

MÓDULO 4

4.4 - PROCEDIMENTOS E DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÃO AÉREA

Nas instalações aéreas devem ser considerados os seguintes aspectos:

- Resistência à radiação UV e intempéries;
- O tipo de suportes da tubulação;
- Os esforços sobre os suportes devido à flexão, pressão interna e dilatação;
- A estética e a flexão admissíveis da tubulação;
- Necessidade de isolamento térmico para evitar perda de calor ou condensação;

● Resistência à Radiação UV e Intempéries

Quando em **instalações aparentes e expostas ao sol**, os tubos devem ter proteção adequada aos raios ultravioleta (UV), que podem levar à sua degradação precoce com rupturas frágeis.

Os **tubos de polietileno preto** (PE 80 ou PE 100 ou PERT ou PEX), produzidos com compostos adequadamente aditivados com 2 a 3% em massa de negro de fumo finamente disperso, conforme as normas específicas, como a NBR 15.561, ISO 4427, EN 12.201, entre outras, apresentam excelente resistência aos raios UV, com baixa perda de propriedades ao longo de sua vida útil, estimadamente superior a 50 anos, respeitadas as especificações de projeto.

Como ponto negativo, absorvem mais calor, com temperaturas superficiais podendo atingir 70°C, o que pode elevar a temperatura do fluido interno e portanto a temperatura média do conjunto tubo-fluido. Nesse caso, o projetista deve avaliar o SDR do tubo, aplicando o fator de correção de pressão em função da temperatura média do conjunto tubo-fluido (f_T).

Grosso modo, pode-se fazer uma interpolação entre a temperatura externa do tubo e a interna do fluido para determinar a temperatura média do conjunto tubo-fluido. Exemplo, temperatura externa do tubo de 70°C e do fluido 25°C, resultando em 47,5°C, adotando 50°C para fins de projeto.

$$MPO = PN \cdot f_T$$

MPO = Máxima Pressão de Operação

f_T = fator de redução de pressão em função da temperatura de operação

Fatores de Redução de Pressão (f_T) para temperaturas entre 25°C e 50°C para PE 80 e PE 100

Composto	Temperatura °C						
	25	27,5	30	35	40	45**	50**
Tipo A	1,0	0,90	0,87	0,80	0,74	0,67	0,61
Tipo B	1,0	0,86	0,81	0,72	0,62	0,52	0,43

Nota: ** Limitado à vida útil máxima de 15 anos

Em função da temperatura, pode ser adequado o uso de PERT ou PEX.

Fatores de Redução de Pressão para temperaturas entre 30°C e 95°C para PEX e PE-RT

Composto	Temperatura °C						
	30	40	50	60	70	80**	95**
PEX	0,92	0,83	0,73	0,65	0,60	0,52	0,43
PE-RT T1	0,80	0,70	0,66	0,56	0,47	0,36	0,22
PE-RT T2	0,92	0,77	0,71	0,61	0,58	0,49	0,34

Nota: PEX - Valores extraídos da Tabela DIN 16.893, com fator de segurança de 1,5.

PE-RT - Valores extraídos da Tabela ISO 24.033, com fator de segurança de 1,5.

** Limitado à vida útil máxima de 25 anos p/ 80°C e 10 anos p/ 95°C

Os **tubos de polipropileno (copolímero em bloco - PPB, homopolímero – PPH, e copolímero randômico – PPR)**, produzidos conforme normas NBR 15.813, ISO EN 15.874, ISO EN 15.494 e DIN 8077/8078 também são muito utilizados em instalações industriais, dada sua excelente resistência química e à temperatura, além de instalações para ar comprimido, sistemas de aspersores anti-incêndio e fluidos aquecidos em geral. Também podem ser aditivados com negro de fumo para proteção ao UV, todavia nesses casos ainda necessitam de outros estabilizantes. Daí, normalmente serem empregados não pretos, mas cinzas, azuis ou verdes.

Fatores de Redução de Pressão para temperaturas entre 30°C e 95°C para PPB, PPR, PPH

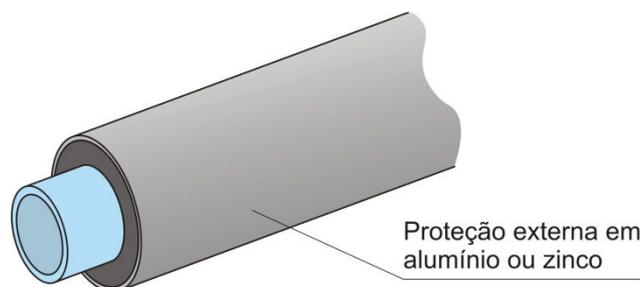
Composto	Temperatura °C						
	30	40	50	60	70	80**	95**
PPB 80	0,77	0,62	0,41	0,28	0,19	0,16	0,13
PPR 80	0,87	0,74	0,62	0,51	0,34	0,26	0,17
PPH 100	0,90	0,74	0,62	0,50	0,32	0,25	0,17

Nota: PP - Valores extraídos da tabela DIN 8077, com fator de segurança de 1,5, como adotado pela EN 15784

** Limitado à vida útil máxima de 25 anos p/ 80°C e 10 anos p/ 95°C

Os fatores de redução de pressão em função da temperatura apresentados são os padronizados nas normas específicas. No mercado, são encontrados materiais específicos, tanto de PE, quanto PP, PERT e PEX que podem apresentar desempenhos muito superiores, com fatores de redução à pressão melhores aos apresentados nas tabelas acima, que podem ser aplicados a critério do projetista.

Os **tubos não pretos, se expostos ao sol**, devem ser aditivados com protetores anti-UV, que podem assegurar suas propriedades mesmo em exposições da ordem de 5 anos. Para vida útil maior do que 5 anos, são necessárias proteções adicionais, como coberturas, ou capas metálicas ou fitas plásticas refletivas, como as usadas para isolamento térmico.



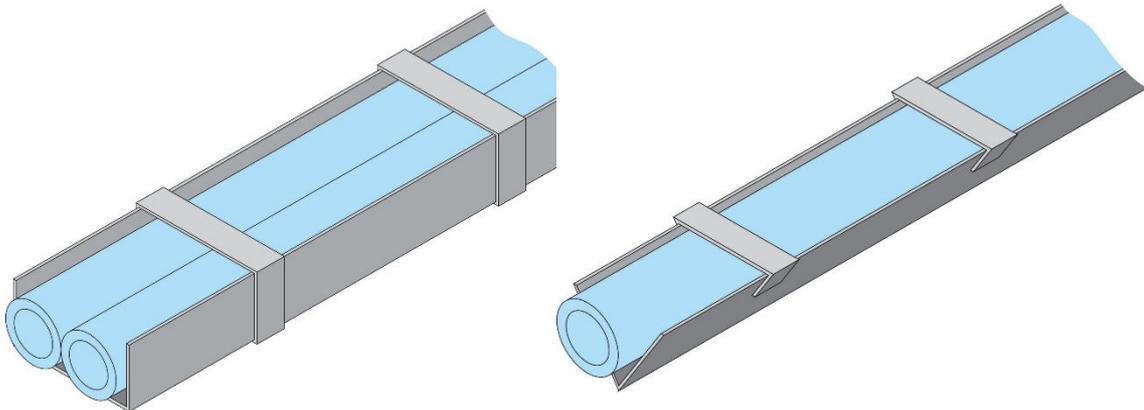
Para os **tubos não pretos**, o fabricante deve apresentar certificados de matéria prima que assegurem a vida útil desejada em relação à instalação exposta ao sol, normalmente atestadas através de ensaios designados por UV-6, UV-8, etc.

● Tipos de Suportação da Tubulação

Idealmente, a tubulação deve ser instalada tal que não sofra esforços adicionais à pressão interna, permitindo que dilate ou contraia livremente, curvando-se ou fletindo-se sem que provoque esforços sobre seus suportes, nem sofra os consequentes esforços, como momentos fletores, de flambagem, tração, etc, que poderiam comprometer sua vida útil.

Assim, as calhas, como as usadas em instalações elétricas, são desejáveis, pois a tubulação poderia ser instalada de maneira a poder mover-se, sem necessidade de suportes mais avantajados e resistentes a esforços de dilatação. Utilizam-se apenas suportes-guia para que a tubulação não saia da calha ao mover-se.

Para tubos de pequeno diâmetro (< 110 mm) a instalação continuamente suportada tende a ser preferida, evitando suportes instalados a muito curta distância um do outro.



Entretanto, nem sempre essa instalação é possível ou mais adequada, sendo também utilizadas as instalações fixadas em suportes espaçados. Nesses casos é fundamental que os esforços sobre os suportes e a tubulação sejam avaliados para que não ocorram flechas indesejáveis da tubulação, rupturas de conexões ou soldas, a quebra dos suportes ou mesmo vazamentos em juntas.

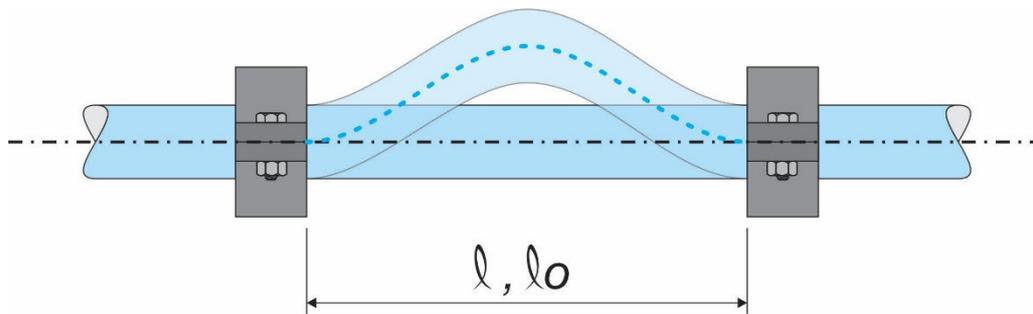
● Os Esforços Sobre a Tubulação e seus Suportes de Fixação

Os esforços são decorrentes de:

- Dilatação da tubulação;
- Pressão interna da tubulação;
- Flexão da tubulação

Assim, os esforços devem ser avaliados para o adequado dimensionamento dos suportes, e para se determinar a **máxima e a mínima distância entre os suportes** para que os esforços sejam minimizados e consequentemente mantendo-os dentro dos limites aceitáveis para a tubulação.

● 1 - Dilatação Térmica e os Esforços sobre os Suportes



A dilatação térmica numa tubulação é determinada por:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Onde: l_0 = Comprimento inicial da tubulação (m)

$\Delta l = l - l_0$ (sendo l comprimento final após dilatação)

$\Delta T = 0,9 \cdot T_{\text{operação}} - T_{\text{instalação}}$

α = Coeficiente de dilatação linear (valores típicos): $0,8 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ para PVC

$1,5 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ para PP

$2,0 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ para PE

A deformação relativa (ε) é igual a: $\varepsilon = \Delta l / l_0 = \alpha \cdot \Delta T$

Logo, se a tubulação for impedida de dilatar-se, surgirá uma tensão axial de contração de:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

E, por conseguinte, a ação de uma Força sobre os Suportes e apoios da tubulação de intensidade:

$$F = \sigma \cdot A$$

Onde: A = Área de secção transversal do tubo (cm^2)

Devido ao fenômeno do relaxamento, as forças de dilatação tendem a diminuir com o tempo, porém podem atingir valores elevados inicialmente, o que requer atenção especial no dimensionamento dos suportes e apoios da tubulação.

EXEMPLO:

Tubo de PE 80 diâmetro 110 SDR 11 (PN 12,5), com comprimento entre suportes de 10 m, instalado a 20°C e conduzindo um fluido a 60°C .

Temos a diferença de temperatura:

$$\Delta T = 0,9 \cdot 60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 34^\circ\text{C}$$

Portanto:

$$\Delta \ell = \ell_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T = 10 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 34 = 0,068 \text{ m} = 6,8 \text{ cm}$$

Como esta dilatação está sendo bloqueada pelos suportes, surgirá então uma tensão axial de:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$$

Sendo:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \Delta T = 0,0068 \text{ (ou seja, 0,68\%)}$$

O valor de E a ser utilizado na fórmula é o de curta duração, que pode ser determinado através de um gráfico de tração universal, em função de ε , levantado à temperatura especificada (no nosso exemplo, E seria determinado para a deformação $\varepsilon = 0,68\%$ a 60°C).

Como valores típicos de E (kgf/cm^2) de curta duração, podemos adotar os da Tabela abaixo:

Material	30°C	40°C	50°C	60°C	80°C	100°C
PE 80	7000	5000	3000	2000	-	-
PE 100	9000	7000	5000	3000	-	-
PPH	12000	8000	7000	5500	4000	3000
PPB	9000	7000	5000	4000	3000	2500
PPR	7000	5000	3500	3000	2500	2000

Nesse exemplo, vamos considerar um valor de E de $2000 \text{ kgf}/\text{cm}^2$.

Assim:
$$\sigma = 0,0068 \cdot 2000 = 13,6 \text{ kgf}/\text{cm}^2$$

Para a área da secção transversal do tubo, temos:

$$A = \pi \cdot (D^2 - d^2)/4$$

Onde: D = diâmetro externo do tubo = 11 cm

d = diâmetro interno = 9 cm .

Logo:
$$A = \pi \cdot (11^2 - 9^2)/4 = 31,42 \text{ cm}^2$$

Portanto:
$$F = \sigma \cdot A = 13,6 \text{ kgf}/\text{cm}^2 \cdot 31,42 \text{ cm}^2 = 427,3 \text{ kgf}$$

Assim, cada suporte deverá resistir a uma força de:

$$F/2 = 213,65 \text{ kgf}$$

● 2 – Esforços de Tração em Suportes e Juntas Devido à Pressão Interna

Tal qual a dilatação térmica, a pressão interna, positiva ou negativa, provoca expansão ou contração na tubulação que resulta em esforços de tração ou compressão, respectivamente, sobre os suportes, e à própria tubulação.

Quando um tubo é submetido a uma pressão interna, ao mesmo tempo em que se origina uma expansão diametral, o tubo sofre uma contração longitudinal de magnitude proporcional à primeira, relacionada pelo fator de *Poisson* (ν).

Se esta contração longitudinal for impedida, através de suportes, por exemplo, o tubo será submetido a uma tensão longitudinal proporcional à tensão circunferencial, imposta pela pressão interna e que pode ser expressa por:

$$\sigma_a = \nu \cdot \sigma_o$$

Onde: σ_a = Tensão longitudinal ou axial (kgf/cm²)

σ_o = Tensão circunferencial (kgf/cm²)

ν = Coeficiente de *Poisson*

Este fenômeno é particularmente importante para o dimensionamento de suportes e conexões tipo junta mecânica, além de atuar diretamente sobre as soldas.

Como o coeficiente de *Poisson* é aproximadamente 0,5, a tensão de tração máxima induzida no tubo, e conseqüentemente nas soldas, suportes e conexões, é da ordem de metade da tensão circunferencial.

A força de tração pode ser calculada por:

$$F = \sigma_a \cdot A \text{ (kgf)}$$

Onde: A = Área da secção transversal do tubo (cm²)

EXEMPLO:

Qual a força de tração que deve resistir uma junta mecânica, ou um suporte de tubulação, para um tubo de PE 80, diâmetro 110 mm SDR 11 (PN 12,5) sem soltar-se dos tubos, considerando-se teste de estanqueidade da linha com pressão de 1,5 PN?

TUBO PE 80 SDR 11: $D = 110 \text{ mm} = 11 \text{ cm}$

$d = 90 \text{ mm} = 9 \text{ cm}$

$e = 10 \text{ mm} = 1 \text{ cm}$

Pressão hidrostática = $1,5 \times PN = 1,5 \times 12,5 = 18,75 \text{ kgf/cm}^2$,

A tensão circunferencial resultante será de:

$$\sigma_o = \frac{P \cdot (SDR - 1)}{2} = \frac{18,75 \cdot 10}{2} = 93,75 \text{ kgf/cm}^2$$

Como: $F = \sigma_a \cdot A = \nu \cdot \sigma_o \cdot A$

$$\text{Área de secção transversal (A)} = \pi \cdot \frac{(D^2 - d^2)}{4} = \pi \cdot e \cdot (D - e) \text{ (cm}^2\text{)}$$

Tomando-se $\nu = 0,5$, teremos:

$$F = 0,5 \cdot 93,75 \cdot \pi \cdot 1 \cdot (11 - 1) = 1472,5 \text{ kgf}$$

Logo, cada suporte deverá resistir a uma força de:

$$F/2 = 736,25 \text{ kgf}$$

Nos exemplos dados, o esforço devido à pressão resultou superior ao esforço de dilatação.

● 3 - Esforços e Espaçamento Máximo entre Suportes devido à Flexão

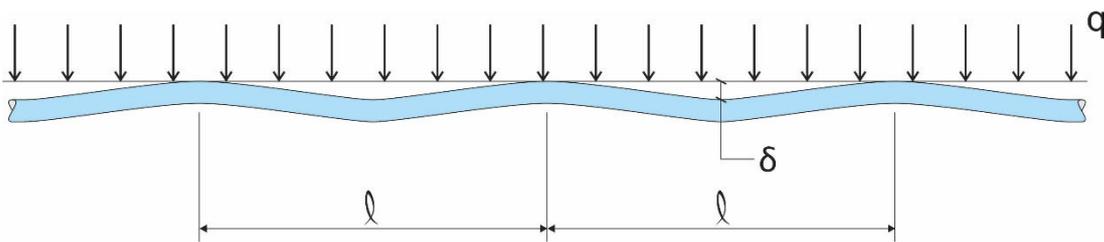


Fig.– Espaçamento entre suportes

Nas instalações aéreas, a flecha da tubulação (δ) é resultante da carga (q) e da distância entre os suportes de fixação (ℓ), podendo ser relacionadas pela seguinte equação:

$$\ell = \sqrt[3]{\frac{\delta \cdot 6\pi E \cdot (D^4 - d^4)}{q}}$$

Verifica-se que a relação (δ/ℓ) entre 1/200 e 1/300 resulta em flechas pouco perceptíveis a olho nú. O valor do módulo de elasticidade do tubo deve ser o de longa duração. Como referência, podemos adotar os valores da Tabela abaixo:

Material	30°C	40°C	50°C	60°C	80°C	100°C
PE 80	1500	1200	900	750	-	-
PE 100	2000	1600	1200	1000	-	-
PPH	3000	2600	2400	2100	1600	1000
PPB	2400	2100	1900	1700	1300	800
PPR	2400	2100	1900	1700	1300	800

E a fórmula pode ser simplificada por:

$$\ell = (0,4 \text{ a } 0,5) \cdot \sqrt[3]{\frac{E \cdot (D^4 - d^4)}{q}}$$

A carga (q) é a resultante da soma do peso do tubo com o do fluido interno, assim: $q = q_T + q_f$

Carga devido ao tubo (também extraível dos catálogos dos fabricantes):

$$q_T = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot \rho_T \quad (\text{kgf/cm})$$

Onde: ρ_T = Peso específico do tubo (kgf/cm³): PEAD: $0,96 \cdot 10^{-3}$ e PP: $0,92 \cdot 10^{-3}$

Carga devido ao fluido:

$$q_f = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_f \quad (\text{kgf/cm})$$

Onde: ρ_f = Peso específico do fluido ($1,0 \cdot 10^{-3}$ kgf/cm³ para água)

A carga (q) deve ser suportada pelos suportes:

Exemplo: Tubo PE 80 DE 110 SDR 11: D = 11 cm; d = 9 cm.

$$q = q_T + q_f = \frac{\pi \cdot (11^2 - 9^2) \cdot 0,96 \cdot 10^{-3}}{4} + \frac{\pi \cdot 9^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{4}$$

Logo, os suportes devem suportar o peso de $q = 0,093 \text{ kgf/cm}$ ou $9,3 \text{ kgf/m}$

DISTÂNCIA ENTRE APOIOS PARA TUBOS CHEIOS DE ÁGUA
Gráfico Orientativo Simplificado, em função da temperatura

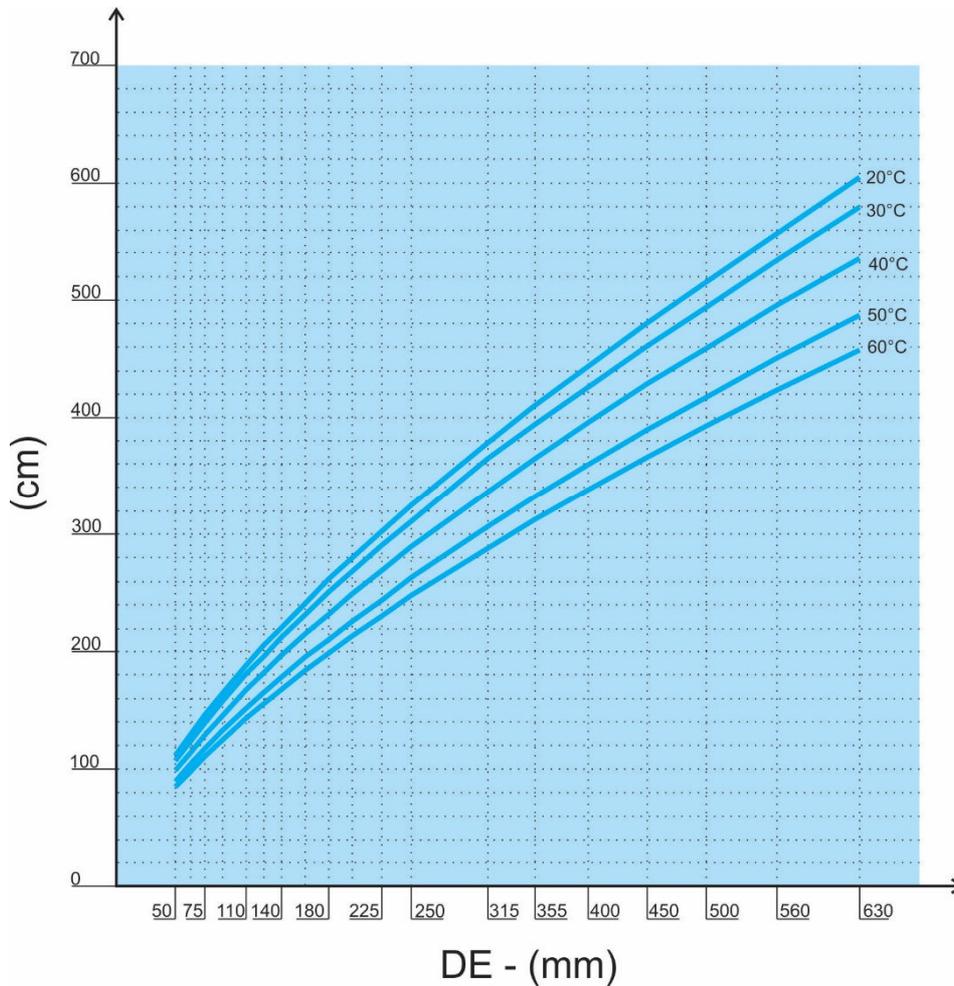


Fig. – Distância entre apoios para tubos cheios de água

Notas: Estas distâncias entre suportes se aplicam para:
 PE 80: SDR ≤ 17
 PE 80 SDR >17 com L x 0,8
 PE 100 = PE 80 x 1,1
 PP = PE 80 x 1,4

• 3.1 – Espaçamento Máximo entre Suportes devido à Dilatação Térmica

Deve-se verificar também o espaçamento máximo admitido entre suportes de fixação para evitar-se a flambagem devido à dilatação da tubulação, que pode ser determinado simplifadamente por:

$$\lambda \leq 0,357 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{D^2 + d^2}{\alpha \cdot \Delta T}}$$

• 4 – Distância Mínima de Suportes de Fixação de Curvas e Tês devido à Dilatação

Em fixações de ramais e derivações (Tês) e mudanças de direção (curvas e cotovelos), deve-se atentar para que as dilatações dos tubos não incorram em tensões de flexão excessivas que levem à ruptura nesses pontos. Para tanto, é necessário assegurar-se de que as distâncias de fixação dos suportes nas extremidades dos Tês e Curvas tenham um valor acima de um mínimo que permita certa flexibilidade da tubulação, absorvendo a dilatação do trecho.

De acordo com Menges e Roberg, este valor mínimo (a) deve ser:

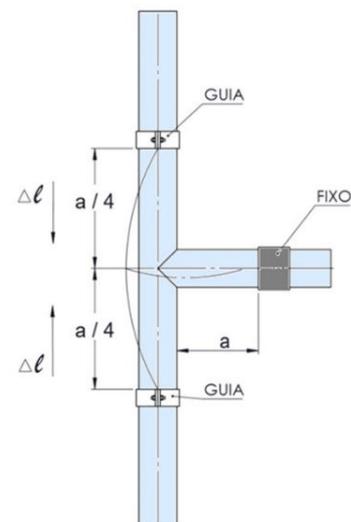
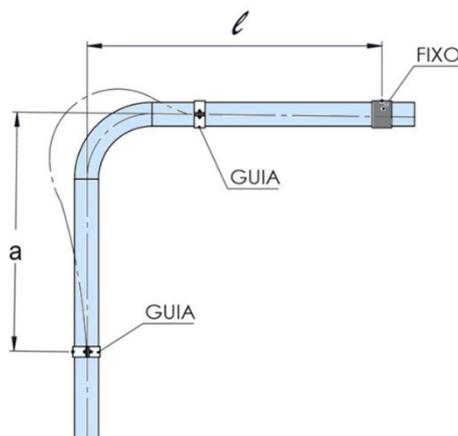
$$a \geq k \cdot \sqrt{\Delta\lambda \cdot D} \text{ (cm)}$$

Onde: *D* = Diâmetro externo do tubo

$\Delta\ell$ = Dilatação térmica = $\alpha \cdot \Delta T \cdot \ell$

ℓ = Distância entre o suporte de fixação e a derivação, ou mudança de direção

ΔT	10°C	20°C	k	=
k	23	28		



Fig– Dilatação em Tês e curvas

• 5 – Compensadores de Dilatação - Efeito Lira

Para minimizar as tensões e deformações de dilatação térmica e na impossibilidade de permitir-se o livre movimento da tubulação, podem ser adotados compensadores tipo telescópicos ou sanfonados. Todavia, além de caros, os compensadores normalmente encontrados no mercado exibem o inconveniente de absorverem dilatações e contrações muito pequenas, se comparadas às encontradas nos tubos plásticos - a dilatação do PVC é da ordem de 7 vezes maior que a do aço, a do PEAD cerca de 18 vezes e a do PP é de 16 vezes, além de exigirem uma força mínima de dilatação por vezes maior que as desenvolvidas pelos tubos plásticos.

Desta forma, a utilização de recursos como curvas e liras de compensação são normalmente preferidos.

O dimensionamento do comprimento das pernas da lira de compensação pode ser feito pela fórmula anterior:

$$a \geq k \cdot \sqrt{\Delta\lambda \cdot D} \text{ (cm)}$$

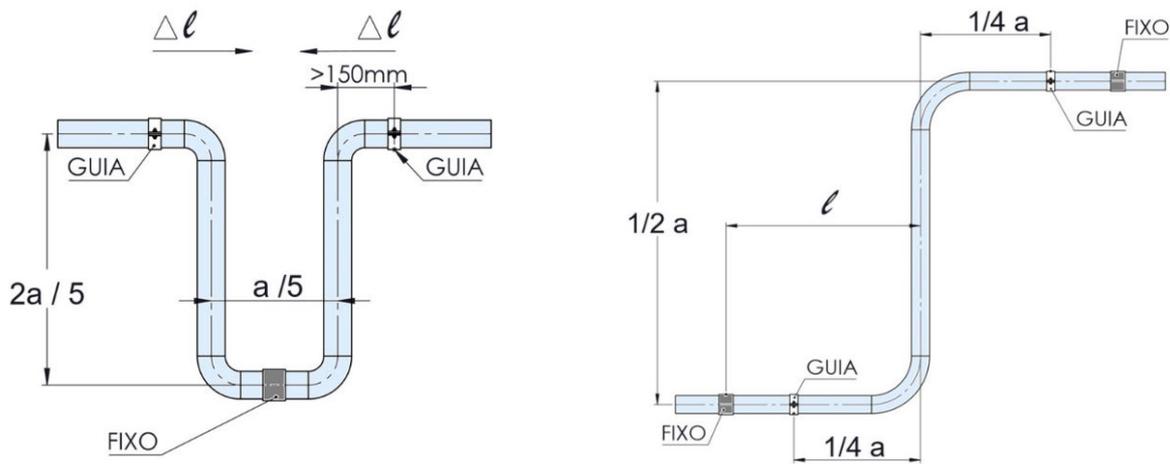


Fig.- Instalação com Efeito Lira.

Ábaco de Expansão Térmica para tubos de PEAD e PP

Valores aproximados, sendo α médio = $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

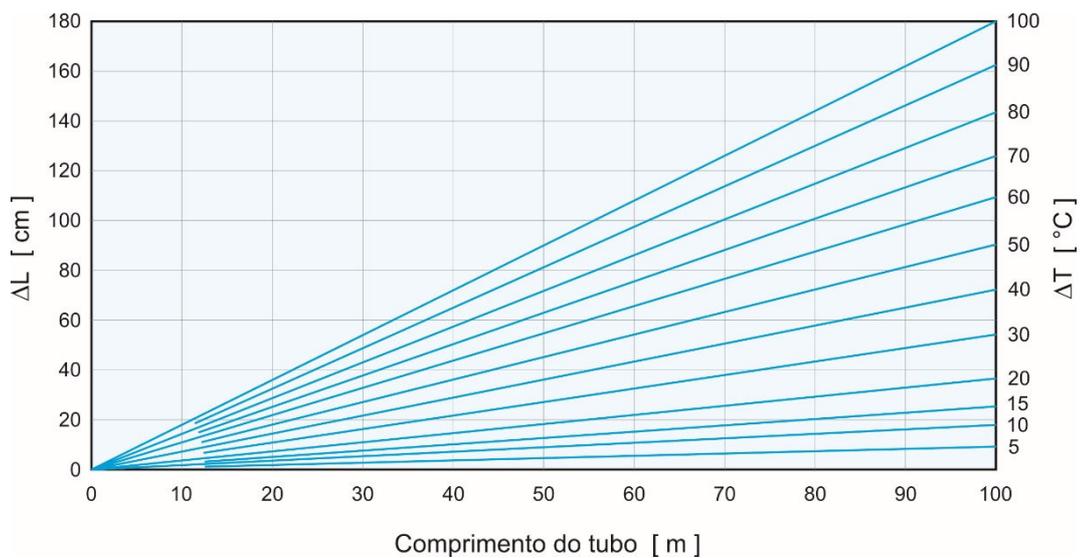


Fig.- Expansão térmica linear para tubos de PE e PP