

MÓDULO 7

7.1 – LINHAS DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Nas aplicações industriais há diversas utilidades onde os tubos poliolefinicos apresentam-se como ótima solução técnica-econômica, 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 Ar Comprimido: Módulo 7.3
- Redes de Gás Enterradas Módulo 9.1
- Linhas de Drenagem e Esgoto por Gravidade Módulo 10.1

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

Neste módulo, vamos abordar as especificidades na condução de efluentes industriais e produtos químicos, presentes nas plantas de produção, em laboratórios ou nos resíduos industriais.

1 – A Escolha do Material da Tubulação:

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.

Nas aplicações específicas para o transporte de fluidos e efluentes químicos, seja na planta de produção industrial ou nos seus laboratórios, os aspectos mais preponderantes são:

- Resistência à temperatura;
- Resistência química.

1.1 – Resistência à Temperatura

Para determinar a resistência à pressão em função da temperatura, deve-se determinar a temperatura média de operação da tubulação em função da temperatura interna do fluido e do ambiente, e aplicar o fator f_T , como abaixo (vide detalhes no Módulo 1.1).

$$MPO = PN \cdot f_T$$

MPO = Máxima Pressão de Operação

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

Fatores de Redução de Pressão (f_r) 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

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

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

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

1.2 – Resistência Química

Nos tubos metálicos, a vida útil é geralmente determinada pela degradação por corrosão, química, galvânica ou eletrolítica.

Já os tubos plásticos, como os de PE e PP, não sofrem corrosão eletrolítica ou galvânica.

Para os usos mais comuns, ou mesmo para a maioria dos produtos considerados agressivos a outros tubos, os poliolefinicos podem ser considerados materiais praticamente imunes ao ataque químico à temperatura ambiente.

A resistência química deve ser avaliada considerando-se não apenas a solução do polímero, como a ação de tensoativos (stress cracking) e a permeabilidade.

O PEAD e o PP são muito parecidos quanto à solubilidade e ao inchamento pela ação de substâncias químicas e não reagem com solventes, nem ocorre a formação de uma solução do polímero a temperatura ambiente.

Soluções aquosas diluídas não afetam o PE. Ácidos fortes, bem como agentes oxidantes, atacam estes polímeros lentamente, sendo estes últimos mais agressivos ao PP. Hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos e clorados atacam estes materiais lentamente.

Somente materiais não voláteis ou pouco voláteis podem causar danos permanentes, uma vez que as propriedades originais reaparecem após a evaporação do agente inchante.

Devido à maior resistência a temperatura do PP, ele se torna mais apropriado, na maioria dos casos, à condução de produtos químicos a temperatura acima de 50°C em comparação ao PE.

A ótima resistência ao gás natural e a gases manufacturados de petróleo, somada à grande impermeabilidade aos mesmos e seus relativos baixos custos de instalação tornam o PEAD a melhor opção para distribuição destes gases a pressões de até 10 bar.

Na Tabela abaixo apresentamos uma comparação genérica da resistência química desses materiais.

RESISTÊNCIA QUÍMICA

Agente	PE	PP
Soluções Aquosas diluídas (ácidos)	R	R
Ácidos Fortes Concentrados e Agentes oxidantes	R - A	R - A
Hidrocarbonetos alifáticos	I/P	I/P
Hidrocarbonetos aromáticos e clorados	A/I/P	N
Gás Natural e Manufacturados de petróleo	R	R/P
Detergentes	S	R
Álcoois	R	R

R = resistente; A = sofre ataque; I = inchaço; P = permeabilidade, S = stress cracking; N = não resistente.

Verificou-se que a resistência do material a um produto químico é influenciada pelas condições de trabalho a que o material é submetido. No caso de tubos, então, esta resistência deve ser comprovada fazendo-se testes de pressão com a substância a que será submetido. Em outros casos, verificou-se que determinadas quantidades de hidrocarbonetos em solução aquosa, que não afetam o tubo em testes de pressão, provocam inchamento do tubo sob as condições de trabalho, por terem um efeito cumulativo.

Os ensaios de pressão resultam num fator de resistência f , que significa a relação entre a resistência do material num meio agressivo e sua resistência na água, tomada como fator de resistência igual a 1, determinando-se dois fatores: f_t e f_σ .

O fator f_t (fator de tempo) é definido como sendo a relação entre o tempo de ruptura do tubo no meio agressivo e o tempo de ruptura em água para a mesma tensão.

$$f_t = t_{\text{fluido}} / t_{\text{água}}$$

Ou seja, para as mesmas condições de temperatura e pressão, a vida útil do tubo com o meio agressivo será:

$$t = t_{\text{água}} \cdot f_t$$

O fator f_σ (fator de tensão) é definido como sendo a relação entre a tensão de ruptura do tubo no meio agressivo e a tensão de ruptura em água para um certo tempo.

$$f_\sigma = \sigma_{\text{fluido}} / \sigma_{\text{água}}$$

Ou seja, Para a mesma vida útil esperada na água a Máxima Pressão de Operação no meio agressiva deve ser: .

$$MPO = PN \cdot f_\sigma$$

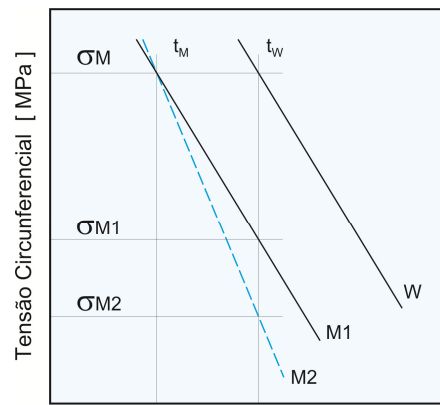
Logo, considerando-se o efeito da temperatura da tubulação (1.1) com sua resistência ao fluido agressivo, a Máxima Pressão de Operação deve ser determinada por:

$$MPO = PN \cdot f_\sigma \cdot f_T$$

MPO = Máxima Pressão de Operação

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

f_σ = fator de redução de pressão em função da resistência química



Tempo de Carga [h]
Curvas para determinação de *f*

FATORES DE RESISTÊNCIA QUÍMICA (*f*) MAIS USUAIS PARA PEAD E PP

SUBSTÂNCIA	CONC. (%)	TEMP. (°C)	FATOR DE TEMPO <i>f_t</i>		FATOR DE TENSÃO <i>f_σ</i>	
			PEAD	PP	PEAD	PP
Água	100	20/80(95)	1	1	1	1
Água clorada	0,7	80	1	-	1	-
Ácido acético	100	60 (80)	0,07	< 0,1	0,3	-
	60	60	0,4	-	0,4	-
Ácido clorídrico	20	-100	-	0,8	-	0,9
	30	80	0,35	0,2	0,7	0,57
Ácido crômico	10	80	0,5	-	0,8	-
	20	80	0,25	-	0,6	-
Ácido fosfórico	75	80	-	0,4	-	0,7
Ácido nítrico	15	80	-	0,2	-	0,6
	50	80	-	0,1	-	0,32
	65	80	0,01	-	0,2	-
Ácido sulfúrico	40	-100	-	>1	-	1
	80	80	5	0,2	1	0,6
	90	-80	-	0,05	-	-
	98	-20	-	<0,01	-	-
Ácido sulfúrico (65%) saturado com Na HSO4	100	-100	-	0,7	-	0,9
Ar	100	80	10	>5	1	1
Benzeno	100	60	0,07(σ=4MPa)	-	0,63	-
			>1(σ=2MPa)		1	
Detergentes (agentes surfactantes)	2 (3)	80 (100)	0,25	0,2	0,6	0,66
Efluente de fábrica de celulose	100	-100	-	1	-	1
Emulsão Hidrogel PH 9,5	100	-100	-	1	-	1
Etil acetoacetato	100	80	0,2	-	0,8	-
Gás Natural	100	80	5	-	1	-
Hipoclorito de sódio	20 (12)	80	0,02	<0,01	0,5	-
Metanol	100	60	1	-	1	-
Octanol	100	60	0,3	-	0,6	-
Óleo combustível	100	60	0,2	-	0,7	-
	100	60	0,08	-	0,7	-
Óleo cru não fracionado	100	20	1	-	1	-
	100	-100	-	0,025	-	0,4
Petróleo	100	60	0,03(σ=4MPa)	-	0,63	-
Solução de sais	25	80	9	-	1	-
Soda cáustica	50 (30)	80	15	0,3	1	0,7
Trietileno glicol	100	-100	-	0,65	-	0,85

Fonte: HOECHST () Valores que referem-se aos ensaios executados exclusivamente no PP
- Ensaio não executado

No anexo, apresentamos a Tabela de Resistência Química genérica para PE e PP.

Somente fluidos pouco ou não voláteis causam danos permanentes. As propriedades do material voltam aos valores originais após a evaporação do agente inchante, entretanto a permeabilidade é outro aspecto muito importante na condução de fluidos agressivos.

A permeação ou difusão de um fluido pela parede do tubo é dada por:

$$V = k \cdot \frac{\pi \cdot D_m \cdot L \cdot (P_1 - P_2) \cdot t}{e} \approx k \cdot \pi \cdot SDR \cdot L \cdot \Delta P \cdot t \quad (cm^3)$$

Onde: k = coeficiente de permeabilidade ao fluido [$cm^3/(m \cdot bar \cdot dia)$]
 P_1 = pressão interna no tubo (bar)
 P_2 = pressão externa no tubo (bar)
 D_m = Diâmetro médio do tubo ($DE - e$) (m)
 L = comprimento do tubo (m)
 e = espessura de parede do tubo (m)
 t = tempo em dias de 24 h

PERMEABILIDADE DO PEAD e PP

Alguns valores típicos de permeabilidade (k) do PE e PP, 1 bar [$cm^3/(m \cdot bar \cdot dia)$]

Fluido	PEAD a 20°C	PP a 25°C	PP a 40°C	PP a 50°C
Ar	0,029	0,028	0,072	0,144
Nitrogênio	0,018	0,017	0,052	0,104
Oxigênio	0,072	0,076	0,204	0,368
Dióxido de Carbono	0,28	0,244	0,60	1,08
Hidrogênio	0,22	0,64	1,12	1,88
Hélio	0,15	0,70	1,20	1,76
Argônio	0,066	0,66	0,164	0,32
Monóxido Carbono	0,036	-	-	-
Dióxido de Enxofre	0,43	-	-	-
Etanol	0,089	-	-	-
Gás Natural, Metano	0,056	-	-	-

Fonte: Basell e Braskem

Ex.: Tubo PEAD SDR 11, com pressão interna de 4 bar, com extensão de 1.000 m. Definir a difusão de gás natural durante 1 ano.

$$V = 0,056 \cdot \pi \cdot 11 \cdot 4 \cdot 1000 \cdot 365 = 2,825 \text{ m}^3$$

Dados fornecidos pela Braskem, em ensaios de tubos não pressurizados com combustíveis, resultam na seguinte permeabilidade e inchamento para tubos de PE 80 pretos a 23°C:

Fluido	Permeabilidade (g/m ² .dia)	Inchamento (%)
Gasolina Comum	5,84	2
Diesel Comum	< 1,0	1,4

COMPARATIVO ENTRE MATERIAIS

(Valores e Propriedades típicas)

Propriedades	PE 80	PE 100	PPB 80	PPR 80	PPH 100	PB	PEX	PVC	CPVC	PVDF
MRS (MPa)	8	10	8	8	10	12,5	8	25	25	25
σ (MPa)	6,3	8	6,3	6,3	8	8	6,3	10	10	16
Densidade (g/cm ³)	0,95	0,96	0,91	0,91	0,91	0,94	0,94	1,4	1,5	1,8
Barra (B)/ Bobina (C)	B/C	B/C	B/C	B/C	B	B/C	B/C	B	B	B/C
Faixa de temperatura (°C)	-70 50	-70 50	-10 80	-10 95	0 95	0 95	-40 110	0 50	0 80	-40 140
Resistência ao impacto *	4	4	3	2	1	2	5	0	0	4
Flexibilidade *	4	3	3	2	1	4	4	0	0	1
Resistência à abrasão *	4	5	3	3	3	3	5	3	2	5
Resistência à chama *	1	1	1	1	1	1	1	3	4	4
Resistência à intempérie Natural/Preto *	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1?	2/4	1/3	1	4
Resist. ao stress cracking *	1	2	5	5	5	5	5	5	5	5
Resist. soluções salinas *	4	4	5	5	5	4	4	4	5	5
Resist. a ácidos clorados *	3	3	3	3	3	3	4	3	4	5
Resist. a ácidos fluorados *	3	3	2	2	2	4	4	2	1	5
Resist. a ácidos sulfúricos *	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4
Resist. a álcoois *	4	4	4	4	4	4	4	4	0	2
Resist. a detergentes*	3	3	4	4	4	4	3	4	2	5
Resist. a soda cáustica*	4	4	5	5	5	4	4	4	4	0
Resist. Hidrocarbonetos alifáticos* (gasolina, diesel)	2	2	2	2	2	1	2	2	2	3
Resist. Hidrocarbonetos aromáticos* (benzeno, tolueno)	2	2	0	0	0	0	2	0	0	2
Resist. Hidrocarbonetos clorados* (tetracloro de carbono)	1	1	0	0	0	0	1	0	0	3
Resist. à gás natural, GLP, butano, etc*	4	4	3	3	3	1	4	4	4	5
Toxidez*	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5
Condutividade térmica-W/mK	0,43	0,43	0,22	0,22	0,22	0,22	0,35	0,16	0,15	0,17
Coefficiente de expansão linear (10 ⁻³ /K) (20-90)°C	1,7	1,7	1,5	1,5	1,5	1,3	1,7	0,8	0,7	1,1
Solda por termofusão*	5	5	5	5	5	5	0	2	2	5
Solda por eletrofusão*	5	5	5	5	5	5	2	0	0	0
Solda a frio (solvente)*	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0
Junta mecânica	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4

Nota: * 0 (ruim), 1(fraco), 2(regular), 3 (bom), 4 (muito bom), 5 (ótimo)

2 - Isolamento Térmico

Muitas vezes é necessário determinar a perda de calor ou condensação do fluido e seu isolamento térmico. As premissas e cálculos para os tubos de PE e PP são apresentados no módulo 4.10 do Manual de Práticas da ABPE.

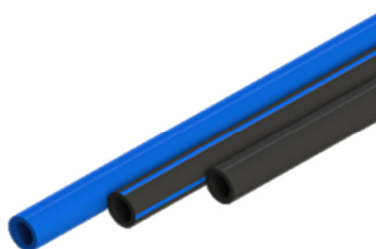
3 – Dimensões de Tubos

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

3.1 – 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 aditivismos 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.



4 – 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)



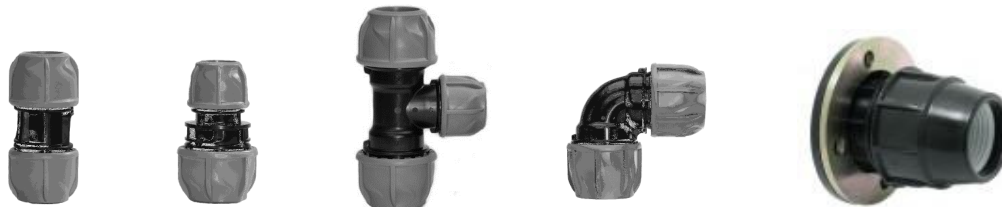
Luva de Eletrofusão (EF)



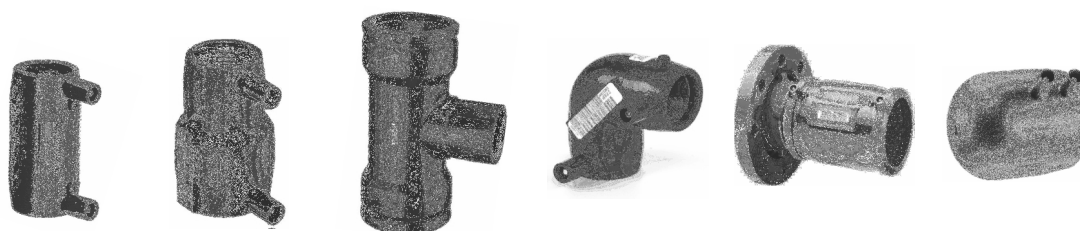
União por Solda de Topo (TP)

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 ≤ 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.

5 – 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.

6 – 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.

7 – Estocagem, Manuseio de Materiais e Instalação

Devem se seguir as recomendações do módulo 4.1 – Procedimentos de Estocagem e Manuseio, e os de instalação e Reparo, módulos 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.9.

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

8 – 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.