Projeto, Fabricação, Montagem, Inspeção e Testes de Sistemas de Tubulação em Serviço Tóxico

1. Conceituação e Objetivos

1.1. Um **sistema de tubulações** é classificado como em **Serviço Tóxico** quando opera com um **fluido tóxico**, em que uma simples exposição, à quantidade ainda que muito pequena causada por vazamento, pode produzir dano sério e irreversível às pessoas, por inalação ou contato corporal, mesmo que prontamente seja prestado o devido socorro.
As tubulações que contenham este fluido tóxico, como produto ou como um contaminante, e em que o risco de exposição de pessoa(s), no caso de vazamento, é considerado significativo, devem ser projetadas e construídas conforme os requisitos deste procedimento.
Os Fluidos Tóxicos incluem:

- Fluido Letal

https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-A_to_part_355

- Fluido Tóxico VHAP- *Volatile Hazardous Air Pollutants*

https://www.epa.gov/haps/initial-list-hazardous-air-pollutants-modifications
http://www.epa.gov/ttn/atw/orig189.html.
Sempre que o produto processado ou armazenado contenha um teor de qualquer dessas substâncias maior ou igual a 5% em peso, a instalação é caracterizada para ser de Serviço Tóxico.

1.2. Os requisitos deste procedimento aplicam-se aos sistemas de tubulação classificados como em Serviço Tóxico, somente por conta do fluido tóxico presente.
Caso o sistema de tubulações seja sujeito a condições que acarretam a deterioração do tipo corrosão sob tensão ou fissuração induzida pelo Hidrogênio ou por ataque eletroquímico, prevalecem as prescrições mais rigorosas.

1.3. Para as tubulações pertencentes a Serviço Tóxico, os requisitos deste procedimento aplicam-se em adição aos parágrafos básicos da **norma ASME B31.3 (capítulos I a VI e o capítulo VII), e as prescrições do capítulo VIII - "Piping for Category M Fluid Service", da mesma norma**.

1.4. No caso de dúvidas ou contradição prevalecem os requisitos mais rigorosos.

2. Principais Poluentes Tóxicos

Os principais poluentes tóxicos emitidos pelas refinarias de petróleo, plantas químicas e petroquímicas são:

- Compostos Orgânicos Voláteis: por exemplo, acetaldeído, benzeno, 1,3-butadieno, formaldeído, toluenos e xilenos;
- Compostos Orgânicos Voláteis precursores da formação de Ozônio;
- Compostos Orgânicos Semivoláteis e não voláteis: por exemplo, benzo (a) pireno, dioxina/furanos clorados, cresóis e naftaleno;
- Metálicos: por exemplo, compostos contendo Arsénio, Cádmio, Cromo, Mercúrio e Níquel;
- Inorgânicos: por exemplo, Cloro, sulfeto de Hidrogénio (H_2S) e cloreto de Hidrogénio;
- Monóxido de Carbono (CO);
- Dióxido de Nitrogênio (NO_2) e óxidos de Nitrogênio (NOx);
- Material Particulado e Poeiras;
- Dióxido de Enxofre (SO_2);

A monitoração preventiva é com o método EPA 40 CFR PART 60 – 21, que é uma medição no campo, com "sniffer" muito próximo do ponto de emissão (a cerca de 1cm), onde o foco de emissão deve estar abaixo do limite indicado.
Assim quando a emissão do foco se diluir no ambiente, a presença do fluido tóxico está bem abaixo do limite.

A seguir, são especificadas as condições para classificação de Serviço Tóxico, de algumas principais substâncias, geralmente encontradas nas instalações de processamento de óleo&gás.

2.1. Serviço Tóxico com Gás Sulfídrico ou Sulfeto de Hidrogênio - H_2S

O H_2S é um gás hipersensibilizante, venenoso e dependendo da concentração é capaz de paralisar o sistema respiratório humano e matar em questão de minutos.
Densidade de 1,19 em relação ao ar, por isso nos vazamentos fica próximo ao solo, ao nível de respiração das pessoas, sendo um dos mais perigosos poluentes atmosféricos.

Toxicidade do gás sulfeto de Hidrogênio-H_2S	
Em baixas concentrações tem odor forte e desagradável, semelhante ao de ovo podre. É considerado seguro em até 8 horas diária de exposição.	0.03 ppm máximo
Pode causar irritação ocular. O uso de máscara é necessário, pois prejudica o metabolismo.	4 ppm
Exposição máxima 10 minutos. O olfato desaparece em 3 a 15 minutos. Causa visão nebulosa e lesão na garganta. Reage violentamente com enchimentos de amálgama de mercúrio dental.	10 ppm
A exposição por mais de 1 minuto causa lesões graves aos nervos óticos e perda de olfato.	20 ppm
Causa inconsciência rapidamente (15 minutos no máximo). Paralisia respiratória em 30 a 45 minutos. É necessária a ressuscitação artificial imediata.	100 ppm
Em poucos minutos, lesões oculares graves e danos permanentes aos nervos óticos. Dor aguda nos olhos e de garganta.	200 ppm
Imediatamente, perda da capacidade de raciocinar e de equilíbrio. Paralisia respiratória em 15 minutos	300 ppm
Causa asfixia e inconsciência em 3 a 5 minutos. Precisa de pronto resgaste e ressuscitação artificial imediata.	500 ppm
Inconsciência imediata. Dano cerebral permanente, respiração suspensa e morte imediata.	700 ppm

Considera-se concentração letal a partir do teor de 500 ppm, pois, é quando o H_2S mata em instantes.

O critério utilizado para classificar o Serviço Tóxico com H_2S é:

- Para tubulação:
  Teor H2S ≥ 3% em peso no líquido ou 500 ppmv no vapor
  Classificação: Fluido Categoria “M” do código ASME B31.3
- Para Vaso de pressão:
  Teor H2S ≥ 3% em peso no líquido ou 500 ppmv no vapor
  Classificação: Fluido Letal conforme ASME Sec VIII Div 1 UW-2.

2.2. Serviço Tóxico com Benzeno

Conforme estabelecido na NR 15 - Atividades e Operações Insalubres - Anexo XIII-A – Benzeno, no Brasil o atual limite de tolerância à exposição ao Benzeno, que não exclui o risco à saúde, é:

- 1,0 (um) ppm (3,2 mg/m³ ar nas CNTP) para qualquer empresa que produza, transporte, armazene, utilize ou manipule benzeno e suas misturas líquidas, contendo 1 % (um por

cento) ou mais em volume, e aquelas por elas contratadas; incluem-se nesta exigência as refinarias de petróleo, as industrias petroquímicas e químicas que utilizam o benzeno em processos de síntese química, e em trabalhos de análise ou investigação realizados em laboratório, quando não for possível sua substituição;
- 2,5 (dois e meio) ppm para as empresas siderúrgicas.

O padrão da OSHA é também manter o ambiente sempre abaixo de 1ppm de presença de Benzeno.

O critério utilizado para classificar o Serviço Tóxico com Benzeno é:
- Para tubulação

Devido ao aspecto cancerígeno do Benzeno e demais hidrocarbonetos aromáticos, todas as tubulações com correntes, contendo 1% ou mais de Benzeno e 25% ou mais dos aromáticos C7 até C9, são consideradas em Serviço Tóxico.
- Para Vasos de pressão

Considerar Serviço Tóxico a partir de 100 ppm em peso de Benzeno.

2.3. Serviço Tóxico com Aromáticos BTX – Benzeno, Tolueno e Xileno
Produtos envolvidos: C5+, naftas, gasolinas, reformados e derivados aromáticos.
Contaminantes: Correntes com teor de Benzeno maior ou igual que 1% em volume e presença de outros aromáticos como Xileno e Tolueno

O critério utilizado para classificar o Serviço Tóxico com Aromáticos é:
- Classificar como Serviço Tóxico com Benzeno as correntes, simples ou bifásicas, com teor de Benzeno, presente no líquido ou no gás, maior ou igual que 1% em volume, processadas ou armazenadas nos equipamentos e tubulações, independentemente da pressão ou temperatura de operação;
- Classificar como Serviço Tóxico com Aromáticos as correntes com 25% ou mais em volume de Xileno e/ou Tolueno, presentes nos equipamentos e tubulações, independentemente da pressão ou temperatura de operação.

2.4. Serviço Tóxico com Monóxido de Carbono - CO
O monóxido de Carbono é um gás venenoso que não tem cheiro ou sabor e quando inalado, dependendo da concentração, é capaz de matar sem se perceber o perigo.
Depois que o monóxido de Carbono é respirado, ele entra na corrente sanguínea e se mistura com hemoglobina (a parte dos glóbulos vermelhos que transportam Oxigênio ao redor do corpo).
Quando isso acontece, o sangue não é mais capaz de transportar Oxigênio, e essa falta de Oxigênio faz com que as células e os tecidos do corpo falhem e morram.

Toxicidade do gás monóxido de Carbono-CO	
Limite de tolerância (LT)	Até 33 ppm.
Dor de cabeça	Acima de 200 ppm
Palpitações	De 1000 a 2000 ppm
Inconsciência	De 2000 a 2500 ppm
Morte	Acima 4000 ppm

Nota: Limite de tolerância (LT) é a concentração ou intensidade de agentes nocivos abaixo da qual a maioria dos seres expostos não deverá apresentar danos específicos à saúde, durante a vida laboral, de jornadas de 48 horas semanais.

O critério utilizado para classificar o Serviço Tóxico com CO é:
- Para vasos de pressão e tubulações:

Teor CO ≥ 2000 ppmv

2.5. Serviço Tóxico com NOx

Dentre os NOx, apenas dois são poluentes primários considerados relevantes no que diz respeito à poluição atmosférica:

- Dióxido de nitrogênio (NO_2): É um gás extremamente tóxico e irritante, pois, ao se entrar em contato com ele sente-se ardências nos olhos, nariz e mucosas no geral, devido à reação com a pele exposta ao ar, provocando lesões celulares. Os mais atingidos são os revestimentos celulares das vias respiratórias, indo desde o nariz até os alvéolos pulmonares. Em casos de intoxicação grave, pode ainda causar hemorragias, insuficiência respiratória e até a morte. Também participa de reações com radicais hidroxila presentes no vapor d'água, provocando a chuva ácida pela formação do ácido nítrico (HNO_3) e, ainda, da formação do *smog* fotoquímico.
- Óxido nítrico (NO), também chamado de monóxido de nitrogênio é comumente encontrado no ar atmosférico, porém em pequenas quantidades. Considerado altamente tóxico, pois possui radicais livres (elétron sobrando), tornando-o altamente reativo.

Juntos, esses dois compostos são considerados as moléculas mais importantes da química da atmosfera. Alguns autores também incluem nessa lista o N_2O (óxido nitroso) que, apesar de não ser importante enquanto poluente da troposfera, acaba por exercer grande influência na estratosfera, no que diz respeito ao desequilíbrio do efeito estufa.

- Limite para a condição de ocorrência

Teor NOx ≥ 150 ppmv

2.6. Serviço Tóxico com CO_2

O dióxido de Carbono (CO_2), mais conhecido como gás carbônico, é um óxido presente na atmosfera, é associado ao chamado efeito estufa e por isso é considerado prejudicial ao ambiente.
Esse gás é produzido das mais variadas formas com queima de combustíveis derivados do petróleo, indústrias e queimadas.
Sendo os veículos movidos a combustível de petróleo os principais emissores de CO_2 no meio ambiente.
As altas taxas de CO_2 na atmosfera são um dos maiores responsáveis por grande parte de internações por asma e outros problemas respiratórios que podem levar a morte.
Ingestão: Pode causar náusea, vómitos, hemorragia gastrointestinal.
Inalação: Asfixia (sufocamento), causa hiperventilação.
Pele: Gelo seco pode ocasionar ulcerações.
Olhos: Pode levar a cegueira.
Aumentar a renovação de ar externo; restringir as fontes de combustão e o tabagismo em áreas fechadas; eliminar a infiltração de fontes externas.

Limite para a condição de ocorrência
Teor CO_2 < 1000 ppm de dióxido de Carbono (CO_2) , como indicador de renovação de ar externo, recomendado para conforto e bem-estar.
Agência Nacional de Vigilância Sanitária
RESOLUÇÃO - RE N º 176, DE 24 DE OUTUBRO DE 2000
http://www.anvisa.gov.br/scriptsweb/anvisalegis/VisualizaDocumento.asp?ID=136&Versao=1

2.7. Serviço com Nitrogênio N_2 asfixiante simples

O Nitrogênio é um elemento gasoso, não tóxico, sem odor, sem cor, sem sabor, e que constitui 78% em volume da nossa atmosfera, ou seja, o ar que respiramos.
O Oxigênio constitui aproximadamente 21%.
Quando a concentração de N_2 é suficiente para reduzir o nível de Oxigênio abaixo de 19.5%, pode ocorrer rápida asfixia, pois, ele desloca o Oxigênio, tomando o seu lugar e sem Oxigênio não há vida.
Por isso, o Nitrogênio gás é classificado como “asfixiante simples”.

As consequências da deficiência de oxigênio, isto é, em situações de permanência em atmosferas com teores de oxigênio inferiores à 19,5%, são:

- 12 a 16% de O_2: alteração da respiração e estado emocional, fadiga anormal em qualquer atividade;
- 10 a 11% de O_2: aumento da respiração e pulsação, coordenação motora prejudicada, euforia e dor de cabeça;
- 6 a 9% de O_2: náusea e vômitos, incapacidade de realizar movimentos, possível inconsciência, possível colapso enquanto consciente;
- < 6% de O_2: respiração ofegante; paradas respiratórias seguidas de parada cardíaca, morte em minutos.

O Nitrogênio liquido é incolor, sem odor, extremamente frio quando pressurizado (criogênico) o contato com esse liquido pode causar queimaduras sérias.

Limites de exposição não são determinados para asfixiantes simples, porque o fator limitante é a quantidade de Oxigênio disponível, sendo assim o N_2 não tem limite de exposição definido.

3. Normas a consultar

3.1 – Petrobras

As Normas Petrobras estão disponíveis para consultas no site de domínio público:
http://sites.petrobras.com.br/CanalFornecedor/portugues/requisitocontratacao/requisito_normastecnicas.asp

N - 57	Projetos mecânico de tubulações;
N - 76	Materiais de tubulação;
N - 115	Fabricação e montagem de tubulações;
N - 1693	Critérios para padronização de material de tubulação;

3.2. ASME

ASME B 31.3 Pressure piping code: design and construction.
ASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec. VIII Div. 1 Rules for Construction of Pressure Vessels

4. Requisitos de projeto

4.1. Para os sistemas de tubulações que operam em condições cíclicas de operação (variações frequentes de pressão e/ou temperatura e/ou composição do fluido), ou sob cargas de impacto ou choque ou em vibração, deve ser feita além da análise de flexibilidade e suportação, também a análise dinâmica do sistema, visando garantir a integridade e a confiabilidade da operação.

4.2. Utilizar válvula de alívio e segurança do tipo balanceada por fole em serviços com fluidos tóxicos, corrosivos e viscosos.
As descargas das válvulas de alívio e segurança das tubulações e de equipamentos devem ser coletadas e interligadas para queima no sistema de tocha.

4.3. Os resíduos da drenagem e respiro de equipamentos e tubulações devem ser coletadas para descarte em condições seguras.

4.4. Não são admitidos furos sentinelas (“telltale holes”) nas tubulações, partes e componentes pressurizados.

5. Acessórios e conexões

5.1. Com relação aos acessórios de grande diâmetro (acima de NPS 24), deverão ser preferencialmente utilizadas as curvas prensadas com solda longitudinal, seguida de TTAT-Tratamento Térmico de Alívio de Tensões e 100% RT.
Excepcionalmente, apenas com a aprovação do Proprietário, poderão ser usadas curvas gomadas com raio mínimo de 1,5 vezes o diâmetro e 5 gomos com TTAT e 100% RT.

5.2. Só são permitidas ligações flangeadas do tipo com flanges de pescoço, de extremidade para solda de topo ou para solda de encaixe.

5.3. Os flanges com extremidades para solda de encaixe só são admitidos até o diâmetro nominal de ϕ1½". Os flanges de interligação com os equipamentos devem ser do tipo com extremidade para solda de topo.

5.4. Transições de diâmetros, redução ou aumento, devem ser com extremidades tronco-cônicas.

5.5. Não são permitidas conexões, flanges, válvulas e acessórios com extremidades rosqueadas.

5.6. A vedação para as hastes das válvulas deve ser estanque.

5.7. Não são permitidos materiais resilientes, borrachas e "teflon", para a confecção das gaxetas das hastes das válvulas. Somente materiais resistentes ao fogo, como por exemplo, o grafite flexível, são aceitáveis.

5.8. Os castelos das válvulas devem ser do tipo com fechamento por parafusos (no mínimo quatro).

6. Requisitos para os materiais de construção

6.1. Só são admitidos materiais conforme as especificações ASTM para fabricação de tubos, conexões, flanges, válvulas e demais componentes dos sistemas de tubulações. Alternativamente, sob aprovação do Proprietário, poderão ser aceitos outros materiais, desde que padronizados em normas internacionais de reconhecimento indiscutível.

6.2 - Não são admitidos materiais da denominação ferro fundido ("cast iron") para a fabricação de válvulas e componentes de tubulações.

6.3. Os tubos com ou sem costura devem ser de aço acalmado.

6.3.1. Os tubos de aço Carbono sem costura devem ser de ASTM A106 GrB, com tratamento térmico de alívio de tensões de fábrica.

Nota: Os tubos ASTM A106 GrB "hot finished pipe" não necessitam de tratamento térmico. Os tubos ASTM A106 GrB "cold drawn pipe" devem ter tratamento térmico.

6.3.2. Os tubos e acessórios fabricados com costura devem ser com juntas soldadas de topo e inspecionados com 100% RT na solda acabada. Os critérios para execução e aceitação conforme ASME Sec. VIII Div.1.

6.3.2.1. Tubos de aço carbono com costura devem seguir a especificação ASTM A-672 Gr C60 Cl 22 com os seguintes requisitos adicionais:

a- Exame radiográfico 100% nas soldas longitudinais;
b- Tratamento térmico de alívio de tensões a 620ºC;
c- Dureza máxima 200 HB (forming and welding);
d- Após o alívio térmico exame das soldas com 100% MT.

6.3.2.2. Tubos de aço liga com costura devem vir de fábrica com:

a- Examinados com 100%RT;
b- Tratamento térmico de alívio das tensões residuais da soldagem;
c- Dureza máxima 215 HB (forming and welding);
d- Após o alívio térmico exame das soldas com 100% MT.

Componentes de Tubulação	Serviço fluido Categoria "M" da norma ASME B31.3 (ca= 3,2 mm)
Tubos	NPS ≤10" ASTM A106 Gr. B sem costura NPS 12" - 42" ASTM A672 Gr. 60 Cl22 com costura
Conexões	Até NPS 42" ASTM A234 Gr. WPB
Flanges	Até NPS 42" ASTM A105
Parafusos, estojos, porcas	ASTM A193 Gr. B7 / ASTM A194 Gr. 2H
Requisitos de fabricação e montagem	TTAT 100% RT tubos e conexões fabricados com costura soldada

6.3.3. Todos os flanges empregados devem ser forjados do tipo com pescoço para solda de topo, dimensões e classes de pressão conforme ASME B16.5, para diâmetros até NPS 24" e ASME B16.47 para diâmetros de NPS 26" até NPS 60": tipo A para NPS 26 a 36 e tipo B para NPS 42 a 60.

6.4. O tratamento para alívio térmico das tensões residuais deve ser conforme as regras do Capítulo VIII do ASME B31.3.

6.5. Os componentes fabricados em aço fundido devem ser inspecionados, na fábrica, conforme o Apêndice 7 do ASME Sec. VIII Div. 1.

7. Requisitos para fabricação, montagem, inspeção e testes

7.1. As conexões roscadas são proibidas, sendo permitidas apenas juntas soldadas.

7.2. As juntas soldadas de topo devem ser do tipo facilmente radiografáveis, não sendo permitido o uso de mata-juntas, fixos ou removíveis, nem de insertos consumíveis.

7.3. As conexões de juntas soldadas de encaixe são só permitidas até inclusive o diâmetro nominal de NPS 1½, a partir daí usar conexões flangeadas ou para soldas de topo.

7.4- As soldas circunferenciais de fabricação dos "spools" da tubulação devem ter Raio X total, em todas as juntas, e as de montagem no campo devem ter radiografia total ou alternativamente exame por ultrassom.

7.4.1. Para o caso do Aço C e Aço Liga; o passe de raiz dessas soldas circunferenciais deve ser executado pelo processo TIG de soldagem.

7.4.2. Para o Aço Inoxidável Austenítico o passe de raiz será com TIG e controlada com 100% PT.

7.4.3. As soldas acabadas serão inspecionadas com 100% PT, mesmo as já radiografadas.

7.5. As soldas de encaixe e as de filete devem ser examinadas com 100% MT, para os materiais magnéticos e 100% PT, para os materiais não magnéticos. Os critérios de execução e aceitação conforme ASME B31.3.

7.6. Para as tubulações em aço Carbono "P-number 1" não é necessário o tratamento de alívio das tensões residuais das soldas de oficina ("pipe shop") e de campo, porém é necessário o controle e medição de durezas.

O critério de aceitação é função do tipo de aparelho utilizado:

a) Poldi ou Telebrineller (somente na ZF) - 200 HB

b) Demais aparelhos (Microdur com carga de 5 Kgf ou tipo Equotip) – 248 HV-5

7.7. Para as soldas de aço liga Cr-Mo deve ser executado o tratamento térmico das tensões residuais de soldagem, conforme requerido pelo ASME B31.3.

7.8. Os requisitos de fabricação e montagem da Inspeção Classe IV da norma Petrobras N-115 devem ser incluídos na contratação de instalação e montagem.