [(1-\mu^2) \times (DR-1)^3]$$

Onde E é o modulo de elasticidade do material, μ é coeficiente de Poisson, f_o é o fator de compensação de ovalização (redução) e f_R o fator de redução na força de tração. O coeficiente de Poisson é assumido como sendo 0.45 (1) enquanto o Módulo E efetivo para a viscoelasticidade do tubo de PEAD depende do tempo de aplicação da carga. O fator f_o a perda de geometria inicial ou subsequente devido às cargas impostas à tubulação (flutuação, flambagem longitudinal, possível pressão do solo, etc.) e f_R reconhece uma redução potencial na tensão de colapso na presença de cargas de tração significantes, que podem ocorrer durante a fase de instalação pelo método MINI HDD.

B2 Pressão hidráulica ideal admissível – A pressão crítica P_{er} como dado acima deve ser expressa em termos de uma pressão hidrostática equivalente (coluna d'água em pés) para condições ideais nas quais o fator de redução de ovalização f_o e o fator de redução das tensões f_R é assumido com sendo igual a 10 e numa temperatura nominal de 73° F. Desde que (efetivo) a dureza do material, E, é dependente do tempo de duração da carga a que ele é submetido, assim, a pressão crítica também é dependente dessa duração. A tabela B1 é baseada em cima das característica do PEAD (PE3608) cujas características podem ser encontradas no GUIA DAS TUBULAÇÕES DE PEAD (1) e são aplicáveis a quaisquer diâmetros de tubulações. Para a tubulação de PEAD média (MDPE) os valores tabulados deve ser ajustados com um fator 0.80 e, para os materiais PE4710 deve ser aumentados com um fator 1.05. As profundidades assumidas são para a **tubulação vazia** na ausencia de fluidos internamente ou pressão as quais favoreceriam os efeitos da pressão externa, como discutido abaixo. Muito embora algumas instalações com HDD, tais como as mais

complexas que utilizam o MAXI HDD, onde deliberadamente já se admite encher a tubulação com água ou fluido de perfuração, como discutido abaixo, não são normalmente aplicadas no MINI HDD. Dependendo da aplicação, todavia, os efeitos benéficos podem ser aplicados nas últimas fases da instalação, e devem ser refletidas nas considerações do projeto em relação ao longo termo discutido com o proprietário da rede.

Duration	Pipe Diameter to Thickness Ratio (DR)						
	7.3	9	11	13.5	15.5	17	21
“Short Term”	2,896	1,414	724	371	238	177	91
1 hr	1,714	837	429	219	141	105	54
10 hrs	1,436	702	359	184	118	88	45
100 hrs	1,205	588	301	154	99	74	38
1,000 hrs	1,019	498	255	131	84	62	32
1 yr	880	430	220	113	72	54	28
50 yrs	649	317	162	83	53	40	20

Tabel B.1 Pressão hidrostática (Coluna d'água, pés) para tubulações de PEAD do padrão PE 3608 a 73°F e livre

B.3 Profundidades ajustadas admissíveis – Desde que os fluidos de perfuração são de grande significancia em termos de densidade quando comparados à água, os valores de pressão da coluna (pés) mostrados na tabela B.1, devem ser reduzidos por um fator igual ao do peso específico do fluido de perfuração relativamente à água. Assume-se de forma conservadora um peso específico de 1.5 para os fluidos de perfuração. Os valores devem ser ajustados (reduzidos) quando utilizados para uma temperatura inicial elevada, bem como, os supracitados valores de ovalização e cargas. Além disso, o efeito para a pressão hidrocinetica local do fluido de perfuração durante a operação de pullback, em adição à pressão hidrostática (coluna) devem ser consideradas (ASTM 1962). Como as profundidades da tabela B.1 são baseadas num diferencial de pressão, a adição de água na tubulação durante a instalação (e na fase pré operacional) terão um impacto dramático, correspondendo a valores triplicados em relação às profundidades admissíveis. Muito embora tais práticas não sejam típicas das instalações feitas por MINI HDD, elas são vantajosamente aplicadas para casos especiais (veja a Seção 3.5.1) incluindo sim, algumas instalações por MINI HDD.

B.3.1 Colapso – Há duas fases consideradas como possíveis colapsos da tubulação, associadas ao processo de instalação. Durante essa fase, pode-se considerar uma hora (1h) como o período de duração no qual a tubulação está submetida a tensões ou esforços e seria apropriado também se calcular uma combinação com os valores antecipados de f_0 e f_R durante esse período, bem como as pressões hidrocinéticas referentes ao fluido de perfuração. Para a fase pós instalação (mas reconhecida também como pré-operacional) é conveniente considerar que pelo espaço de tempo de 1000 h a tensão de colapso referente ao fluido de perfuração ainda exercerá essa força ²³ hidrostática sobre a tubulação após o que se supõe que o fluido se solidificará e proverá suporte lateral suficiente para ela (22.23). Para esta fase pós-instalação o fator de redução de tensões, f_R é igual a 1.0, e na ausencia de uma carga significativa e sem

²³ Nota do tradutor: O fluido de pressão aqui considerado é aquele que envolve a tubulação durante a puxada e que permanece dentro do furo após a instalação.

incremento da pressão hidrocínética. A possibilidade de temperaturas elevadas do material devido as condições na superfície pré-instalação é ignorada, assumindo que as temperaturas no subsolo acabam equilibrando-as durante o processo.

B.3.2 Fator de ovalização – Baseados assim, no fator de ovalização provida pela norma ASTM F 1962 e também pela abordagem simplificada aqui exposta, é razoável assumir que o valor máximo de f_o de 0,65 deva ser suficiente para se avaliar a deformação anelar devido a ovalização inicial mais a flambagem longitudinal, que são induzidas durante a instalação (por exemplo: flutuabilidade) agravadas também pela tensão induzidas na pressão de rolagem que pode ocorrer entre a parede do tunel e a tubulação, ou até devido em certo grau a cargas induzidas produzidas pelo solo. Isso corresponde a uma ovalização de aproximadamente 5%, um limite de deflexão razoável (1)

B.3.3. Fator de redução de tensões – A norma ASTM F 1962 oferece um fator para essa redução de tensões, o fator f_R como uma função da média das tensões na seção transversal da tubulação. Para os níveis de limites de esforços (estresses) para a carga segura de tração (pullback) constante da Tabela 2, onde você usa, f_R é igual a 0.65 (13). Todavia, as cargas de tensão que são significativamente menores do que as de trabalho, como na prática pode ser observado, f_R estará próximo de 1.0. A probabilidade de se ter uma tensão igual ao valor predito (por exemplo igual a tensão segura de puxada), baseada numa instalação com uma extensão máxima recomendada combinada simultaneamente com uma profundidade máxima recomendada também, deve ser entendida como baixa.

B.3.4 Pressão hidrocínética – A norma ASTM F 1962 assume que o incremento de pressão hidrocínética incrementada na cabeça de perfuração ou no alargador não deve ser maior do que 10 psi (equivalente a 23 pés de coluna de água). Todavia, o valor real deve estar limitado a aquele que evitaria uma alteração na superfície (lomba) ou até um vazamento de fluido devido à pressão total, incluindo aquele referente à pressão hidrostática. Em geral, quanto menor a densidade do fluido de perfuração (também chamada de lama), maior é a a pressão hidrocínética aplicada por ele. Assim, muito embora o peso específico de 1,5 é conservadoramente assumido para o fluido de perfuração, venha sendo adotado neste guia de melhores práticas, na prática se recomenda observar e aplicar valores menores (3). A FIGURA 23 mostra a pressão total recomendada baseada numa premissa simplificada onde a pressão devida ao fluido de perfuração deve ser alta tal que não ultrapasse a resistência do aterro ou cobertura sobre a tubulação (OPSS 450) onde a densidade assumida é de 110 lbs/ft³, mas nunca maior que 10 psi acima do valor da pressão hidrostática correspondente ao fluido de perfuração. Pressões que ultrapassem esses valores devem contribuir para o colapso prematuro da tubulação.

B.3.5 Profundidade Máxima Admissível –As tensões em ambos, os tempos, 1 h de instalação, e 1000 h de pós-instalação devem ser consideradas para as cargas aplicadas, como descrito acima. Baseados assim, nas discussões acima, e considerando os vários fatores e sua aplicabilidade, as condições de 1000 h da instalação são entendidas como as mais restritivas. Assim, esses valores, bem como as reduções devidas à densidade do fluido de perfuração (1.5), o fator de ovalização (0,65) mais um fator de segurança de 2 para 1 por conta dos desvios ocorridos das discussões anteriores, indicam as profundidades máximas baseado no tempo de curto prazo (instalação e pré-operação) nas considerações expostas. Esses fatores todos correspondem **redução líquida de 4.6** para os valores indicados na Tabela B.1, e resultando em profundidades admissíveis de 200 pés (60 m) para o SDR 7.3 e 2.1 m (7 pés) para SDR 21. Com exceção do último que requer precauções especiais, tais como o uso de lastro de água (Seção B.3), essencialmente todas as tubulações de PEAD são suficientemente robustas para aplicações de MINI HDD, para aplicações até 4,5 m de profundidade. A margem adicional que se obtém com o fator de segurança ajuda a enfrentar o período mais extenso de solidificação do fluido de perfuração até que ele ofereça um suporte lateral à tubulação (Seção B.3.1).

B.3.5.1 Casos Especiais – São aqueles nos quais as abordagens acima podem vir a serem consideradas como “não suficientemente conservadoras”, e que seja desejável utilizar um fator de segurança maior ou um tempo maior de submissão à resistência ao colapso. Tais situações devem incluir aplicações não pressurizadas ou pressurizadas (água e gás) para as quais a tubulação poderá não atender operacionalmente um período estendido e ainda abaixo do nível

freatico (lençol d'água – 13). A profundidade máxima então deve ser reduzida. Alternativamente, a prática de encher a tubulação com água e mantê-la cheia durante o processo de instalação até que ela entre em carga operacional, pode e deve ser considerada.

C. Predição da Tensão de Tração – Desenvolvimento Teórico

A metodologia agora explicada, para aplicações de MINI HDD é baseada nas técnicas anunciadas no Manual de Aplicações de Tubulações de POLIETILENO para MINI HDD (ou MIDI HDD) – 12, as quais são derivadas dos procedimentos indicados na norma ASTM F 1962.

C.1 Geometria do MAXI HDD – A Figura C.1 ilustra uma geometria típica para uma instalação em MAXI HDD, correspondendo a um cruzamento de rio, consistente com a norma ASTM F 1962. O traçado total, inclui os tres segmentos abrangendo a entrada da tubulação (Pipe Entry) até o ponto de saída (L₂, L₃ e L₄). Um comprimento adicional em excesso (L₁) deve ser adicionado para corresponder ao comprimento total informado mais um excesso para o tie in. Assim, o comprimento total é dado pela somatória de L₁+L₂+L₃+L₄.

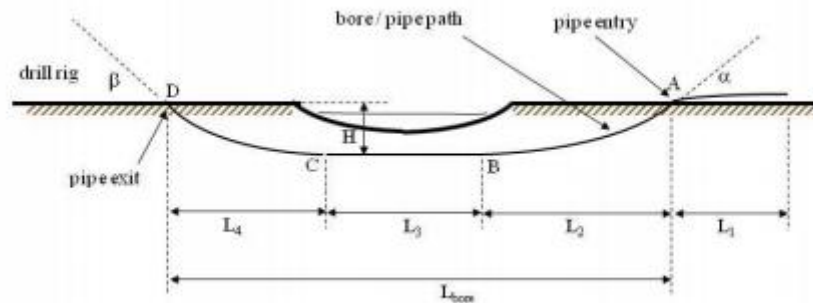


Figura C.1 Caminhamento Nominal de um MAXI HDD (Cruzamento de Rio)

(Fonte: Outside Plant Consulting Services, Inc)

C.2 Equações da Carga de Puxada – Usando a terminologia da norma ASTM F 1962, ela oferece um serie de equações para estimar a força de puxada necessaria para que a tubulação atravesse o caminhamento ou rota. Assim, T_A, T_B, T_C e T_D correspondem às forças de puxada (tração) desde a ponta da tubulação nos pontos A, B e C da Figura C.1:

$$T_A = e^{v_a \alpha} \cdot v_a \cdot w_a \cdot (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) \quad (C-1a)$$

$$T_B = e^{v_b \alpha} \cdot (T_A + v_b \cdot |w_b| \cdot L_2 + w_b \cdot H - v_a \cdot w_a \cdot L_2 \cdot e^{v_a \alpha}) \quad (C-1b)$$

$$T_C = T_B + v_b \cdot |w_b| \cdot L_3 - e^{v_b \alpha} \cdot (v_a \cdot w_a \cdot L_3 \cdot e^{v_a \alpha}) \quad (C-1c)$$

$$T_D = e^{v_b \beta} \cdot (T_C + v_b \cdot |w_b| \cdot L_4 - w_b \cdot H - e^{v_b \alpha} \cdot [v_a \cdot w_a \cdot L_4 \cdot e^{v_a \alpha}]) \quad (C-1d)$$

Onde w_a e w_b correspondem ao peso da tubulação vazio e fora do furo (na superfície) respectivamente, e v_a e v_b são os correspondentes coeficientes de atrito; os ângulos α e β são expresso em radianos²⁴. Para instalações com HDD para as quais as forças de flutuação são dominantes, por exemplo, na falta de uma técnica ante-flutuante, tal como o enchimento da tubulação com água ou fluido de perfuração para servir de lastro, a tensão pico requerida tenderá a ocorrer na direção da extremidade da instalação. Assim,

²⁴ O Ângulo em Radianos é igual ao ângulo em graus x (π/180). Para ângulos relativamente pequenos, como são comuns na entrada e saída do HDD, o ângulo em radianos é aproximadamente igual ao percentual do grade dividido por 100.

como descrito abaixo, para os presentes propósitos, uma estimativa de T_D é suficiente para determinar a resistência apropriada da tubulação.

C.2.1 Equação do Atrito segundo COULOMB – Equações do grupo C-1 são baseadas nos conceitos convencionais segundo Coulomb. Nesse modelo matemático, as forças de arrasto na tubulação são proporcionais ao ponto da pressão de rolamento aplicada na superfície dela, sendo a constante de proporcionalidade definida com “coeficiente de atrito”. As pressões de rolamento são devidas à combinação de diversos efeitos incluindo o peso morto da tubulação quando vazia e apoiada sobre o solo, ou as forças de flutuabilidade quando parte da tubulação está imersa no fluido (geralmente reduzida por medidas anti-flutuação), ou ainda as forças de flambagem associadas com o esforço sobre a tubulação contra a superfície de uma curvatura a qual ela está sendo submetida. Para o caso das tubulações de polietileno (PE), devido a sua flexibilidade quando comparada com a das hastes de perfuração, que geraram o furo piloto com curvas executadas gradualmente, normalmente essas forças sobre a tubulação não são significantes.

C.2.2. Efeito Capstan – Há, todavia, uma outra fonte de pressão de rolamento atuando sobre as curvaturas e que são independentes da dureza da tubulação, ou peso, ou forças de flutuabilidade, e são devido as tensões no local que tendem a empurrá-la contra a superfície curvada do furo piloto. O fenômeno é conhecido como “efeito capstan” (por exemplo, o princípio operacional do guincho capstan) e que correspondem à base dos termos exponenciais das equações C-1. Tais efeitos são independentes da direção da curvatura, ou do raio de curvatura e da acumulação exponencialmente ocorrida ao longo do trajeto. O efeito Capstan resulta num fator de amplificação local a cada discreta curva de ângulo finito, ou, numa curva gradual, ou seja, uma amplificação cujo efeito é distribuído ao longo do traçado, cuja magnitude é dependente do total acumulativo dos ângulos perpendiculares. Para uma tubulação perfeitamente flexível e leve temos:

$$F_2 = F_1 \times e^{v\theta} \quad \text{C-2}$$

Onde F_1 representa a tensão axial no ponto de entrada da tubulação com uma curvatura de magnitude θ (em radianos) e v é o coeficiente de atrito no local entre a tubulação e a superfície da parede do furo, e F_2 a tensão axial exigida no ponto da curvatura de entrada. Na prática, o efeito do peso atual ou da possível rigidez da tubulação, é refletida na tensão F_1 . Dado o fato do crescimento da tensão exponencial composta, pequenas curvas no traçado ou a curvatura gradual acumulada, deve acabar representando uma força dominante de arrasto, essencialmente controlando as distâncias práticas de lançamento.

C.3. *Simplificação para o MINI HDD* – As equações C-1 e os procedimentos da ASTM F 1962 em geral, tiveram seu desenvolvimento originalmente feito pelo uso de engenheiros muito experientes ou conhecedores das aplicações em projetos de MAXI HDD. Por outro lado, aplicações problemáticas potencialmente em instalações MINI HDD, podem acontecer, muito embora que na prática não sejam comuns à maioria dos projetos. Assim, as equações de redução podem ter sua calculação relativamente simplificada, embora possa se ter uma perda da precisão.

C.3.1 *Premissas Simplificadas* – As equações do grupo C-1 devem ser simplificadas para o caso que estas diretrizes avaliam, por exemplo, numa instalação típica de MINI HDD, baseada nas seguintes premissas:

- Nenhuma técnica de anti-flutuabilidade é empregada
- Coeficientes de atrito v_a e v_b iguais a 0.5 e 0.3 respectivamente;
- Ângulo de entrada α e β iguais a 20°;
- Profundidade de cruzamento, H , pequena quando comparada com o comprimento total L_{bore}
- Pico da força de tração ou puxada, T_D , ocorre no extremo da instalação

Estas premissas são razoáveis e/ou conservadoras e o resultado da simplificação da equação C-1d:

$$T_D \approx L_{bore} \times W_b \times (1/3) \quad \text{C-3}$$

Muito embora seja possível, sob determinadas e apropriadas condições, instalação, onde a força de puxada deve atingir seu maior valor no ponto D, baseada assim nas premissas que predizem a tensão no ponto D como sendo a máxima, ou razoavelmente próximo em magnitude a uma ocorrência do um valor máximo ocorrendo, mas predito.

C.3.2 Curvas adicionais ao traçado As equações C-1 e C-2 aportam o efeito Capstan devido à curvaturas deliberadamente provocadas como ilustrado na figura C-1, para uma instalação muito bem controlado de MAXI HDD. Todavia, em se tratando de uma instalação MINI HDD a tendência de ocorrência de uma curva adicional é possível devido as desvios planejados da rota para desviar de obstáculos identificados, bem como fazer correções na rota por desvios fora do controle, dependendo principalmente da habilidade do operador da perfuratriz e das condições do solo. O valor acima estimado para T_D da equação C-3 deve assim ser modificada para que assuma o acréscimo correspondente da força de pullback requerida para vencer o esforço. Esses efeitos devem ser conservadoramente incluídos na análise através da aplicação do termo exponencial da equação C-2 para a equação C-3 tal como:

$$T_D^1 = T_V \times e^{v_b \Theta} \quad \text{C-4}$$

Onde T_D^1 representa a tensão líquida final e o ângulo Θ é igual à rota da curvatura total. O ângulo Θ é convenientemente expresso com um número equivalente a uma curva de 90° na rota n, ou fração, daí, onde cada curva de 90° é igual a $(\pi/2)$ em radianos, assim teremos que:

$$\Theta = n \times (\pi/2) \quad \text{C-5}$$

Usando-se o valor previamente assumido de $V_b = 0.3$ e combinando-se as equações C-3, C4 e C-5 resulta em:

$$T_D^1 \text{ resulta aproximadamente } [L_{\text{bore}} \times W_b \times (1/3)] \times (1.6)^n \quad \text{C-6}$$

o qual corresponde a Equação 2 da Seção 7.3.2)

C.3.2.1 Número Efetivo de Curvas – O número total de curvas efetivas de 90° cada é então expressa como:

$$n = n_1 + n_2$$

onde n_1 é o número de curvas de 90° deliberada ou planejadamente executadas e n_2 corresponde ao total acumulado efetivo do número de curvas de 90° devido à ondulações não planejadas. Veja a seção 7.3.2 e a figura 6 para uma descrição mais detalhada da interpretação e determinação do número de curvas no traçado.

C3.2.2 Curvaturas não Planejadas – Deve-se atentar para o fato de que o número efetivo de curvas de 90° devido a ondulações não planejadas n_2 , é difícil de se prever desde que isto vai ocorrer devido as condições do solo e a perícia da equipe, ... A curvatura final efetiva, que submeterá a tubulação a um esforço durante a operação de pullback deve também ser impactada pelo processo de alargamento o qual tem uma tendência de ajustar o traçado executado de alguma forma, e devido também à folga entre o diâmetro externo da tubulação e diâmetro interno do furo, com espaço que

suficiente para reduzir os esforços que tal curva promoveria²⁵. Os valores resultantes das equações 5 e 6 pretendem representar uma magnitude geral para curvaturas não planejadas a que serão submetidas a tubulação, como baseadas nas experiências limitadas, incluindo análise do exemplo no AS BUILT provido pelos manuais de operadores dos equipamentos de MINI HDD (17 e 24). Esses níveis não são necessariamente conservadores para aplicações de MINI HDD e variações significantes devem ser informadas antecipadamente.

C.3.2.3 Dimensão da Haste – A dependência linear de uma curvatura não planejada na rota, n_2 , e no diâmetro da haste como indicado na Equação 6, é consistente com um nível equivalente de estresse ou tensão na haste de aço, e corresponde a aproximadamente um terço da curvatura tipicamente permitida pelos fabricantes de aço como ilustrado não Apendice A. Muito embora, em princípio, esta mesma regra deva ser extrapolada para o MAXI HDD, onde se utiliza hastes de diâmetros maiores, ela é considerada excessivamente conservadora para condições de instalações **muito bem planejadas e muito bem controladas**.²⁶

C3.3 Peso Flutuante – De forma de se aplicar a Equação C-6 (ou Equação 2 da Seção 7.3.2) é necessário determinar o peso flutuante W_b , na porção (extensão) da tubulação que se encontra submersa no fluido de perfuração, dentro do furo ao longo dos segmentos do traçado representados por L_2 , L_3 e L_4 (Figura C.1). A norma ASTM F 1962, provê a formulação matemática para cálculo do valor de flutuabilidade da tubulação para variadas condições, incluindo a tubulação vazia, preenchida com água e também com fluido de perfuração. Para a presente recomendação para o caso do MINI HDD, onde a tubulação é considerada sempre **vazia** e, como sugerido pela norma ASTM F 1962, o peso específico do fluido de perfuração, γ_b , é conservadoramente assumido como igual a 1.5, na fórmula utilizada para cálculo da redução do peso de flutuabilidade da equação 3 da Seção 7.3.2.

C.4 Aplicações – As diretrizes para MAXI HDD providas pela norma ASTM F 1962 requerem que a tensão de tração não sejam superiores às tensões de tração do pullback, sem a imposição de quaisquer fatores de projeto ou segurança declarados explicitamente. Todavia, a determinação do valor correspondente à tensão de tração inclui que devido à media da tensão aplicada ao longo da área da secção transversal da tubulação, e previstas nas Equações C-1, mas as tensões resultantes das curvas impostas ao traçado, bem como ao incremento devido a pressão hidrocínética produzido pelo fluxo do fluido de perfuração ao longo de todo o comprimento da tubulação. Em comparação, o método simplificado como exposto neste presente guia de MINI HDD, não leva em conta esses dois últimos aspectos. Por essa razão, **e devido ao reconhecido baixo nível de controle das operações de MINI HDD**²⁷ incluindo a enorme variabilidade de curvas não planejadas (Apendice C.3.2.2.), bem como outras várias simplificações

²⁵ Nota do Tradutor: Desde que observado o espaço anelar de 50% maior que o diâmetro externo da tubulação como recomendado em quaisquer dos métodos HDD.

²⁶ Grifo por conta do tradutor

²⁷ Grifo por conta do tradutor

utilizadas para se chegar à Equação C-6 (ou Equação 2), um fator de carga adicional (> 1.0) deve ser aplicado ao termo da tensão correspondente ao lado esquerdo da equação 2, ou C-6 para essas aplicações nas quais um projeto mais conservador seja desejável. Isto reduziria efetivamente as distancias de lançamento; veja Apendice D.

D. Exemplos de Previsão de Cargas e Seleção de Tubulações

D.1 Calculo da Carga (Comparação com dados de Campo)

A melhor forma de validar a metodologia simplificada apresentada aqui, para cálculo das cargas estimativas de puxada para tubulações de PEAD em operações de Mini HDD é de fato compará-lo com os dados obtidos em campo. Os dados ideais obtidos em campo são medidos diretamente pelos manômetros instalados na extremidade da tubulação de PEAD, à medida em que acontece a operação de Mini HDD (ou Midi HDD). Felizmente esses dados estão convenientemente disponíveis.

D1.1 Caso 1 – Uma fonte provê dados obtidos de uma tentativa de um dispositivo comercialmente disponível para monitoramento de tensões exercidas sobre a tubulação medidas na extremidade (19). Em particular, um conjunto detalhado de força versus comprimento instalado é fornecido para uma tubulação de 6" (150 mm) de diâmetro SDR 11 PEAD numa instalação retilinea de 140 m de comprimento. Os dados um aumento de tensão constante até a pressão maxima de 3.500 libras ao fim da instalação. Neste caso foi utilizada a perfuratriz com hastes de 4,5 m de comprimento e 3.1/2" de diametro e a Equação 6 (versus a Equação 5) deve ser usada para o cado de curvaturas não planejadas. Estas são as propriedades físicas e características que definem a instalação:

Comprimento do Furo	=	140 m
Diametro da Haste	=	3.1/2" (90 mm aproximadamente)
Diâmetro Externo da Tubulação	=	170 mm (aproximadamente)
Peso da tubulação	=	7 kg/m
Peso de Flutuação (*)	=	25 kg/m aproximadamente
N ₁	=	0 (sem curvaturas)
N ₂ (**)	=	0,53 (numero adicional equivalente às curvas de 90°)
N	=	N ₁ + N ₂

Assim, a Equação 2 estima o pico da carga de puxada como:

Tensão em (Kg) é:

$$= [\text{Comprimento do Furo} \times \text{Peso de Flutuação} \times (1/3)] \times (1.6)^N$$

$$= [180 \text{ m} \times 25 \text{ kg/m} \times (1/3)] \times (1.6)^{0.53}$$

$$= 1532 \text{ kg (3.383 Libras)}$$

Nota: Esta carga correspondeu a carga medida real (variação de 3%)

Em geral, tal precisão não pode ser considerada na maioria dos casos, e o presente cálculo deve ser considerada de alguma forma fortuita. A metodologia usada é uma super simplificação de um processo complicado, o qual em muitos casos resultam em cargas de puxada com desvios significantemente maiores dos que aqui apurados. Também é interessante considerar o impacto do efeito das curvas não planejadas, refletidas pelos termos N_2 (ou N). Ignorar este termo (por exemplo, assumindo que $N_2 = 0$) resultaria numa tensão menor que 1.200 kg (2650 Libras) subestimando a carga medida em 25% menos. Os resultados estão ilustrado na Figura D.1 (Caso 1)

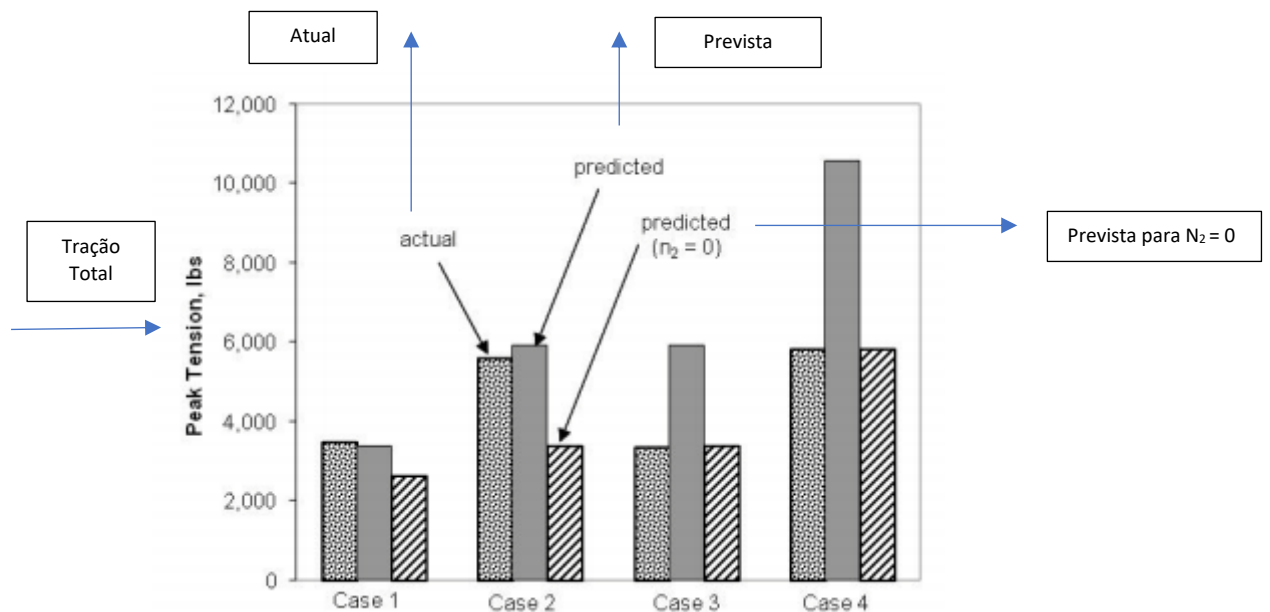


Figura D.1 Calculo Atual vs. Tensão Prevista para instalações por Mini-HDD

D.1.2 Casos 2,3 e 4 – Outra fonte nos dá dados obtidos durante uma série de três experimentos práticos, usando e reusando os mesmos 180 m de extensão, num traçado retilíneo, pré alargado como necessário e indicado com aproximadamente 50% maior do que o diâmetro externo da tubulação. Duas das instalações feitas com tubulações de PMAD (Polietileno de Média Densidade) com 6" (150 mm) de diâmetro SDR 11 (para os casos 2 e 3) e uma tubulação de 8" (200 mm) e uma outra que corresponde ao caso 4. As instalações foram feitas utilizando-se hastes cujo diâmetro assumiu-se como 2" (50 mm). As cargas apuradas de tração foram de 2400 kg (5620 Libras), 1527 kg (3372 Libras) e 2648 kg (5845 Libras) respectivamente na sequência dos furos 2,3 e 4 indicados acima e em geral apuradas antes de que as operações fossem completadas. Estas são, então, cargas comparadas com os níveis de carga previstos de 2683 kg (5924 Libras) para os dois primeiros e 4792 kg (10.580 Libras) para o caso 4, calculados utilizando-se a metodologia presente, de certa forma, de certa maneira similar ao Caso1. Os resultados para os três experimentos estão ilustrados na Figura D.1.

D.1.3. Discussão – Os resultados demonstram que o modelo simplificado de cálculo é capaz de prever a magnitude geral do pico de tensão observado durante as operações com Mini HDD (ou Midi HDD), com um fator de valor 2 ou melhor, baseada sobre o tamanho do experimento limitado. Em geral o grau de acerto é excelente, dependendo da adição da tensão correspondente às cargas devidas às curvas não previstas no caminhamento real (N_2) não incluídas na estimativa. Em alguns casos (Casos 1 e 2) tais considerações resultam de um cálculo excepcional, enquanto em outros casos (Casos 3 e 4) eles são excelentes sem que se considere as tensões resultantes desse efeito (curvas não previstas). A possível explicação para esta última colocação é o fato do uso repetido para o mesmo diâmetro de furo, usado como propósito para os três experimentos, com subseqüentes operações de alargamento/puxada que resultam em um caminhamento mais retilíneo do que o correspondente à magnitude das curvaturas não planejadas, muito provavelmente presentes nas aplicações práticas.

Apesar dos resultados bons para excelente apresentados nos casos acima, uma enorme variabilidade deve ser considerada antecipadamente para instalações em geral por Mini HDD devido à complexidade da interação solo-tubulação, variação nas características e condições dos solos, habilidades do operador, ...²⁸ Tais fatores, por exemplo, impactarão o grau de variação das curvas não planejadas, que são demonstrados como uma fator de muita importância em alguns casos, mas apenas aproximadamente calculados pelas Equações 5 e 6. O possível uso de uma carga ou fator de segurança (> 1.0) aplicado às tensões está discutido no apêndice número C.4, que procura levar em conta a enorme variabilidade associada aos efeitos mencionados para as instalações com Mini HDD (e alguns Midi HDD); veja os exemplos do Apêndice D.2.

²⁸ NT, a colocação de reticências nos leva a acreditar que os autores, ensejam que haja outras variáveis além das mencionadas no texto (visão puramente ortográfica e gramatical), e com segurança não estão mencionados os efeitos referentes ao tipo de fluido de perfuração, sua formulação, as pressões com que são aplicados, e o mais importante: **o tempo de puxada da haste, que é diretamente proporcional à capacidade da bomba de fluido utilizada e raramente calculada.**

D.2 Seleção da Tubulação (Exemplo para projeto)

A espessura correta para a tubulação de PEAD para um determinado diâmetro, deve ser convenientemente determinada pela aplicação do método mencionado nas Seções 7.2 e 7.3. Como um exemplo, considere a viabilidade de utilizar um equipamento típico de Mini HDD, para instalação de um segmento de tubulação com 210 m de comprimento e 4" (100 mm) de diâmetro SDR 11 PEAD ao longo de um traçado incluindo uma curvatura deliberada de 90° em planta (horizontal) e instalada numa profundidade relativamente grande de 9 m.

D.2.1 *Força de Puxada (Pull Back ou Pull Strength)* As seguintes propriedades físicas e características definem a instalação proposta:

Comprimento da Instalação (Furo)	= 210 m
Diâmetro da Haste	= 2" (50 mm)
Diâmetro externo do PEAD	= 115 mm
Peso do tubo por metro	= 3,4 kg/m
Peso de Flutuação	= 11,6 kg/m (veja as fórmulas)

Alternativamente, utilizando a Figura 7, um peso de flutuação de 3,6 kg/m independente do SDR, é convenientemente empregado para os propositos presentes.

N_1	= 1.0 (uma curva adicionada 90°)
N_2	= 1.4 (veja as fórmulas)
N	= 2.4 ($N_1 + N_2$)

Portanto, a Equação 2 prediz um pico da carga de puxada de:

Tensão (kg)	= 2641 kg (veja as fórmulas)
-------------	------------------------------

A equação 7 então requer que esta instalação tem uma carga de 2641 kg (5623 Libras) e que não seja maior do que a tensão de puxada de segurança [para uma tubulação de PEAD SDR 11 e 4" (100 mm) de diâmetro], indicata na tabela 2 para tubulações de PEAD onde a indicação é de 3.408 kg (7524 Libras) que comparada com a obtida de 2641 kg (5623 Libras) indica u fator de 1.3. A tabela 2 também indica que utilizando um SDR de 13.5, a tubulação terão a adequada resistencia à tração, mas com uma fator de segurança menor ou seja de 1.08 (Apendice C.4 e D.1.3), ficando assim o engenheiro responsável para decidir entre uma tubulação com uma espessura entre SDR 11 ou 13.5.

Enquanto que o presente exemplo especificamente considera uma tubulação de 4" (100mm) para um dado valor de SDR, a carga prevista e a força de tração são ambas proporcionais ao quadrado do diâmetro externo. As conclusoes assim são independentes do diâmetro da tubulação. Nota-se que o uso da tubulação SDR 11 num traçado retilineo para mais de 300 m de extensão, significantemente além do geralmente admitido para as **aplicações** do Mini HDD, é também predito que deve ser aceitável

baseado nas cargas de puxada (veja Seção 7, e figura 9). A tubulação fabricada com o material da especificação (USA) PE4710 permitirá ainda algum comprimento adicional correspondendo às distâncias ou às margens maiores.

D.2.2. Tensão de Ruptura Lembrando-se da fase de vulnerabilidade potencial de colapso durante a instalação ou ainda após a instalação (todavia antes de colocar a tubulação em carga), quando a tubulação também está sujeita a pressões hidrostáticas devido aos fluidos ou lamas de perfuração, entendendo-se antes da “solidificação do fluido” (NT: momento GEL do fluido ou Tixotropia)²⁹. O Apêndice B indica que uma tubulação de PEAD pode ser instalada a uma profundidade de até 55 ft ou 17 m (resultante de 255 ft/4,6) independente do diâmetro dela. Portanto, a profundidade proposta, relativamente grande, 9 m, está bem dentro da capacidade do PEAD SDR 11 e a espessura da parede do mesmo. A profundidade admissível de uma tubulação na classificação SDR 13.5 (131ft/4,6) todavia, estaria pouco abaixo dos 9 m especificados indicando a necessidade de se adotar o SDR 11.

D.2.3 Discussão – A dificuldade relativamente, agressiva de uma instalação de Mini HDD do projeto em questão, demonstra que o PEAD de SDR 11, representa uma seleção confiável essencialmente para todas as aplicações com Mini HDD (bem como para muitos projetos de Mid HDD). Para o PEAD SDR 11, com uma capacidade de resistência à tração aproximadamente a 80% do PEAD, a distância máxima de instalação seria reduzida, mas ainda assim pode satisfazer as condições de projeto para o exemplo estudado, muito embora com uma margem de segurança menor. Em complemento a profundidade de 80% do valor atingido pela tubulação de PEAD (PE 3608 – USA), ou seja, 13 m (44 ft) seria considerada segura para este tipo de tubulação e consistente com as condições do projeto. Portanto, é desejável que o proprietário saiba que também um tubo de PEAD é adequado a várias instalações por Mini HDD, incluindo o deste exemplo em estudo. Tubulações com paredes mais finas (com SDR mais altos) também podem ser uma solução razoável em muitos casos, mas os cálculos devem ser verificados para o traçado proposto. O material PE 4710 oferece uma margem bem maior nessa capacidade de resistência à tração do que o PE 3608 além do que aceita uma profundidade maior de instalação (17 m ou 58 ft).

É enfatizado que a presente metodologia para seleção do SDR não garante que uma tubulação mais fraca de parede mais fina, seria aplicada com sucesso na prática em instalações com características próprias mas, como na maioria dos procedimentos de projeto, a metodologia provê uma razoável e conservadora estimativa das capacidades da tubulação de atender a aplicação, e serve como um alerta para que os produtos mais fracos podem ser marginais ou inadequados.

E. Características das Hastes e suas Implicações – Um desenvolvimento teórico

²⁹ NT Considere que uma vez instalada a tubulação, a propriedade de se liquefazer que tem o fluido de perfuração não acontecerá mais, pois não há como submetê-lo a quaisquer movimentos ou ações para se valer da propriedade tixotrópica que ele tem.

As características físicas das hastes, em combinação com a geometria associada com o ângulo de entrada adotado na perfuratriz e o traçado mais o ângulo de saída, geram restrições na configuração do tração e nas operações com Mini HDD. Isso inclui as exigências de distâncias de recuo da perfuratriz antes do ponto de entrada bem como as distâncias horizontais para que a coluna aflore na superfície.

E.1 Distância de recuo da perfuratriz – De forma a atingir uma profundidade especificada num determinado ponto no início da perfuração a parte frontal da perfuratriz precisa ser montada com um recuo (set back) desde o ponto de interesse, designado como ponto 1 ou ponto 2 da Figura 10. A profundidade d_1 , no ponto 1 é atingida pelo traçado e trajetória de descida até o ângulo de entrada β^{30} , gerando uma distância de recuo S_1 . Ambas medidas de maior profundidade d_2 associada a distância de recuo S_2 correspondem ao ponto 2 no qual o traçado inicia sua trajetória horizontal. A distância S_1 depende de certa forma do ângulo de entrada estabelecido pela perfuratriz mas a distância S_2 é também dependente das características das hastes, incluindo sua capacidade de flambagem (raio de curvatura admissível) e do comprimento de cada haste.

E.1.1 Distância de Recuo S_1 ao longo da trajetória não nivelada – Essa medida S_1 corresponde ao segmento do traçado do furo que compreende uma linha reta se estendendo desde o ponto de entrada da cabeça de perfuração seguindo diretamente à frente ao ponto de interesse, Ponto 1 (Figura 11):

$$S_1 = d_1 / \tan \beta \quad \text{ou mais ou menos } d_1 / \beta$$

Onde o ângulo de entrada do furo β é expresso em radianos. Esta fórmula corresponde a uma descida a um ângulo constante e é mostrado como linhas pontilhadas (S_1) nas figuras 13-15. A profundidade do traçado do furo continuará a aumentar até o ponto 1 sobre a distância requerida de coluna de hastes para desenvolver a concordância (curva) para atingir a trajetória horizontal como determinado abaixo.

E.1.2 Trajetória Nivelada e Distância de Recuo S_2 – Como uma recomendação geral da indústria o traçado deveria ser iniciado sem qualquer curvatura ou direcionamento para uma distância mínima equivalente ao comprimento de uma haste sob o solo. Esta prática é sugerida com a intenção de evitar ou minimizar as sobrecargas laterais na parte da frente da perfuratriz. O direcionamento deve ser iniciado quando se estiver inserindo as hastes subsequentes incluindo aquela que fará a primeira curva para cima para iniciar a trajetória nivelada no ponto 2 na profundidade d_2 . A distância mínima de recuo para S_2 corresponde a um traçado que considera a primeira haste (s) inserida bem como o seguimento correspondente a trajetória reta mas inclinada, descendo o mais rapidamente possível e as hastes subsequentes colocadas a seguir a haste guia criando um traçado com o raio mínimo de curvatura admissível ou

³⁰ O ângulo β do traçado de entrada corresponde ao ângulo de saída da tubulação, como ilustrado na Figura C-1

$$\begin{aligned}
S2 &= \ell \cos\beta + R_{\text{rod}} \cdot \sin\beta + [d2 - \ell \sin\beta - R_{\text{rod}} (1 - \cos\beta)] / \tan\beta \\
&\approx R_{\text{rod}} \cdot \beta / 2 + d2 / \beta
\end{aligned}
\tag{E-2}$$

Onde $\ell \cos\beta$ é o comprimento da haste, e R_{rod} é o raio mínimo de curvatura. A equação F-2 é a base das distâncias S2 s representadas nas figura 13-15.

E.1.3 Profundidade Mínima na Trajetoria Nivelada – Baseado nas restrições geométricas estabelecidas pelo ângulo de entrada da perfuração e o raio de curvatura mínimo indicado para as hastes, bem como as recomendações para a primeira haste a ser inserida no solo numa configuração reta, há uma profundidade mínima a partir da qual a trajetória poderá começar a seguir nivelada. A menor profundidade para d2 deve ser calculada pela formula:

$$\begin{aligned}
(d2)_{\text{min}} &= \ell \sin\beta + R_{\text{rod}} \cdot (1 - \cos\beta) \\
&\approx \ell \beta + R_{\text{rod}} \cdot \beta^2 / 2
\end{aligned}
\tag{E-3}$$

Este valor explicitamente indicado nas figuras 13-15, para várias hastes, e para o caso de um ângulo de entrada de 15° (27% de grede).

E.2. Distancia horizontal para chegar à superfície – As restrições geométricas associadas com o raio mínimo admissível para as hastes outra vez são que dita a taxa na qual a perfuração pode mudar da sua trajetoria horizontal atual (por exemplo, ponto 3 da Figura 11) na profundidade d3 para atingir a superfície.

E.2.1 Subida com uma curvatura constante – Assumindo que as hastes estão curvadas de forma consistente com sua capacidade maxima de flexão (mínimo raio de curvatura), a mínima distância até a superfície é dada por:

$$\begin{aligned}
S3 &= \sqrt{2 \cdot d3 \cdot R_{\text{rod}}} \times \sqrt{1 - \frac{d3}{2 \cdot R_{\text{rod}}}} \\
&\approx \sqrt{2 \cdot d3 \cdot R_{\text{rod}}}
\end{aligned}
\tag{E-4}$$

Esses valores são mostradas pelas linhas pontilhadas (S3) nas figuras 16-18. O ângulo³¹ resultante para a saída do furo α será determinado pelo ponto de profundidade d3 dado pela fórmula:

$$\begin{aligned}
\alpha &= \arccos [1 - d3/R_{\text{rod}}] \\
&\approx \sqrt{2 \cdot d3 / R_{\text{rod}}}
\end{aligned}
\tag{E-5}$$

Os ângulos de saída baseados nessa equação acima são mostrados na Figura 19.

E.2.2 Saída a um ângulo especificado – A distance S3 é menor do que aquela correspondente ao ponto S5 indicado na Figura 11. Esta distância corresponde à

³¹ O ângulo de saída α do traçado corresponde ao ângulo de entrada da tubulação, como ilustrado na Figura C.1, ou seja, na perfuração onde sai a cabeça de perfuração é onde entrará a tubulação.

trajetoria que chega à superfície a partir do ponto d3 parcialmente como um arco e então (desde o ponto 4) continua um tração reto até o ponto especificado pelo ângulo α (greide):

$$\begin{aligned} S5 &= R_{\text{rod}} \cdot \sin\alpha + [d3 - R_{\text{rod}} (1 - \cos\alpha)] / \tan\alpha \\ &\approx R_{\text{rod}} \cdot \alpha + [2 \cdot d3 - R_{\text{rod}} \cdot \alpha^2] / 2 \alpha \end{aligned} \quad (\text{E-6})$$

Esses valores são também mostrados nas Figuras 16-18, como uma função do ângulo de saída especificado, para o qual o ângulo máximo possível é limitado pela profundidade d3 consistente com a Figura 19.

E.2.3 Distância horizontal de subida ao longo do greide fixado – Para a cabeça de perfuração para cima no ângulo α a distância horizontal S4 para subida até a superfície no ponto 4 (Figura 11) desde a profundidade d4 que é:

$$S4 = d4 / \tan\alpha \quad \text{ou} \approx d4 / \alpha \quad (\text{E-7})$$

De forma análoga à Equação E-1, esta fórmula corresponde a uma subida num greide constante e é mostrado na Figura 20, para vários ângulos

Apêndice F dá vários exemplos da aplicação das equações apresentadas como mostrado nas Figuras de 13 a 20.

F. Exemplos de Set Up da Perfuratriz e da Geometria do Furo

F.1 Set up da Perfuratriz

Esta informação oferecida na Seção 8, incluindo as Figuras 10 a 20, deve auxiliar o planejamento de set up da perfuratriz e verificar a viabilidade da operação com as restrições de espaço que existam no local. Por exemplo, considere uma rede enterrada com um comprimento ou seção requerendo vários metros de extensão para uma tubo de 150 mm de diâmetro externo (6”) para ser enterrada ao longo de uma faixa de domínio utilizando um equipamento de HDD, com as seguintes informações:

Diâmetro Externo da Tubulação	=	170 mm
Hastes	=	4,5 m com 45 m de raio de Curvatura
Cobertura uniforme de	=	1,5 m
Distancia de Set Back (reco S2, 2 Fig 11)	=	10 m
Distancia de Subida (S3 ou S5, 3, Fig 11)	=	12 m
Ângulo desejado de saída	=	5°

F.1.1. Distancia de Recuo Requerida – A cobertura sobre a tubulação é consistente com aquela indicada na Seção 8.1.3. Isto deve ser verificado considerando o diâmetro final do alargamento ou 50% maior que o diâmetro externo da tubulação ou aproximadamente 170 mm x 1,5 = 255 mm e comparando com a medida de cobertura de 1,5 m com 1,25 m indicado na Figura 10.

Considerando que a entrada mais rasa tem um ângulo de 10° indicado na figura 15, a cobertura mínima $d_{2\min}$ requerida para que se atinja o ponto da trajetória nivelada igual a 1,4 como desejado³². Todavia, a distância de recuo S2 de 12 m excede o espaço disponível de 10 m. Aumentando o ângulo de entrada de forma a atingir mais rapidamente a profundidade não é uma solução, pois a profundidade mínima para atingir o trecho reto a ângulos de entrada maiores resultarão maiores que os desejados. Também uma instalação mais profunda não é aceita pelo proprietário por questões de reparos e manutenções futuras.

Uma possível solução seria utilizar uma perfuratriz menor com hastes de 3 m de comprimento com um raio de curvatura admissível de 30 m (Figura 14), para a qual a distância de recuo S2 num ângulo de entrada de 10° se encaixa nos 10 de espaço disponível. A perfuratriz menor também acaba salvando 1,5 m de espaço na distância de recuo.

Outra alternativa seria obter a aprovação do proprietário da rede para instalar a tubulação um pouco acima do 1,5 m em relação ao ponto de entrada do traçado, e com isso atingir o ponto de início da trajetória retilínea um pouco mais à frente. Assim, para a haste de 4,5 m, Figura 15, com o espaço de recuo em 10 m é aproximadamente 1,5 m menor que os 12 necessários para atingir a trajetória retilínea, e também um pouco menos profunda do que para este seguimento menor em 1,5 m.

Uma outra alternativa é a concessionária concordar que a profundidade objetiva pode ser excedida na extensão no início do furo, além do qual o trecho reto iria se ajustando gradualmente até atingir o 1,5 m desejado. Neste caso, a profundidade seria atingida além do ponto específica ao longo da perfuração e no ângulo de entrada que permite recuar a perfuratriz 10 m (Figura 13).

F.1.2 Distância requerida para a subida – A figura 17 indica que o utilizando o direcionamento com hastes de 45 m de raio mínimo de forma que eles subam desde o ponto mais profundo usando a capacidade máxima de flexão, resultaria num ângulo de 15° . Baseados assim na informação da Figura 18, esta subida até a superfície deve ser realizada com a distância horizontal S3, aproximadamente equivalente aos 12 m de espaço disponível. Este ângulo de saída grande é, todavia, muito maior do que os 5° inicialmente especificados. De modo a sair no ângulo desejado de 5° , será necessário um espaço S5 maior do que os 18 m especificados (Figura 18). Neste caso realmente o uso de uma perfuratriz menor, com hastes menores e mais flexíveis acabaria apenas resultando numa pequena redução na distância horizontal de subida S5 (Figuras 16 e 17) e não representam uma solução prática.

Como resultado das considerações acima, discussões adicionais com o proprietário da rede devem garantir, de forma a se obter um melhor entendimento do espaço restrito na entrada da tubulação (saída da cabeça de perfuração). É possível que a

³² Para o presente propósito, as diferenças entre a linha do centro geométrica do traçado como indicado na Figura 13 e a reduzida profundidade de coberto até a tubulação que deixaria ela saliente acima da linha central, está sendo ignorada.

concessionária tenha especificado um ângulo de entrada menor, bem como reservado um espaço adicional no fim de forma a acomodar um tubo de material relativamente rígido (que não seja PEAD). Nestes casos, são necessários espaços maiores para facilitar a montagem da tubulação, o layout ou suprimento da tubulação e montagem até que o furo seja completado. O uso de Polietileno deve contribuir para reduzir esses problemas pelo fato de que é fornecido em comprimento contínuos, maior flexibilidade e manuseio mais fácil. Em particular, o grande ângulo de saída de 15°, alcançável com os 12 m originalmente especificados não seria um problema para o Polietileno.

REFERENCIAS

(Deixadas em Inglês propositadamente para facilitar a pesquisa)

- (1) The Plastic Pipe Institute, "The Plastics Pipe Institute Handbook of Polyethylene Pipe", Second Edition, 2008.
- (2) Najafi, M., "Trenchless Technology, Pipeline and Utility Design, Construction, and Renewal", McGraw-Hill, 2005.
- (3) HDD Consortium, "Horizontal Directional Drilling – Good Practices Guidelines", 3rd Edition, 2008.
- (4) Common Ground Alliance, "Excavation Best Practices 6.0", 2009.
- (5) Center for Underground Infrastructure Research and Education, HDD Training and Certification School.
- (6) North American Society for Trenchless Technology, Horizontal Directional Drilling – Good Practices Guidelines Seminar.
- (7) Svetlik, H., "Polyethylene Pipe Design for Directional Drillings and River Crossings", NO-DIG 2005.
- (8) Centre for the Advancement of Trenchless Technology, "BoreAid®".
- (9) Vermeer Corporation, "Bore Pilot".
- (10) Kirby, M.J., Kramer, S.R., Pittard, G.T and Mamoun, M., "Design Guidelines and Procedures for Guided Horizontal Drilling", NO-DIG 2006.
- (11) Huey, D.P, Hair, J.D., and McLeod, K.B., "Installation Loading and Stress Analysis Involved with Pipelines Installed by Horizontal Directional Drilling", NO-DIG 2006.
- (12) Slavin, L. M., "Simplified Methodology for Selecting Polyethylene Pipe for Mini (or Midi) – HDD Applications", ASCE International Pipelines Conference 2007.
- (13) Petroff, L., "Designing Polyethylene Water Pipe for Directional Drilling Applications Using ASTM F 1962", NO-DIG 2006.
- (14) Vermeer Corporation, "Atlas Bore Planner".
- (15) British Telecom, "Direct In Ground Manual, Moling Handbook", 1988.

- (16) Leuke, J.S., Ariaratnam, S.T., Colwell, D.A.F., "Towards the Development of Horizontal Directional Drilling Depth of Cover Guidelines", NO-DIG 2001.
- (17) The Charles Machine Works, Inc. "Ditch Witch® Model 4/40 Jet Trac® Boring System Operator's Manual", 1993.
- (18) Najafi, M., "Trenchless Technology Piping", McGraw-Hill, 2009.
- (19) Finnsson, S., "TensiTrak™ – A Tension Load and Drilling Fluid Pressure-Monitoring Device for Horizontal Directional Drilling Installations", NO-DIG 2004.
- (20) Canadian Association of Petroleum Producers, "Guideline -- Planning Horizontal Directional Drilling for Pipeline Construction", CAPP Publication 2004-0022, September 2004.