

## MÓDULO 7

### 7.2 – LINHAS DE TRANSPORTE HIDRÁULICO DE SÓLIDOS

O transporte de sólidos é bastante utilizado em plantas de mineração, onde o desgaste por abrasão é um dos aspectos preponderantes, entretanto a abrasão ocorre em diversas outras aplicações, como em linhas de dragagem, transporte de cinzas em termelétricas e até mesmo em linhas de águas pluviais ou esgoto sanitário, onde sólidos finos em suspensão são comuns, embora em menor escala.

Em plantas de mineração são ainda presentes diversas outras aplicações de tubulações, onde os tubos poliolefinicos mostram-se como excelente alternativa técnica-econômica, inclusive devido a solos e fluidos ácidos normalmente encontrados nessas plantas, quais sejam:

- Redes e Adutoras de Água e Linhas de Esgoto Sanitário: Módulos 5.1 e 5.2;
- Redes de Incêndio: Módulo 6.1;
- Linhas de Efluentes Industriais: Módulo 7.1
- Linhas de Ar Comprimido: Módulo 7.3
- Redes de Gás Enterradas Módulo em desenvolvimento
- Linhas de Drenagem e Esgoto por Gravidade Módulo em desenvolvimento

Há ainda a possibilidade de diversos métodos de instalação:

- Instalação Enterrada: Módulo 4.2;
- Instalação por Métodos Não Destrutivos: Módulo 4.3;
- Instalação Aérea: Módulo 4.4;
- Instalação Sub-Aquática: Módulo 4.9

#### 1 – A Escolha do Material da Tubulação e os tipos de Abrasão

O Módulo 1.1 do Manual de Práticas da ABPE aborda diversos aspectos para a escolha do material da tubulação, bem como nos módulos respectivos às aplicações enumeradas acima, seja quanto à resistência química, à temperatura, flexibilidade, métodos de união, etc.

Neste módulo, vamos abordar as especificidades na condução de transporte hidráulicos de sólidos, presentes nas plantas de produção, ou nos resíduos industriais, em especial no que concerne ao desgaste por abrasão, para as diversas outras aplicações referir-se aos módulos especificados enumerados acima

A abrasão pode ocorrer de duas formas:

- Desgaste por deformação.
- Desgaste por ação cortante.

O desgaste por deformação é causado pelo choque das partículas normalmente às paredes dos tubos. A partícula pode estar animada de energia cinética suficiente para causar uma tensão local superior ao limite de resistência do material do tubo. A ação cortante resulta do

choque oblíquo das partículas que podem conter energia cinética suficiente para cisalhar superficialmente o tubo, arrancando-lhe pequenas lascas.

A abrasão depende de vários fatores, a saber:

- das características dos sólidos: tamanho e distribuição, dureza, peso específico e forma;
- das características do líquido: corrosividade, densidade, viscosidade, regime do escoamento, se laminar ou turbulento, se heterogêneo ou homogêneo, e da velocidade do fluxo;
- e, de forma preponderante, da natureza das paredes do tubo.

A resistência à abrasão aumenta com o aumento do peso molecular (menor MFI) e da densidade, pois é dependente da dureza superficial e da resiliência do material, isto é: maior dureza e maior resiliência permitem melhor resistência à abrasão.

Os tubos poliolefínicos em geral têm ótima resistência à abrasão no tocante a sólidos finos, entretanto os tubos de polietileno de alta densidade (PEAD) são especialmente vocacionados a essas aplicações, também por sua flexibilidade, resistência aos raios UV (quando pretos) e maior oferta, em especial para tubos de grande diâmetro (maiores que DE 250).

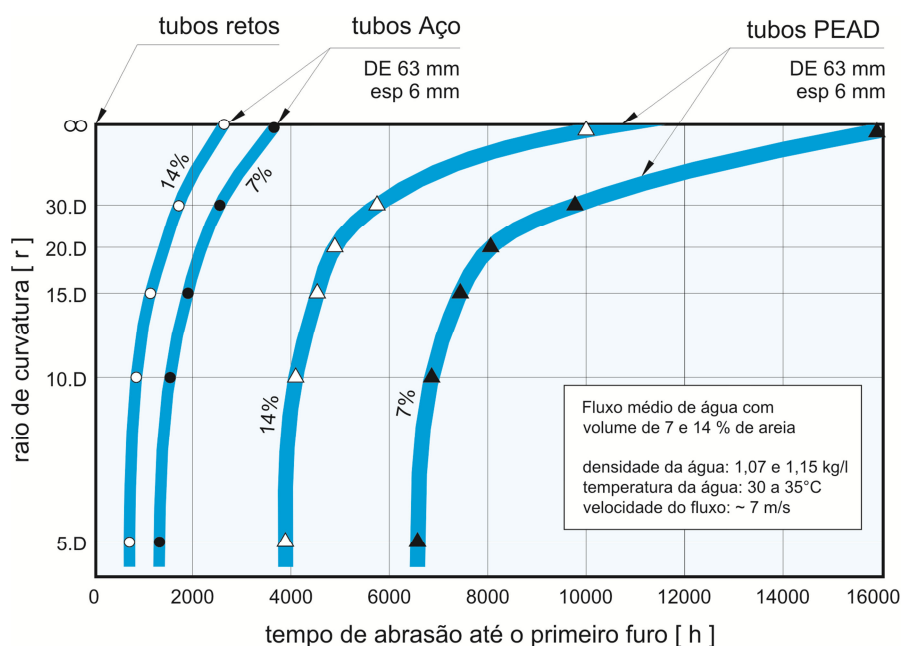
Hoje em dia, os tubos de PE 100 pretos têm sido a principal opção para transporte hidráulico de sólidos em mineradoras para pressões de até 20 bar.

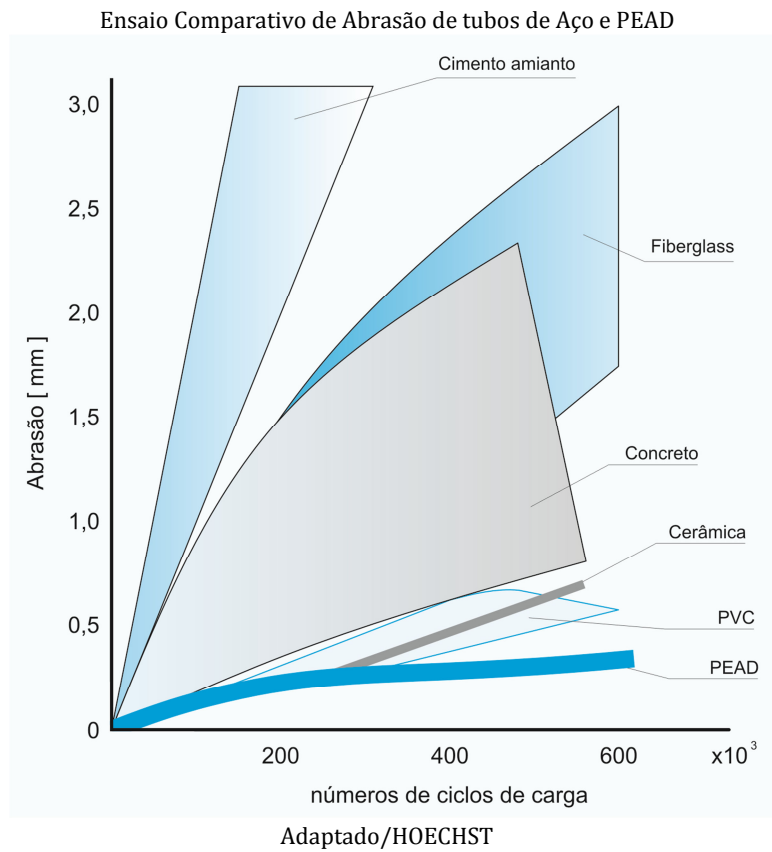
A seguir, na figuras abaixo, são mostrados os resultados de testes efetuados na Universidade de Darmstadt, quanto à abrasão do PEAD, comparada com o aço e outros materiais.

Os testes foram feitos bombeando-se misturas com concentrações de 7 e 14% de areia, respectivamente, através de tubulações de AÇO e de PEAD, com diâmetros e espessuras de paredes iguais.

As tubulações formaram circuitos fechados, com trechos retos e curvos com raios de 6, 10, 15 e 30 vezes o diâmetro da tubulação.

A cronometragem dos períodos de bombeamento, até a ocorrência do primeiro furo nos trechos retos da tubulação de AÇO e de PEAD, revelou que o PEAD resistiu cerca de quatro a cinco vezes mais que o aço.





Comparativo da Abrasão entre alguns materiais de tubos testados no transporte hidráulico de sólidos - Universidade de Darmstadt

## 2 – Considerações sobre a Abrasão nos Tubos

A abrasão ou erosão dos tubos, via de regra, é o que determina a vida útil da tubulação no transporte hidráulico de sólidos. No caso dos tubos metálicos, o problema é agravado pelo ataque químico decorrente da acidez do solo e/ou fluido.

Em certos casos extremos, a tubulação sequer suporta 6 meses de uso. Assim, os engenheiros das mineradoras buscam constantemente soluções mais eficientes, dentre as quais os tubos de polietileno vêm ganhando destaque em todo o mundo.

A resistência à abrasão é função dos seguintes parâmetros:

Parâmetro	Abrasão
Velocidade de fluxo	Menor com menores velocidades
Regime de fluxo	Menor em regimes turbulentos
Propriedades dúcteis do material do tubo	Menor quanto mais dúctil o material do tubo
Características do sólido	Menor quanto menor a partícula, menor sua dureza, densidade, e forma menos pontiaguda
Ângulo de impacto do sólido	Menor quanto mais normal o impacto na parede do tubo

É muito difícil estabelecer a abrasão que virá a ocorrer numa tubulação, procurando então calcar-se em dados experimentais para a especificação da tubulação, em função da vida útil desejada.

Os dados são apresentados como o desgaste médio da parede da tubulação por ano ( $\mu\text{m}/\text{ano}$ ).

Pode-se expressar o desgaste da tubulação pela relação:

$$A = k.t.v^x$$

Onde:

- $A$  = desgaste da parede do tubo (mm)
- $K$  = fator função do sólido e regime de fluxo (obtido experimentalmente)
- $t$  = tempo
- $v$  = velocidade de fluxo
- $x$  = aprox. 1,5

Assim, o projetista deve buscar menores velocidades de fluxo, normalmente entre 1 e 3 m/s, e compensar o desgaste da espessura de parede com tubos mais espessos.

Como o desgaste normalmente apresenta-se maior na parte inferior da tubulação, os engenheiros costumam adotar o procedimento de girar a tubulação 90° ou 180° a determinados períodos, aumentando sua vida útil.

Os tubos de PE 100 apresentam-se como excelente solução, em especial em transporte de sólidos finos e cinzas, tendo enorme aplicação na indústria de mineração de cobre e outros metais, e em termelétricas, no transporte de cinzas, com vida útil chegando a até 6 vezes a dos tubos de aço, nas mesmas condições, além da resistência química e aos solos ácidos muito comuns nas regiões de mineração.

## 3 – Dimensionamento dos Tubos

Os cálculos hidráulicos no transporte hidráulico de sólidos, para determinação de vazão e perda de carga, são bastante especializados. Detalhes, procedimentos e parâmetros de cálculos podem ser encontrados em “Manual de Tubulações de Polietileno e Polipropileno – Características, Dimensionamento e Instalação” de José Roberto B. Danieletto.

Uma vez o especialista tendo determinado o diâmetro e a classe de pressão (SDR) da tubulação em virtude da vazão e perda de carga necessárias, resta ainda estimar a vida útil alcançada pela tubulação. Diferentemente dos tubos metálicos, onde a corrosão química aparece ainda como outra incógnita para a vida útil, nos tubos poliolefinicos, via de regra, a corrosão química pode ser desprezada, e o desgaste por abrasão é que irá determinar o tempo até que ocorra ruptura.

Devido a tantas variáveis, como exposto no item 2, a experiência prática, ou ensaios de laboratório, é que fornecem ao projetista o desgaste médio das paredes da tubulação. Com esse dado, é possível extrapolarmos uma estimativa de sua vida útil, através do seguinte procedimento de cálculo.

### 3.1 – Determinação do desgaste da parede do tubo (*A*)

A ruptura ocorre quando a espessura do tubo estiver tão fina que não suportará mais a pressão interna da tubulação. É preciso primeiro determinar o desgaste médio da parede.

Como visto no item 2: 
$$A = k.t.v^x$$

Exemplo: desgaste de  $0,2 \mu m$  por hora, ou  $1,7 \text{ mm}$  por ano.

### 3.2 – Determinação da Tensão Circunferencial resultante ( $\sigma$ )

A Tensão Circunferencial nas paredes do tubo, no início da operação da linha é:

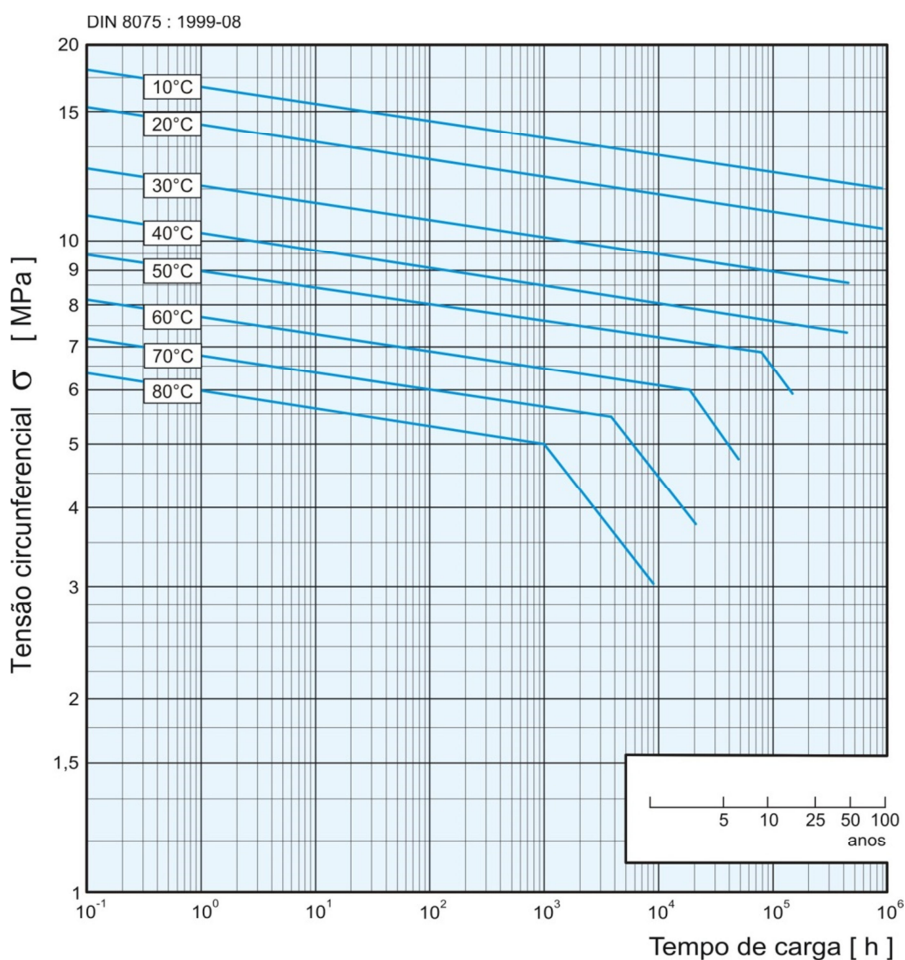
$$\sigma_0 = \frac{P}{10} \cdot \frac{D - e_0}{2e_0}$$

Onde:  $\sigma_0$  = Tensão nas paredes (MPa)  
 $P$  = Pressão interna (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $D$  = Diâmetro externo (cm)  
 $e_0$  = Espessura inicial

Substituindo ( $e_0$ ) pela espessura ( $e$ ) resultante a cada intervalo de tempo, temos a tensão circunferencial resultante naquele instante ( $\sigma$ ).

A ruptura ocorrerá quando a tensão resultante for maior ou igual à tensão de ruptura do material naquele intervalo de tempo ( $\sigma \geq \sigma_{ruptura}$ ).

A tensão de ruptura pode ser extraída da curva de regressão do material, como a dada abaixo para o PE 100 típico (vide maiores informações no capítulo 4.3.5 do “Manual de Tubulações de Polietileno e Polipropileno – Características, Dimensionamento e Instalação” de José Roberto B. Danieletto).



Curva de Regressão típica para PE 100



### 3.3 – Determinação do Tempo de Ruptura (*t*)

Exemplo: Consideremos um tubo de PE 100, com diâmetro externo nominal DE 250 e SDR 17, espessura de 14,9 mm. Desgaste de 1,7 mm por ano. Pressão interna de 6 bar. Temperatura média da tubulação de 30°C.

Determinar a tensão circunferencial resultante por ano ( $\sigma$ ) X a tensão de ruptura ( $\sigma_{ruptura}$ )

$$\sigma = \frac{P}{10} \cdot \frac{D - e}{2e}$$

Então:

Ano	<i>e</i>	$\sigma$	$\sigma_{ruptura}$ *
0	14,9	4,7	13
1	13,2	5,4	9,5
2	11,4	6,3	9,3
3	9,7	7,4	9,2
4	8,0	9,1	9,1
5	6,3	11,7	9,05
<b>6</b>	<b>4,5</b>	<b>16,2</b>	<b>9,03</b>

\* Extraída da curva de regressão do PE 100 acima

Observa-se que a ruptura ocorrerá aproximadamente a 6 anos. Se o projetista optar por um tubo SDR 11 (espessura de 22,7 mm), devido à consequente diminuição do diâmetro externo ocorrerá o aumento da perda de carga (*P*) e da velocidade do fluxo, e isso deve ser levado em consideração para avaliar se ocorrerá um maior desgaste por abrasão (maior velocidade de fluxo) e maior potência de bombeamento para a mesma vazão, mas pode se justificar pelo aumento de vida útil.

Exemplo, Mesmas condições com tubo DE 250 SDR 11, pressão interna de 7 bar.

Ano	<i>e</i>	$\sigma$	$\sigma_{ruptura}$ *
0	22,7	3,5	13
1	21,0	3,8	9,5
2	19,2	4,2	9,3
3	17,5	4,6	9,2
4	15,8	5,2	9,1
5	14,1	5,9	9,05
6	12,3	6,7	9,03
7	10,6	7,9	9,02
<b>8</b>	<b>8,9</b>	<b>9,5</b>	<b>9</b>

\* Extraída da curva de regressão do PE 100 acima

Ou seja, a ruptura ocorrerá próximo a 8 anos.

O projetista deve então avaliar o melhor custo-benefício de usar um tubo de SDR menor ou não, em cada caso.

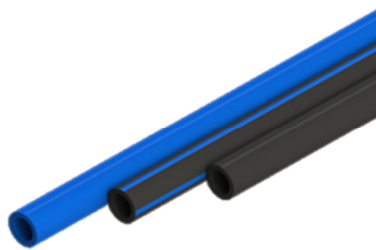
## 4 – Dimensões de Tubos

As dimensões e tolerâncias dos tubos e sua forma de fornecimento (bobinas ou barras) são apresentados no módulo 1.2.

### 4.1 – Cores dos tubos

É comum e desejável que a tubulação industrial apresente cores diferentes em função da utilidade: água, ar comprimido, incêndio, produto, etc.

Os tubos pretos, com 2 a 3% de NF, conforme as normas técnicas recomendam, apresentam excelente resistência às intempéries e a raios UV, praticamente sem perdas de propriedades ao longo de sua vida útil, entretanto os coloridos devem ter aditivações especiais e são mais sujeitos aos ataques por UV. Como os tubos poliolefínicos têm baixa aderência à pintura, devem vir pigmentados na cor desejada pelo fabricante. Uma das maneiras mais eficazes e adequadas é a utilização de tubos pretos com listras na cor específica à utilidade, por exemplo, azuis para água potável, vermelha para incêndio, verde para ar comprimido, etc. assegurando a resistência ao UV e a identificação da linha.



## 5 – Métodos de União

Os métodos de união utilizados para tubulações pressurizadas, são apresentados a seguir:

- Junta Mecânica de Compressão: Material PP – PN 16: NBR 15.803; NTS 192
- Conexões de Eletrofusão: PE 100 – SDR 11 – PN 16: NBR 15.593; NTS 193
- Conexões de Topo por Termofusão: PE 100 – SDR 17 ou SDR 11: NBR 15.593; NTS193

DE	DISPONÍVEL			PREFERENCIAL		
	CP	EF	TP	CP	EF	TP
≤ 63	X	X	X	X	X	-
90	X	X	X	-	X	-
110	X	X	X	-	X	X
160	-	X	X	-	X	X
≥ 200	-	X	X	-	-	X

CP: Junta Mecânica de Compressão; EF: Eletrofusão; TP: Topo Termofusão



União de Compressão (CP)

Luva de Eletrofusão (EF)

União por Solda de Topo (TP)

A escolha do método de união depende das condições de instalação e até de sua disponibilidade, entretanto, via de regra, as juntas soldáveis são preferíveis em condução de fluidos agressivos e a temperatura mais elevada.

#### Família de Conexões de Compressão para Redes (DE 63 a 110)



#### Família de Conexões de Eletrofusão para Redes (DE 63 a 315)



#### Família de Conexões de Ponta Polivalentes para Redes (DE 63 a 315)

Admitidas somente conexões injetadas monolíticas como NBR 15.593; NTS193; EN 12.201-3.

Para colarinhos e reduções podem ser admitidas peças usinadas.

Peças gomadas (segmentadas) não são aplicáveis em tubulações de DE  $\leq 250$ .



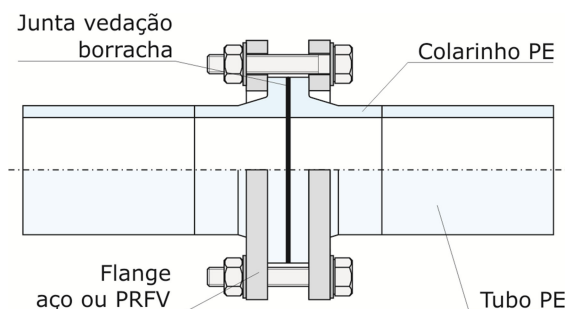
Maiores detalhes dos tipos disponíveis de conexões e as possibilidades de derivação, transições, instalação e dimensionamento da tubulação podem ser verificadas nos módulos 5.1 e 5.2 – Redes e adutoras de água e esgoto sob pressão.

Nas linhas para transporte de sólidos, onde é desejável que de tempos em tempos a tubulação seja virada em 90° para se homogeneizar o desgaste, que via de regra é maior na parte de baixo, as conexões mecânicas tipo **Colarinho/flange** são muitas vezes preferidas, pois permitem seu desacoplamento.

Muitas vezes são mais adequados **Flanges em Inox**, em **PRFV**, ou de **Aço Carbono Revestidos com Pintura Epóxi** ou mesmo revestidos com **Poliamida** ou Plástico reforçado com fibra de vidro, como **PP com fibra de vidro**, para maior resistência à corrosão.



## Colarinho/Flange



## 6 – Especificações para Compra dos Materiais

Os materiais de tubos e conexões devem ser especificados conforme as normas aplicáveis em função da aplicação (vide módulos específicos) definindo-se e padronizando-se os materiais (PE 80 ou 100), as dimensões, classes de pressão (SDR), o método de união e os tipos de conexões utilizadas em cada situação, bem como o método de instalação definido.

Os fabricantes e produtos devem ser pré-qualificados (vide módulo 2 – Controle de Qualidade) e atender aos procedimentos de inspeção aplicáveis para Recebimento de Materiais. Os fabricantes devem fornecer certificados de qualidade por lote de material fornecido acompanhando a Nota Fiscal dos Produtos, para sua rastreabilidade.

## 7 – Especificações para Contratação do Instalador

A empresa instaladora deve ter instaladores, soldadores e equipamentos de solda/Instalação qualificados conforme Módulo 3 – Qualificação de Soldador e Equipamentos de Instalação e executar a soldagem conforme Módulos 4.6 e 4.7, para solda de topo ou EF, respectivamente.

A empresa instaladora deve apresentar os certificados dos profissionais e dos equipamentos dentro da validade antes do início da obra.

A Contratante deve avaliar os certificados de Soldadores e Equipamentos do Instalador e fazer inspeção dos mesmos, se julgar necessário, solicitar demonstração de soldas e de aplicação dos equipamentos para avaliar seu adequado desempenho, ou mesmo solicitar ensaios de ambos conforme normas pertinentes. Vide Módulo 3.

## 8 – Estocagem, Manuseio de Materiais e Instalação

Devem se seguir as recomendações no módulo 4.1 – Procedimentos de Estocagem e Manuseio, e os de instalação e Reparo, respectivamente, módulos 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.9.

Devem ser levadas em consideração as condições do local, acesso e armazenamento.

## 9 – Inspeção, Acompanhamento e Recebimento de Obras

A Contratante deve assegurar-se que os materiais nas obras tenham os respectivos certificados de qualidade e aprovação.

A Contratante deve inspecionar a qualidade das soldas e uniões executadas, bem como o correto manuseio dos equipamentos e adequados procedimentos de instalação, conforme Módulo 2 – Controle de Qualidade e Módulo 4 – Instalação e Reparo.

A critério da Contratante, podem ser cortadas soldas para ensaios de laboratório, bem como exigir relatórios de todas as soldas executadas com os dados do soldador e equipamento que a realizou.

O recebimento da obra deve ser feito com a execução dos adequados procedimentos de limpeza da rede (higienização), testes de estanqueidade (módulo 4.8), e a entrega de as-built acompanhado dos relatórios de solda.