

08

# Guia de Inspeção

## Vasos de Pressão Não Sujeitos a Chama



Rosana Lima – CRB-7/4083  
Responsável pela elaboração da ficha catalográfica

V334 Vasos de pressão não sujeitos a chama / Luiz Antônio Moschini de Souza (organizador). – Rio de Janeiro: IBP, 2017. 93 p.; il. (Guia de Inspeção, n. 08).

O presente material é um e-book.  
E-ISBN 978-85-9486-084-2

1.Vasos de Pressão 2. Vasos de Pressão Inspeção 3. Inspeção de Equipamentos I. Souza, Luiz Antônio Moschini de, org. II. Série III. Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis

17-0002

CDD: 658.568

Este Guia foi produzido pelo Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP - com objetivo de apresentar subsídios básicos para implementação de Planos de Inspeção em Tubulações metálicas, aéreas ou enterradas, tomando-se como referência principalmente as recomendações contidas na Norma API 570.

Buscou-se incluir a experiência e as melhores práticas trazidas por renomados profissionais que atuam nesta área de conhecimento que foram organizadas, analisadas e formatadas para apresentação pelo Engenheiro Luiz Antônio Moschini de Souza.

Este guia se aplica a tubulações aéreas ou enterradas, localizadas em refinarias, petroquímicas, terminais para distribuição, plantas de processamento de gás e correlatas incluindo aquelas sob o escopo da Norma Regulamentadora (NR-13) do Ministério do Trabalho.

O público alvo deste guia são estudantes de graduação, pós-graduação, técnicos, engenheiros e pesquisadores que atuam ou pretendem atuar com Inspeção de Equipamentos.

Roberto Odilon Horta  
Gerente de Certificação - IBP

## Agradecimentos

O IBP agradece às pessoas que contribuíram para a elaboração deste guia, assim como às empresas que permitiram que suas melhores práticas fossem condensadas e apresentadas nesta obra.

Não podemos deixar de destacar o empenho e dedicação dos profissionais abaixo, pertencentes ao Grupo Regional de Inspeção de São Paulo e à Comissão de Inspeção de Equipamentos, que contribuíram para elaboração deste Guia com textos, experiências e boas práticas:

Fernando T. Gazini  
Alex Rodrigues  
Akira Sakamoto  
Carlos R. Burger  
Cláudio B. Fernandes  
Flavio Barreto  
José Luis Roberto Alves  
J. R. Lucas  
Lincoln T. Cordeiro  
Luis Roberto Alves  
Marcos A. Prado  
Paulo G. R. Costa  
Rodolfo Grigoletto  
Silvio S. Rohde  
Tommy Y. Yabuki  
Walter R. Friggi  
Aldo Cordeiro Dutra  
Amilcar Andrade Sales  
Antonio Luiz de Melo Vieira Leite  
Arnoldo Lima Fagundes  
Carlos Bruno Eckstein  
Claudio Soligo Camerini  
Deyson Marcelo Rothen  
Guilherme Victor Peixoto Donato  
Helder de Souza Werneck



Heleno Ribeiro Simões  
Heloisa Cunha Furtado  
João Roberto Silva Picanço  
Joaquim Smiderle Corte  
Jorge dos Santos Pereira Filho  
Jose Eduardo de Almeida Maneschy  
José Luiz de França Freire  
Luis Antônio Moschini de Souza  
Luis Carlos Greggianin  
Marcelo Aparecido da Silva  
Marco Aurélio Oliveira Lima  
Mario Pezzi Filho  
Pavel Rodrigues Bernardi  
Pedro Feres Filho  
Pedro Vizilde Souza da Silva  
Ricardo Barbosa Caldeira  
Ricardo de Oliveira Carneval  
Ricardo Pereira Guimarães  
Severino Albani Junior  
Teófilo Antônio de Sousa  
Tito Luiz da Silveira  
Waldomiro Lima Pereira

Rio de Janeiro, fevereiro de 2017

Luiz Antônio Moschini de Souza - Organizador

Os Guias de Inspeção de Equipamentos emitidos pelo Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP - têm por objetivo orientar a realização de inspeções em equipamentos da indústria do petróleo, petroquímica e química, podendo ser utilizados por outros tipos de indústrias que possuam equipamentos similares.

Os Guias contêm informações práticas sobre tipos de equipamentos usuais, mecanismos de danos que podem afetá-los, técnicas de inspeção usuais, aspectos de segurança individual do inspetor e aspectos da responsabilidade sobre a inspeção.

Os Guias de Inspeção elaborados pelo IBP, sob supervisão e orientação de profissional especializado, sintetizam as melhores práticas e experiência acumulada por profissionais de notório saber na área de inspeção de equipamentos em operação que compõem a Comissão de Inspeção de Equipamentos e Grupos Regionais de Inspeção de Equipamentos e que voluntariamente decidiram colaborar com esta obra. Estas informações podem conter referências a padrões e normas de aplicação internacional cujas referências e autorias e direitos estão transcritas no capítulo Bibliografia Sugerida.

As informações contidas nos Guias são práticas recomendadas, e não constituem regulamentações, padrões ou códigos mandatórios, sendo a aceitação e aplicação de responsabilidade exclusiva dos profissionais envolvidos nas inspeções.

1	Objetivo e campo de aplicação .....	7
2	Documentos de referência .....	8
3	Definições .....	10
4	Descrição e nomenclatura típica de equipamentos .....	18
5	Preparativos para a inspeção .....	26
5.1	Análise da documentação .....	26
5.2	Condições operacionais e de processo .....	26
5.3	Ciclos de parada e partida do equipamento .....	27
5.4	Procedimento de inspeção .....	27
5.5	Materiais e equipamentos de inspeção .....	27
5.6	Preparação do equipamento para o serviço em espaço confinado .....	28
5.7	Segurança e proteção individual do inspetor .....	30
6	Responsabilidade pela inspeção .....	33
7	Técnicas de inspeção .....	34
7.1	Inspeção visual .....	34
7.1.1	Inspeção visual externa .....	34
7.1.2	Inspeção visual interna .....	42
7.2	Ensaios .....	50
7.2.1	Ensaio por líquido penetrante .....	50
7.2.2	Ensaio por partículas magnéticas .....	51
7.2.3	Ensaio por ultrassom .....	51
7.2.4	Ensaios por radiografia e gamagrafia .....	52
7.2.5	Ensaios de pressão .....	52
7.2.6	Ensaio por emissão acústica .....	56
7.2.7	Termografia .....	56
7.2.8	Ensaio por ACFM .....	56
7.3	Resumo das técnicas de inspeção .....	57
7.4	Resumo da efetividade das técnicas de inspeção .....	59

8	Causas específicas de deterioração e avarias	61
9	Investigação e análise de falhas	65
9.1	Parâmetros característicos do item	65
9.2	Técnicas de amostragem e investigação	66
9.3	Causas desconhecidas de deterioração	70
10	Reparos e critérios de aceitação	73
10.1	Códigos e padrões de construção	73
10.2	Materiais	73
10.3	Substituição de componentes	75
10.4	Soldagem	75
10.5	Ensaio não destrutivos	76
10.6	Ensaio hidrostático	76
10.7	Métodos avançados de análise	76
11	Frequência e programação de inspeção	77
11.1	Intervalos de inspeção	77
11.2	Ferramentas auxiliares	79
12	Registros de inspeção	81
12.1	Escopo/abrangência	82
12.2	Indicações/resultados	83
12.3	Responsável pela execução da inspeção	84
12.4	Instrumentos utilizados	84
12.5	Sistemas de arquivamento	84
Anexo A	Implicações e atribuições legais sobre a inspeção de equipamentos	87

# 1 Objetivo e campo de aplicação

## 1.1 Objetivo

Este Guia se aplica à inspeção em serviço de vasos de pressão em geral, desde que não sujeito a chama direta, não importando o formato, as dimensões, o fluido operacional e a utilização, estando excluídos os grupos de equipamentos que, por suas características, possuem guias específicos, tais como caldeiras, trocadores de calor e fornos.

## 1.2 Campo de aplicação

Este Guia orienta a inspeção em serviço de vasos de pressão, priorizando o caráter preventivo. Auxilia na determinação dos diversos métodos de inspeção para a avaliação da integridade, da identificação do tipo e extensão dos danos.

Para os Vasos de Pressão usados no transporte de fluidos, reservatórios portáteis de gases comprimidos e os vasos destinados à ocupação humana, a utilização deste Guia deve ser cuidadosa, de forma a evitar contradições com a legislação específica de cada caso, sempre mandatária.

## **2 Documentos de referência**

A seguir estão indicados os documentos cuja consulta pode ser necessária para a utilização deste Guia.

- 2.1 Documento Preparado pelo GRINSP RJ e revisado pela Comissão de Inspeção de Equipamentos do IBP detalhando as melhores práticas de inspeção para Vasos de Pressão não sujeitos a Chama direta.
- 2.2 Documento Organização e Apresentação das Guias de Inspeção de Equipamentos do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Revisão 2, de 24/05/1996.
- 2.3 Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego
  - ✓ NR-06 – Equipamento de Proteção Individual – EPI
  - ✓ NR-13 – Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações
  - ✓ NR-20 – Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis
  - ✓ NR-26 – Sinalização de Segurança
  - ✓ NR-33 – Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados
  - ✓ NR-35 – Trabalho em Altura
- 2.4 Portaria 537/2015, do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO

- 2.5 Portaria 582/2015, do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO
- 2.6 ABNT NBR ISO 16528-1 Caldeiras e Vasos de Pressão – Requisitos de desempenho
- 2.7 API 510 - Pressure Vessel Inspection Code: Maintenance Inspection, Rerating, Repair and Alteration
- 2.8 ANSI/NB-23 - National Board Inspection Code
- 2.9 ASME Sec. VIII, Div. 1 & Div. 2 - Pressure Vessels
- 2.10 ASME Sec. V - Nondestructive Examinations
- 2.11 API Publ. 581 - Base Resource Document- Risk Based Inspection
- 2.12 API RP 579-1/ASME FFS-1 Fitness-for-Service
- 2.13 API RP 571 Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry
- 2.14 API 572 - Inspection of Pressure Vessels
- 2.15 Guia Nº 8 - do IBP edição 1965 - Vasos de Pressão não Sujeitos a Chama

### 3 Definições

Para os efeitos deste Guia aplicam-se as seguintes definições:

#### 3.1 Correção

Ação implementada para eliminar uma não conformidade, defeito ou situação indesejável ocorrida.

#### 3.2 Ação preventiva

Ação implementada para eliminar as possíveis causas de uma não conformidade, defeito, ou situação indesejável, com o objetivo de prevenir a sua reincidência.

#### 3.3 Alteração

Mudança de característica do projeto original.

#### 3.4 Avaliação da integridade

Conjunto de ações de engenharia empreendidas em um equipamento, tendo por objetivo caracterizar o estado em que ele se encontra diante das exigências de adequação ao uso.

#### 3.5 Calibração

Conjunto de operações que estabelece a relação entre o valor indicado

por um instrumento de medida e o valor estabelecido em um padrão.

### 3.6 Característica

Propriedade diferenciadora, pode ser inerente ou atribuída, qualitativa ou quantitativa.

### 3.7 Certificação

Testemunho formal de uma qualificação por meio da emissão de um certificado.

### 3.8 Condição segura para operação

Condição física de um equipamento, que permite suportar as condições de projeto por um período preestabelecido. Esta avaliação deve considerar, além dos critérios de dimensionamento definidos no código de projeto, as normas de segurança e saúde do trabalhador e de preservação do meio ambiente.

### 3.9 Condição de projeto

Conjunto de variáveis operacionais que servem de base para o dimensionamento do equipamento.

### 3.10 CREA

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia.

### 3.11 Defeito

Não atendimento de um requisito relacionado a um uso pretendido ou especificado.

### 3.12 Descontinuidade

Interrupção das estruturas típicas de uma peça, no que se refere à homogeneidade das características físicas, mecânicas ou metalúrgicas. Não é necessariamente um defeito.

### 3.13 Documento de autorização de trabalho

Documento oficial da Empresa para planejamento e controle de atividades com risco.

Exemplos: Permissão de Serviço (PS) e Permissão de Trabalho (PT).

### 3.14 Eficácia

Extensão na qual as atividades planejadas são realizadas e, como consequência, os resultados planejados alcançados.

### 3.15 Eficiência

Relação entre o resultado alcançado e os recursos usados.

### 3.16 Ensaio

Determinação de uma ou mais características de acordo com um procedimento.

### 3.17 Equipamento de proteção individual (EPI)

Todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção contra riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho.

### 3.18 Especificação

Documento que estabelece requisitos. Uma especificação pode se relacionar a atividades (por exemplo, especificação de ensaio) ou a produtos (por exemplo, especificação de produto).

### 3.19 Exame

Atividade conduzida para avaliar se determinados produtos, processos ou serviços estão em conformidade com critérios especificados.

### 3.20 Formulário

Modelo impresso para preenchimento de relato de atividades e/ou resultados.

### 3.21 Inspeção de segurança

Exame detalhado do equipamento, ou de suas partes, com o objetivo de assegurar que os mesmos apresentem condições seguras de operação.

### 3.22 Programação de inspeção

Conjunto das disposições estabelecidas formalmente, pelo serviço de inspeção, para assegurar a conformidade no tempo, de um grupo de equipamentos, às exigências regulamentares da legislação vigente e às específicas da empresa.

### 3.23 Inspeção em serviço

Exame periódico detalhado do equipamento em uso, com o objetivo de verificar se o mesmo apresenta condição segura para a operação nas condições de projeto.

### 3.24 Espaço confinado

Qualquer espaço com a abertura limitada de entrada e saída de ventilação natural. Exemplos de espaços confinados: interior de caldeiras, tanques, carros-tanques, reatores, colunas, galerias de esgoto, tubulações, silos, porões, etc.

### 3.25 Método de ensaio não destrutivo

Técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los.

### 3.26 Não conformidade

Não atendimento a um requisito preespecificado.

### 3.27 Organização

Grupo de instalações e pessoas com um conjunto de responsabilidades, autoridades e relações.

### 3.28 Parte interessada

Pessoa, ou grupo, que tem um interesse no desempenho, ou no sucesso, de uma organização.

### 3.29 Plano de inspeção

Documento que descreve as atividades necessárias para avaliar as condições físicas de um equipamento, considerando o histórico, os mecanismos de danos previsíveis e os riscos envolvidos para as pessoas, instalações e meio ambiente. Deve incluir os exames e testes a serem realizados.

### 3.30 Pressão de projeto

Pressão correspondente à condição mais severa de pressão e temperatura simultâneas que possam ocorrer em operação normal.

### 3.31 Pressão de operação

Valor de pressão a que o vaso de pressão está sujeito em condições normais de operação, admitidas flutuações inerentes ao processo.

### 3.32 Pressão máxima de operação

Maior valor de pressão que possa ocorrer em condições normais de operação ou em situações anormais transitórias.

### 3.33 Pressão máxima de trabalho admissível (PMTA)

Maior valor de pressão a que um vaso de pressão pode ser submetido continuamente, de acordo com o código de projeto, à resistência dos materiais utilizados, às dimensões do equipamento e seus parâmetros operacionais.

### 3.34 Procedimento

Forma especificada de executar uma atividade, ou processo, tratando de sequências, métodos e prescrições.

### 3.35 Processo

Conjuntos de atividades inter-relacionadas, ou interativas, que transformam insumos em produtos e são planejadas, e realizadas, sob condições controladas para agregar valor.

### 3.36 Programa de inspeção

Lista completa dos equipamentos de uma planta, ou unidade industrial, que estejam sujeitos a inspeção, contendo, dentre outras informações, os intervalos entre as inspeções e as datas de execução da última e das próximas inspeções.

### 3.37 Profissional habilitado (PH)

Profissional com competência legal para o exercício da profissão de engenheiro nas atividades referentes a projeto, operação, manutenção e inspeção de caldeiras, vasos de pressão e tubulações, em conformidade com a regulamentação profissional vigente no país.

### 3.38 Qualificação

Comprovação das características e habilidades, segundo procedimentos aprovados e com resultados documentados, que permitem a um indivíduo exercer determinadas tarefas.

### 3.39 Recomendação de inspeção

Documento de solicitação de serviço prévio de apoio, ou necessidade de providências, decorrentes de inspeção.

### 3.40 Registro

Documento que apresenta resultados obtidos ou fornece evidências de atividades realizadas (por exemplo: Relatório de Inspeção).

### 3.41 Registro de Segurança

Registro em livro próprio, ou meio eletrônico, da ocorrência das inspeções e anormalidades durante a operação dos vasos de pressão.

### 3.42 Relatório de Inspeção

Registro formal das inspeções realizadas nos equipamentos com laudo conclusivo.

### 3.43 Reparo

Intervenção realizada em um vaso de pressão para a correção de dano, defeitos ou avarias, visando restaurar as condições de projeto e construção.

### 3.42 Requisito

Propriedade, ou comportamento, que um produto ou serviço deve atender.

### 3.43 Sentinela

Pessoa orientada para ações de emergência, que se posiciona do lado externo do espaço confinado, monitorando as atividades no interior do equipamento.

### 3.44 Técnica de ensaio não destrutivo

Modo específico de utilização de um método de ensaio não destrutivo.

### 3.45 Vaso de pressão

Equipamentos projetados para resistir com segurança a pressões internas ou externas diferentes da atmosférica.

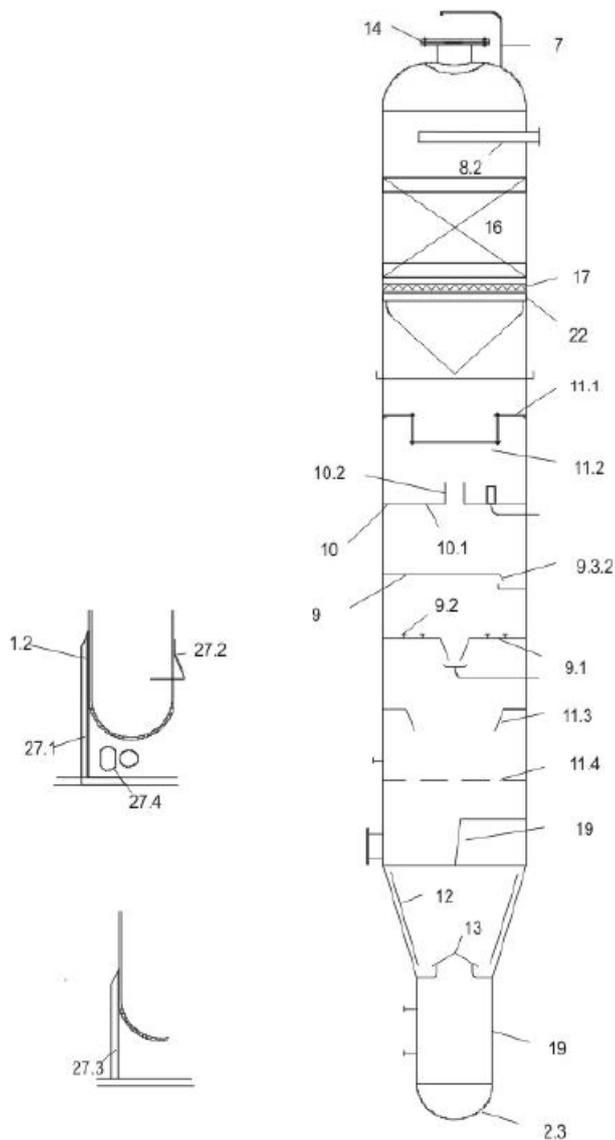
### 3.46 Verificação

Comprovação, por meio de evidência objetiva, que os requisitos especificados foram atendidos.

## 4 Descrição e nomenclatura típica de equipamentos

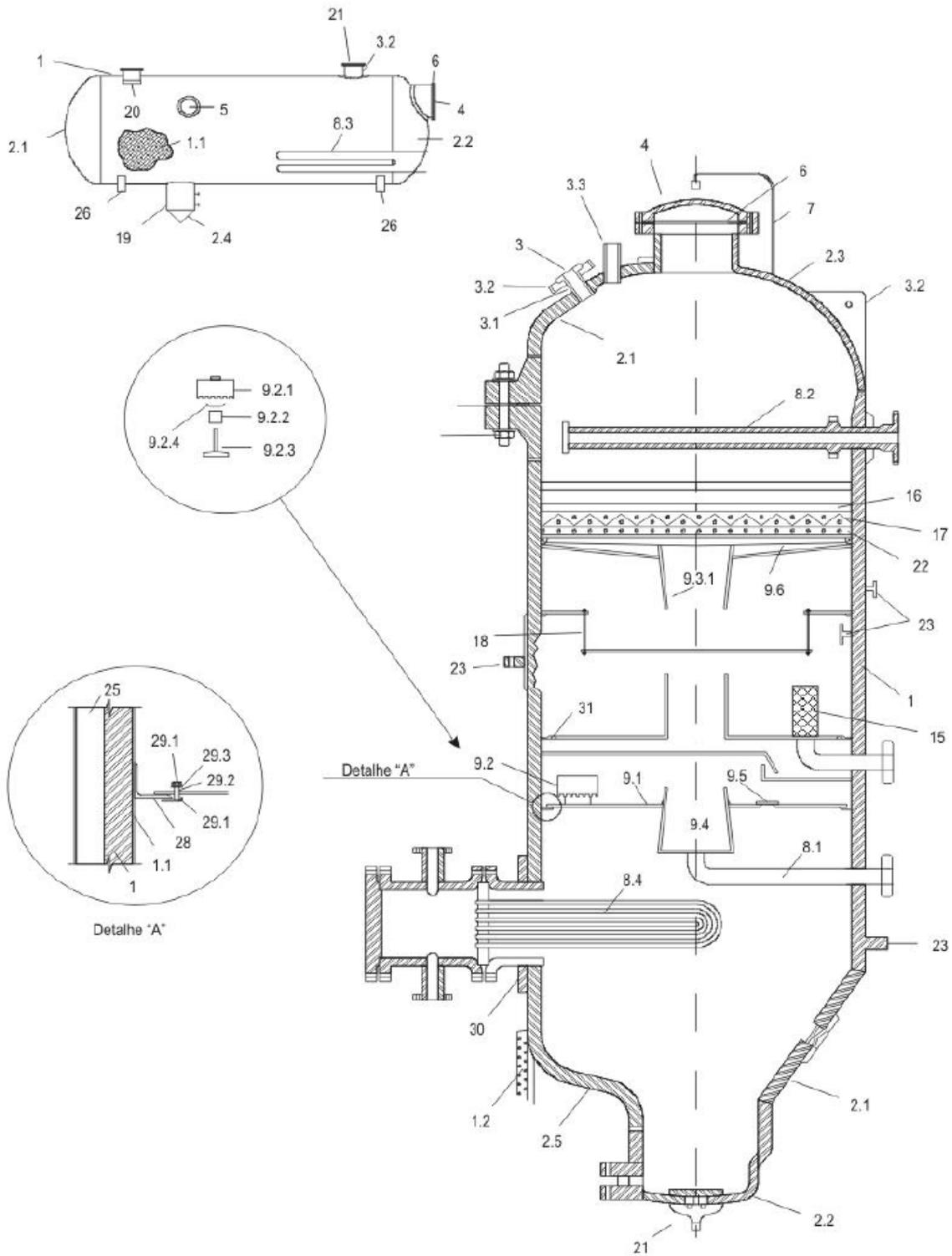
### Vasos de Pressão - Nomenclatura e Principais Partes

1. Casco
  - 1.1 Revestimento metálico interno (*clad ou lining*)
  - 1.2 Revestimento de proteção contra fogo (*fire proofing*)
2. Calotas
  - 2.1 Elipsoidal
  - 2.2 Torésférica
  - 2.3 Hemisférica
  - 2.4 Cônica
  - 2.5 Torocônica
3. Conexão
  - 3.1 Pescoço
  - 3.2 Flange
  - 3.3 Luva
4. Boca de visita
5. Vigias
6. Juntas de vedação
7. Braço de carga
8. Tubos internos
  - 8.1 Retirada de produto
  - 8.2 Distribuidor
  - 8.3 Serpentina
  - 8.4 Feixe tubular
9. Bandeja
  - 9.1 Prato
    - 9.2 Borbulhador de campânula
      - 9.2.4 Suporte
      - 9.2.3 Cruzeta
      - 9.2.2 Colarinho
      - 9.2.1 Campânula
    - 9.3 Vertedor
      - 9.3.1 Vertedor no centro
      - 9.3.2 Vertedor lateral
  - 9.4 Caixa de retirada
  - 9.5 Alçapão
  - 9.6 Viga de sustentação
10. Panela
  - 10.1 Fundo
  - 10.2 Chaminé
11. Defletor
  - 11.1 Anel
  - 11.2 Disco
  - 11.3 Saia
  - 11.4 Prato perfurado
12. Chapa de desgaste
13. Antivortice ou Quebra turbilhão
14. Porcas e parafusos ou estojos
15. Filtro
16. Enchimento
17. Tela para sustentação de enchimento
18. Tirante
19. Pote
20. Separador de gotas
21. Boca de inspeção
22. Grade
23. Anel de reforço
24. Anel para apoio de isolamento
25. Isolamento térmico
26. Berço
27. Apoios
  - 27.1 Saia cilíndrica
  - 27.2 Saia cônica
  - 27.3 Perna
  - 27.4 Abertura de acesso a saia
28. Anel de sustentação de acessório interno
29. Grampo de fixação de prato
  - 29.1 grampo
  - 29.2 parafuso
  - 29.3 arruela
  - 29.4 porca
30. Colarinho de reforço
31. Borbulhador tipo válvula
32. Olhal de suspensão



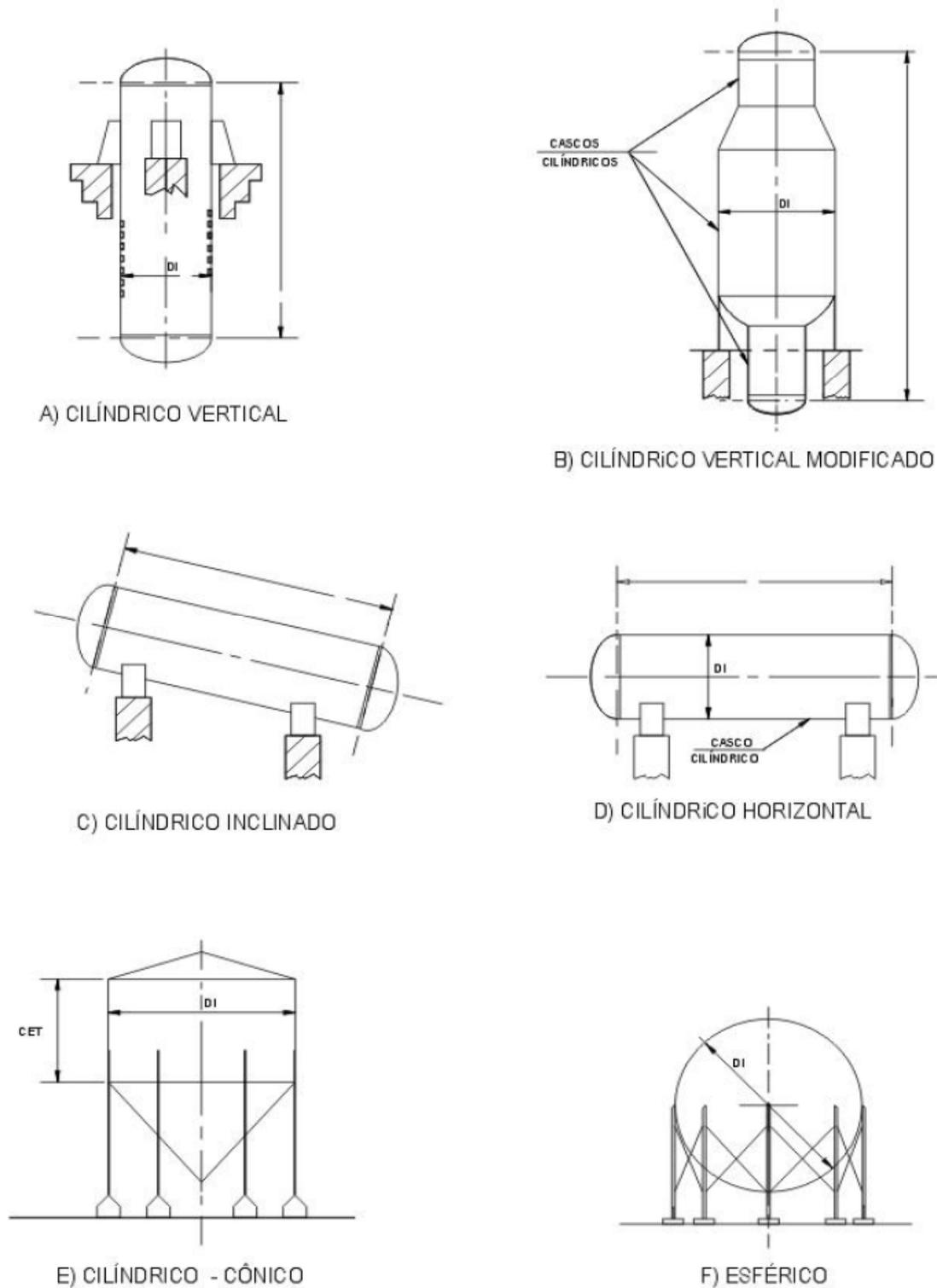
**Figura 1 – Vasos de pressão: nomenclatura – 1 de 2 (Figura adaptada do Guia N° 8 de 1965, Vasos de Pressão não Sujeitos a chama)**

# Vasos de Pressão - Nomenclatura e Principais Partes



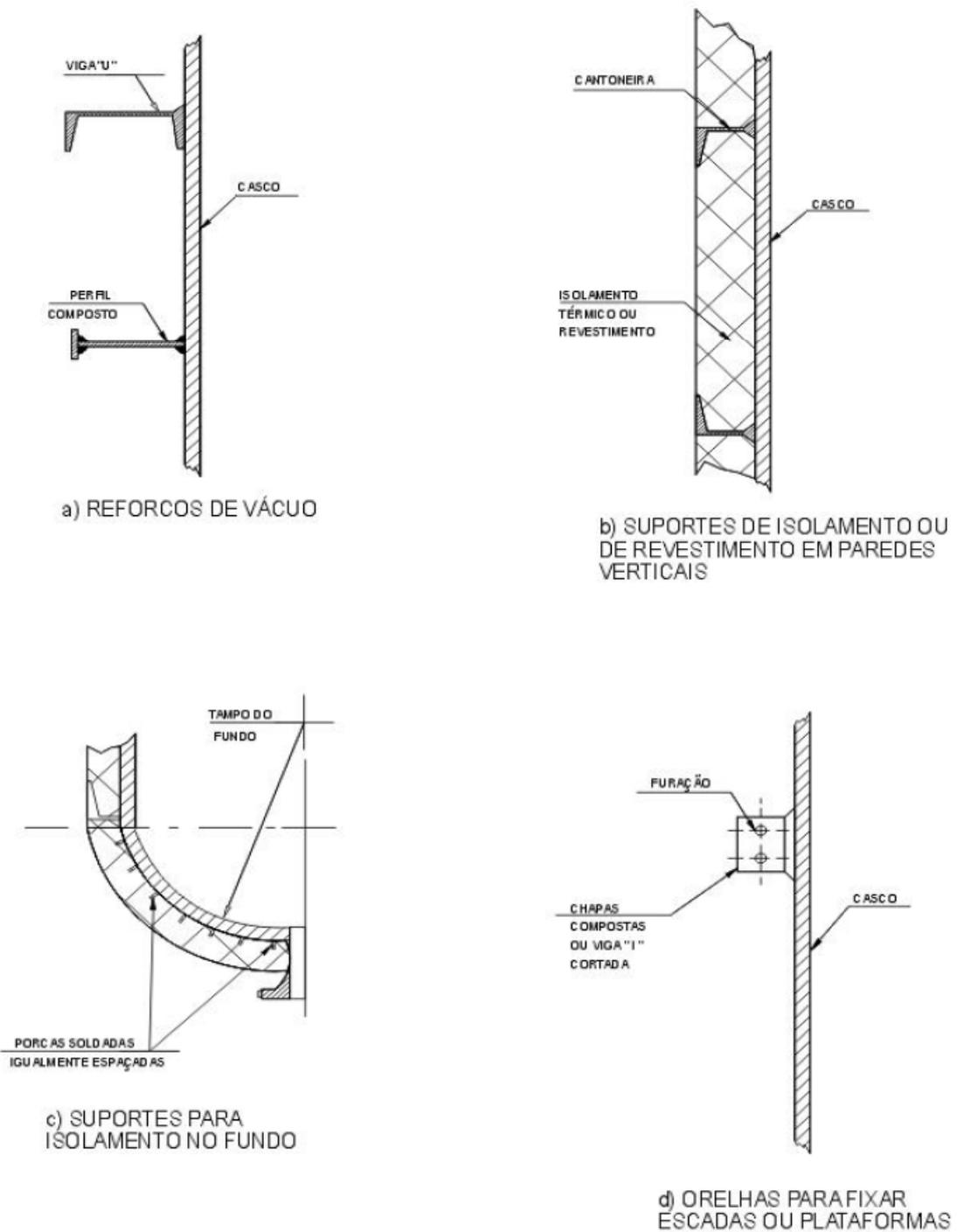
**Figura 1 – Vasos de pressão: nomenclatura – 2 de 2 (Figura adaptada do Guia Nº 8 de 1965, Vasos de Pressão não Sujeitos a chama)**

## TIPOS DE VASOS DE PRESSÃO



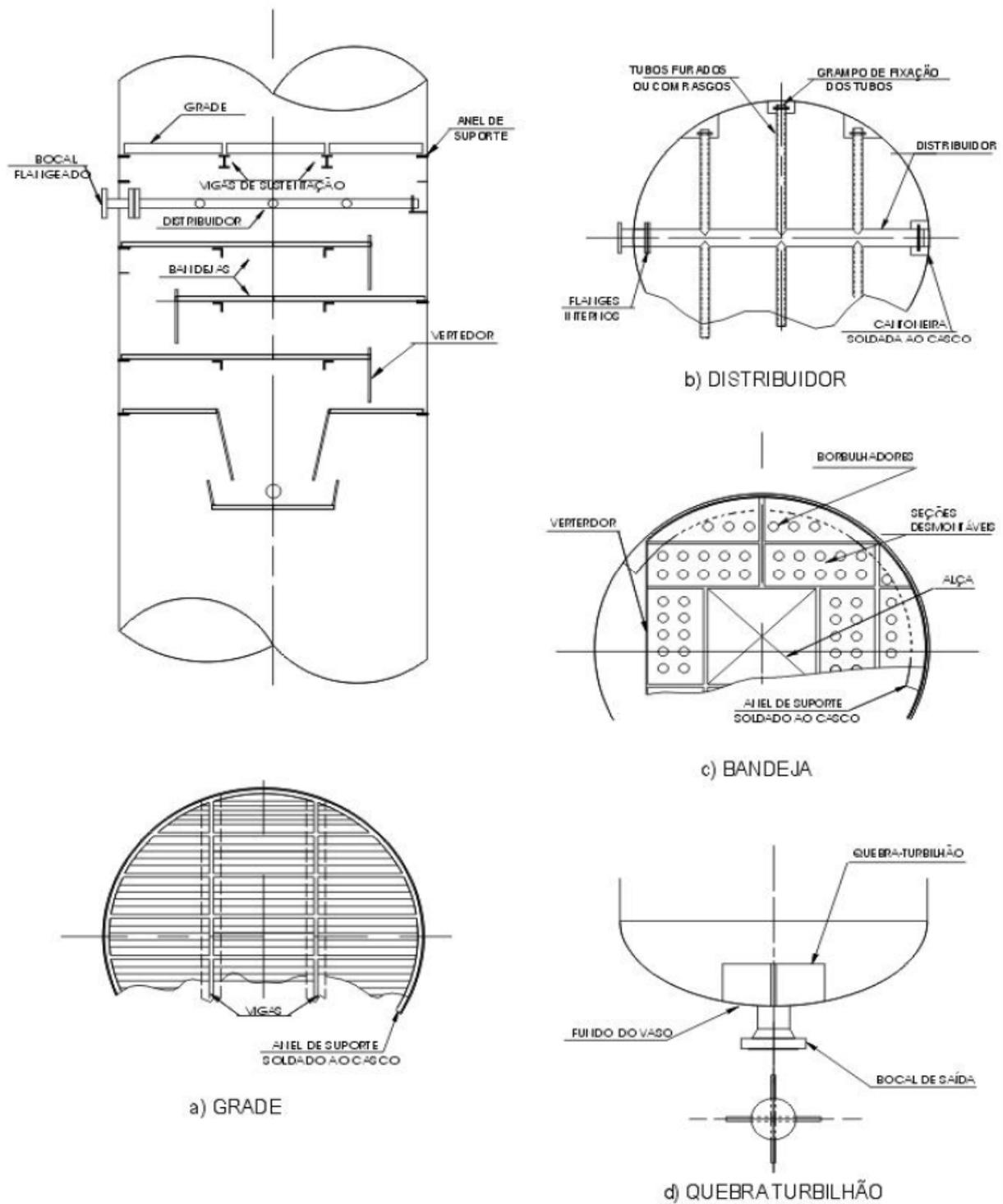
**Figura 2 – Tipos de vasos de pressão**

## ACESSÓRIOS EXTERNOS DE VASO DE PRESSÃO



**Figura 3 – Acessórios externos de vasos de pressão**

# PEÇAS INTERNAS DE VASOS DE PRESSÃO



**Figura 4 – Peças internas de vasos de pressão (Figura adaptada do Guia Nº 8 de 1965, Vasos de Pressão não Sujeitos a chama)**

## SUORTES PARA VASOS VERTICAIS

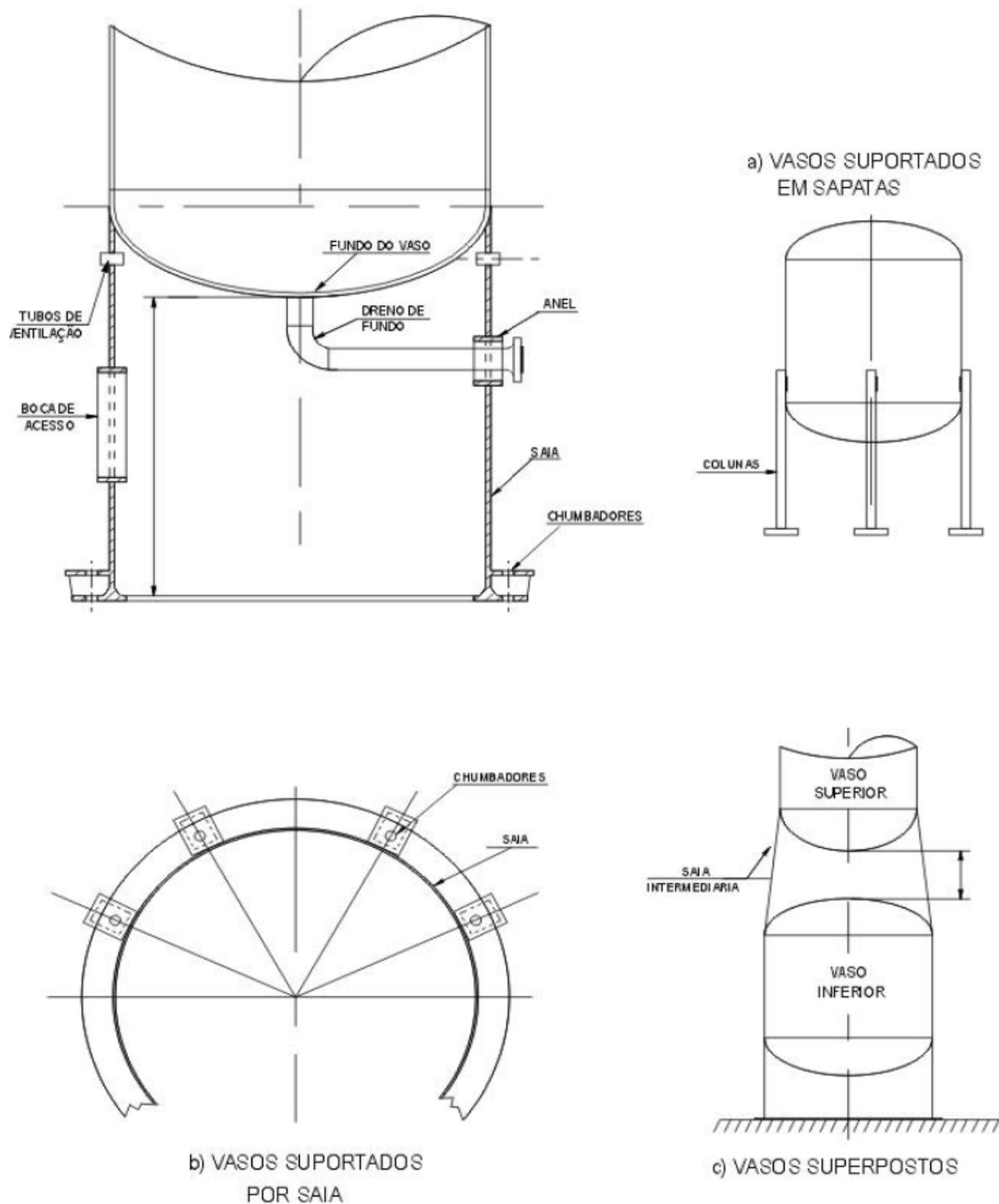
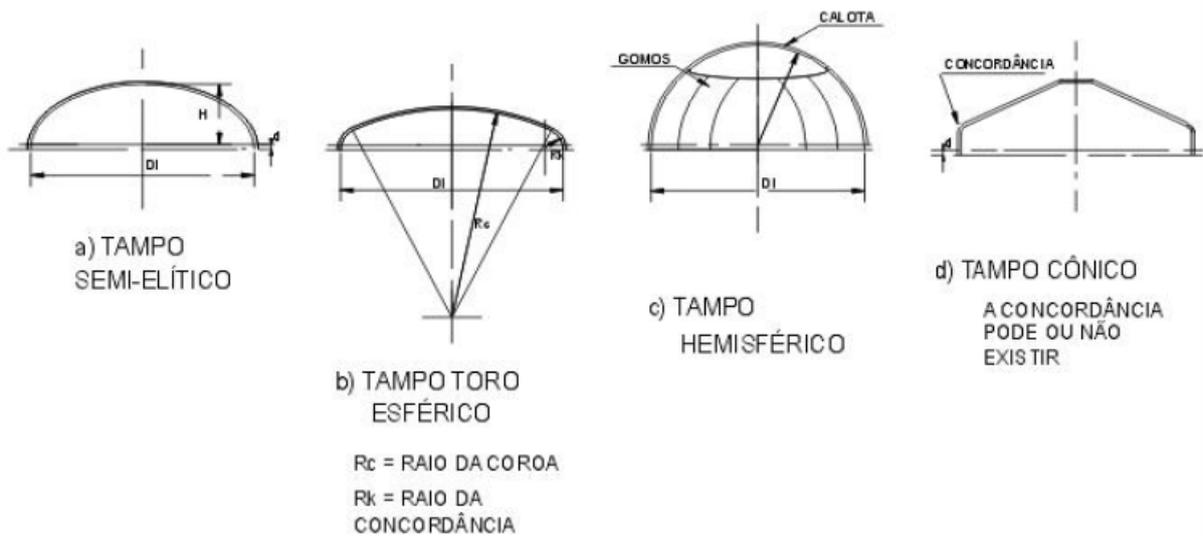


Figura 5 – Suportes para vasos verticais

## ALGUNS TIPOS DE TAMPOS PARA VASOS DE PRESSÃO



## ALGUNS TIPOS DE TAMPOS PLANOS

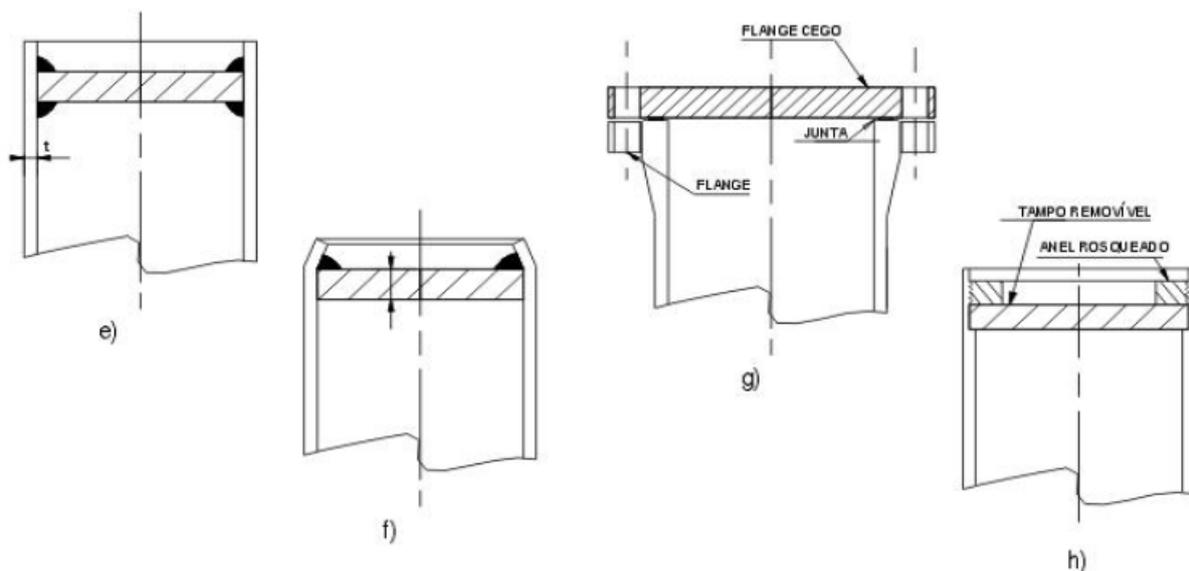
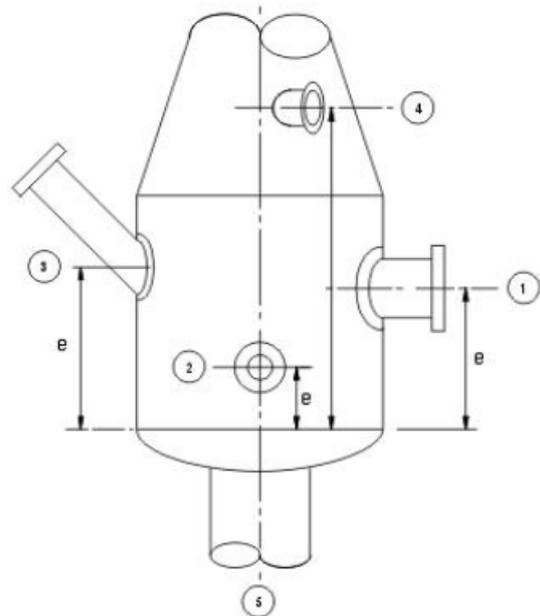


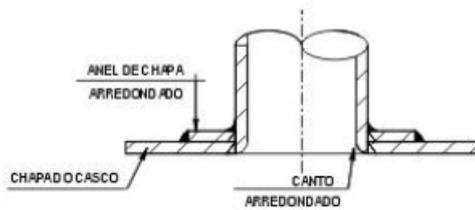
Figura 6 – Tipos de tampos para vasos de pressão

# ABERTURA NOS VASOS E REFORÇOS NAS ABERTURAS

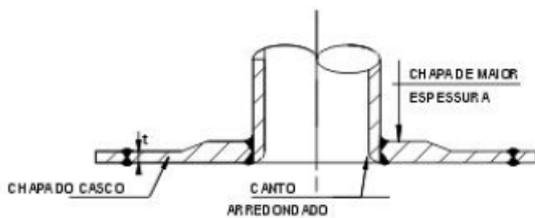
- ① ② : ABERTURAS RADIAIS EM CASCO CILÍNDRICO
  - ③ : ABERTURA INCLINADA EM CASCO CILÍNDRICO
  - ④ : ABERTURA EM CASCO CÔNICO
  - ⑤ : ABERTURA EM TAMPO
- e : ELEVAÇÕES DE REFERÊNCIA DAS ABERTURAS



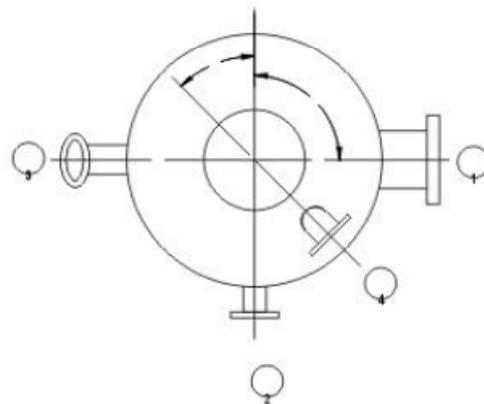
## REFORÇOS NAS ABERTURAS



a) COM ANEL DE REFORÇO



b) COM CHAPA DE MAIOR ESPESSURA



c) COM PEÇA FORJADA INTEGRAL

**Figura 7 – Aberturas e reforços em aberturas de vasos de pressões**

### 5 Preparativos para inspeção

Cada vaso de pressão deve ser analisado detalhadamente, visando identificar deterioração específica ou inerente a seu serviço. No entanto, enumeramos as seguintes providências genéricas que podem ser adotadas antes de iniciar a inspeção.

#### 5.1 Análise da documentação

Coletar todos os desenhos, folhas de dados técnicos e croquis do equipamento, e observar as seguintes características:

- ✓ Condições de projeto (fluido, pressão, temperatura, etc.);
- ✓ Dimensões e aspectos de fabricação (tipo de calota, espessuras dos componentes, acessórios internos, existência ou não de bocas de visita acesso ao interior do vaso, etc.);
- ✓ Materiais envolvidos.

Analisar o histórico do equipamento, no mínimo dos últimos três relatórios de inspeção, visando constatar registro de alterações de projeto, ocorrência de deterioração, ou defeitos, e analisar criticamente os métodos de inspeção utilizados. Deve ser verificado também com atenção o Registro de Segurança do Vaso de Pressão.

Verificar se as recomendações de inspeção foram atendidas ou a existência de pendências.

#### 5.2 Condições operacionais e de processo

Verificar registros operacionais das temperaturas, pressões e fluidos de

processo.

Consultar registros operacionais e verificar ocorrências que possam interferir na vida útil do equipamento, tais como: surto de sobrepressão, temperaturas acima da projetada, fluidos contaminantes não previstos, vibrações, vazamentos e cargas não previstas.

Pesquisar a ação do fluido do processo e seus contaminantes nos materiais envolvidos, considerando as condições operacionais. Quando o equipamento operar com diversos fluidos e condições não definidas (por exemplo, vaso pulmão), recomenda-se uma análise para a pior condição.

### 5.3 Ciclo de parada e partida do equipamento

Verificar data do início de operação do equipamento, ocorrência de hibernações e início da última campanha.

Verificar os ciclos térmicos envolvidos (tensões térmicas).

### 5.4 Procedimento de inspeção

Utilizar os planos ou procedimentos de inspeção estabelecidos para o vaso.

Caso não existam planos ou procedimentos de inspeção do equipamento, identificar métodos e técnicas de inspeção a serem utilizadas, bem como as seguintes informações:

- ✓ Norma ou critério de aceitação;
- ✓ Suscetibilidade a determinado tipo de descontinuidade ou falha;
- ✓ Locais mais suscetíveis a deteriorações.

### 5.5 Materiais e equipamentos de inspeção

Coletar desenhos, croquis e formulários, bem como as ferramentas, materiais

e instrumentos necessários para a realização da inspeção do vaso de pressão. Verificar as condições e o funcionamento das ferramentas e dos instrumentos que serão utilizados na inspeção, observando a validade dos certificados de calibração dos mesmos.

Sugerimos que o inspetor leve para o local da inspeção ou tenha disponível para quando necessário:

- ✓ Lanterna, com lâmpada e pilhas sobressalentes;
- ✓ luminária de segurança;
- ✓ martelo;
- ✓ pano, lixas, escova manual, espátula;
- ✓ marcador industrial;
- ✓ giz, lápis cera;
- ✓ faca, raspador, estilete;
- ✓ ímã;
- ✓ trena;
- ✓ paquímetro;
- ✓ micrômetro;
- ✓ prancheta com formulários e outros;
- ✓ sacos plásticos para amostragem;
- ✓ medidor de espessura por ultrassom;
- ✓ lupa;
- ✓ conjunto de líquido penetrante;
- ✓ máquina fotográfica digital;
- ✓ medidor portátil de dureza;
- ✓ nível;
- ✓ espelho de inspeção.

## 5.6 Preparação do equipamento para o serviço em espaço confinado

É mandatório atender a NR-33 - Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados.

### 5.6.1 Limpeza

O equipamento em que será realizado o serviço deve estar vazio, purgado,

lavado, drenado, desgaseificado e em temperatura adequada.

#### 5.6.2 Isolamento

O vaso de pressão a ser inspecionado internamente deve ser isolado dos demais equipamentos de processo por meio de raquetes e flanges cegos ou, sempre que possível, desconectar as tubulações de entrada e saída e vedá-las com flange cego.

#### 5.6.3 Atmosfera do espaço confinado

A ventilação/exaustão permanente é fundamental para eliminar ou minimizar a presença de substâncias tóxicas e /ou inflamáveis e garantir a ausência de formação de misturas explosivas.

A atmosfera do local deve estar isenta de misturas explosivas ou de substâncias tóxicas e/ou inflamáveis, tais como o sulfeto de ferro (FeS) que sofre combustão espontânea quando seco e exposto ao oxigênio.

Recomenda-se que não seja permitida a entrada em espaços confinados com atmosferas inertes, tais como nitrogênio (N<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), freon e outros tóxicos ou não, em que o teor de oxigênio esteja abaixo dos padrões aceitáveis, sem conjunto autônomo, ou equipamento de ar mandado, e sem o acompanhamento da sentinela de emergência.

O interior do local, nestes casos, deve ser monitorado, contínua ou periodicamente, com relação à explosividade, aos níveis percentuais de oxigênio, H<sub>2</sub>S e /ou outros gases prejudiciais à saúde. O monitoramento não deve ser efetuado apenas próximo à entrada do equipamento, pois não medirá a concentração efetiva de gases no interior do equipamento.

#### 5.6.4 Dispositivos auxiliares

A adequação da iluminação e os acessos aos locais de interesse da inspeção devem ser observados de modo a verificar necessidade de montagem de andaimes e/ou instalação de luminárias. Recomenda-se iluminação com fonte de baixa tensão com intuito de se evitar acidentes provenientes de choques

elétricos.

#### 5.6.5 Sinalização

A delimitação da área de trabalho e a colocação de avisos de prevenção devem ser identificadas e determinadas pelo responsável pela segurança industrial.

### 5.7 Segurança e proteção individual do inspetor

#### 5.7.1 Documento de autorização de trabalho

A entrada em espaço confinado para limpeza, inspeção ou manutenção, só deve ser efetuada após emissão de documento de autorização de trabalho por funcionário autorizado, mesmo que tenham sido observadas todas as etapas previstas para descontaminação.

O inspetor deve informar-se com o emitente do documento de autorização de trabalho quanto aos riscos envolvidos, às características e precauções referentes aos produtos eventualmente presentes, aos riscos de alterações das condições da atmosfera do espaço confinado quando da remoção de crostas, borras, bem como quanto aos equipamentos de proteção individuais (EPIs) requeridos.

#### 5.7.2 Equipamentos e medidas de segurança adicionais

Eventualmente, mesmo após a realização dos procedimentos para a descontaminação de espaço confinado, algumas substâncias tóxicas, inflamáveis ou explosivas podem ser liberadas lentamente dos resíduos aderidos às paredes.

Assim, se o equipamento opera normalmente com fluidos de processos que não permitam garantir a ausência de substâncias tóxicas no seu interior, para a entrada no espaço confinado, o inspetor deve utilizar:

✓ Proteção respiratória isolante;

- ✓ Roupa especial de proteção;
- ✓ Permanência de sentinela equipada para socorro;
  
- ✓ Cinto de segurança tipo "alpinista" para resgate, com corda de salvamento de comprimento suficiente para permitir sua saída do espaço confinado.

Após a interrupção de trabalhos, por qualquer motivo, antes do seu reinício, todos os procedimentos de monitoração devem ser repetidos.

### 5.7.3 Sentinela de emergência

A inspeção interna de um vaso de pressão não deve ser realizada sem a presença de uma sentinela.

Independente do risco existente, para toda entrada em espaço confinado, é importante a presença de uma sentinela.

A sentinela deve ser treinada sobre os procedimentos a tomar em situações de emergência. Ao sinal de qualquer anormalidade, a sentinela deve orientar o inspetor que estiver no espaço confinado, para que saia imediatamente. A sentinela deve posicionar-se de tal forma que, a qualquer momento, possa prestar assistência ao inspetor que estiver no interior do espaço confinado.

Em casos de emergência com o inspetor no espaço confinado, a sentinela deve acionar um alarme e aguardar a chegada de socorro. Em nenhuma circunstância, a sentinela deve entrar no espaço confinado sem o auxílio de outros colaboradores e desprovido dos equipamentos de proteção.

A sentinela não pode ausentar-se do seu posto, caso o inspetor ainda se encontre no interior do espaço confinado.

### 5.7.4 Equipamentos rotativos e/ou energizados

Quando o serviço for executado em equipamento com partes móveis no seu interior (agitador, mexedor, etc.), é necessário o desligamento da energia e a colocação de dispositivo que impeça o acionamento acidental do equipamento e, sempre que possível, a desconexão dos cabos do motor.

Antes de qualquer trabalho com máquinas elétricas portáteis, ou iluminação elétrica portátil em espaço confinado, o inspetor deve verificar visualmente as condições das máquinas, luminárias, cabos e extensões.

Recomenda-se não utilizar, dentro do equipamento, cabos elétricos com emendas ou condutores expostos.

## **6 Responsabilidade pela inspeção**

A NR-13 – Norma Regulamentadora para Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações, define no subitem 13.4.11 que a inspeção de segurança de vasos de pressão deve ser realizada sob a responsabilidade técnica de um PH.

É de responsabilidade do Profissional Habilitado, orientar a preparação das inspeções de segurança, participar das inspeções, revisar e assinar os Relatórios de Inspeção.

Aos Técnicos de Inspeção e Inspetores de Equipamentos cabe a responsabilidade de preparar as inspeções de segurança de acordo com as orientações do PH, executar as inspeções, elaborar e assinar os Relatórios de Inspeção.

# 7 Técnicas de inspeção

## 7.1 Inspeção visual

Esta técnica, de uma forma geral, é a base para a utilização de todas as outras técnicas de inspeção.

A inspeção visual é a realizada através do sentido humano da visão, podendo ser auxiliada por instrumentos ou acessórios disponíveis, tais como, lentes, lupas, microscópio não eletrônico, endoscópio, câmeras e outros.

A inspeção visual é uma das principais técnicas e, provavelmente a mais antiga. Ela permite a percepção humana direta do inspetor quanto ao estado superficial físico do equipamento. Partindo desta inspeção, pode ser considerada a necessidade de utilização de outras técnicas mais sofisticadas.

### 7.1.1 Inspeção visual externa

Consiste na verificação visual detalhada da superfície externa do vaso de pressão e sistemas que o compõem, complementada, sempre que necessário, pela utilização de ferramentas auxiliares e aplicação de ensaios não destrutivos.

A periodicidade das inspeções externas deve ser estabelecida em função das condições do processo, ambientais e do local da instalação, e deve estar definida no programa de inspeção do vaso de pressão, com o devido cuidado para que não sejam ultrapassados os limites definidos na legislação vigente.

Para os vasos de pressão novos sujeitos a exigências legais de inspeção, deve ser feita inspeção inicial no local definitivo de instalação, atendendo ao disposto na legislação vigente.

A inspeção externa pode ser realizada com o vaso de pressão em condições

normais de operação, ou por ocasião das paradas do equipamento. Para que a inspeção possa ser conduzida de forma objetiva, cabe ao inspetor seguir o planejado na fase de preparação e cumprir completamente cada etapa da inspeção.

#### 7.1.1.1 Etapas da inspeção visual externa:

##### a) Condições de operação

Como primeira ação da inspeção externa, deve-se verificar se o equipamento está operando em condições de pressão e temperatura compatíveis com o projeto. Trabalho acima dos limites de projeto compromete a segurança das pessoas, instalações e do meio ambiente.

##### b) Identificação e instalação

Na Norma Regulamentadora NR-13 estão descritas condições de identificação e instalação para os vasos de pressão nela enquadrados que devem ser verificadas durante as inspeções externas. Para os vasos não enquadrados na NR-13, apesar de não existirem regras definidas, é recomendável que tenham identificação adequada.

##### c) Isolamento térmico

Inspecionar visualmente todo o isolamento térmico, buscando identificar locais de possíveis infiltrações de umidade, de águas de chuvas ou de sistemas de dilúvio.

Juntas sobrepostas das chapas que compõem o capeamento metálico, abertas ou malfeitas, e trincas no recobrimento asfáltico das partes sem capeamento são áreas preferenciais para infiltrações.

As regiões sob as plataformas do topo, quando existentes, junto às conexões e olhais de suportes são as mais sujeitas a conterem falhas no isolamento térmico. Para os vasos verticais, observar com cuidado a região da junção do isolamento térmico com a proteção contra fogo da saia.

Recomenda-se remover trechos do isolamento térmico para avaliar as

condições das chapas do costado, principalmente nos vasos de pressão que operam em baixas temperaturas (isolados a frio). Para esses vasos, é necessária uma amostragem mais abrangente, ou mesmo a remoção total do isolamento, pois a experiência mostra que pode haver condensação de umidade entre a parede do vaso e o isolante térmico, com instalação de processo corrosivo em áreas localizadas, estando o restante da superfície completamente sã. Essas áreas estão localizadas principalmente nas partes inferiores dos vasos.

Muitos vasos de pressão possuem pintura anticorrosiva sob o isolamento térmico e, nesse caso, essa pintura deve ser inspecionada quanto à existência de falhas localizadas (rompimento da película). Para os vasos de pressão isolados a frio, essas falhas propiciam o aparecimento de áreas anódicas em relação ao restante da superfície.

O capeamento metálico do isolamento deve ser verificado quanto ao estado físico e, se necessário, ser recomendada a substituição total ou parcial.

#### 7.1.1.2 Pintura de proteção

Os defeitos mais comuns encontrados em pinturas de proteção de equipamentos industriais são os seguintes:

##### a) Empolamentos

Principais causas de empolamentos em pinturas:

- ✓ Presença de umidade, óleos, graxas ou de sujeiras durante a aplicação. Aparece em curto prazo após a aplicação;
- ✓ Operação do equipamento, mesmo por períodos curtos, em temperaturas acima do limite de resistência da tinta. Aparecimento imediatamente após a ocorrência;
- ✓ Incompatibilidade entre camadas das tintas que compõem o esquema de pintura;
- ✓ Intervalos inadequados entre as demãos, causando problemas de

ancoragem entre as camadas;

- ✓ Condições de processo que permitam formação de hidrogênio atômico. Pode haver empolamento da pintura, que nesse caso poderá aparecer de forma generalizada ou localizada.

Para identificar a causa provável do empolamento, deve-se romper alguns deles e observar o interior da bolha, verificando se existe alguma forma de contaminação ou presença de água ou algum outro líquido. No caso de empolamentos por hidrogênio, o interior das bolhas estará sempre limpo e seco.

O inspetor deve verificar ainda, se o empolamento, está restrito à tinta de acabamento ou atinge também a tinta de fundo. No primeiro caso deve recomendar recomposição da pintura de acabamento e, no segundo, recomendar o reparo ou repintura usando o esquema completo de pintura.

b) “Empoamento”

Deterioração superficial da pintura, de modo uniforme e progressivo, por ação de raios ultravioleta. Deve ser avaliada a intensidade do desgaste para decidir o que recomendar; refazer a pintura de acabamento ou todo o esquema, ou ainda, especificar um esquema mais adequado.

c) Abrasão/erosão

Desgaste em áreas localizadas, devido à ação de partículas sólidas carregadas por ventos frequentes em uma mesma direção. A avaliação deve se conduzida da mesma forma que no item anterior.

- d) Fendilhamento, gretadura, enrugamentos e presença de pontos de corrosão dispersos pela superfície pintada.

O aparecimento desses defeitos sugere:

- ✓ Em pinturas recentes: aplicação incorreta;

- ✓ Em pinturas relativamente novas: esquema de pintura inadequado;
- ✓ Em pinturas velhas: término da vida útil do sistema.

Para todos esses defeitos, a reparação requer a aplicação do esquema de pintura completo.

Áreas queimadas ou com mudança de coloração em vasos refratados internamente indicam possível avaria do refratário interno. Nesse caso, a inspeção visual deve ser complementada por tomada de medidas de temperatura da chapa na região afetada, para verificação de possíveis riscos para a integridade do equipamento.

É prática usual se recomendar o repinte total, caso a área afetada resulte maior que 30% da superfície total.

As normas ASTM D 610, D 659, D 661 e D 714 apresentam padrões fotográficos que podem ser usados como auxiliares na avaliação de pinturas.

As regiões dos vasos de pressão mais suscetíveis ao aparecimento de processos corrosivos devidos a falhas na pintura são:

- ✓ Cordões de solda manuais: nessas regiões, devido às irregularidades da superfície, não há uniformidade da espessura da película protetora;
- ✓ Topo do vaso: causada por baixa aeração, quando existem plataformas muito próximas ao casco. Essa forma de ataque é comum nos vasos esféricos, torres e cilindros de armazenamento de gases. Essas regiões são difíceis de serem retocadas;
- ✓ Geratriz inferior dos vasos horizontais: causada por condensação de umidade;
- ✓ Bocais e conexões: parte dos vasos onde a pintura está sujeita a danos mecânicos por ocasião das manutenções;
- ✓ Selas: quando o vaso é simplesmente apoiado nas selas (metálicas ou de

- concreto) ou fixado por cordões de solda intermitentes;
- ✓ Pedestais: causada por acúmulo de detritos depositados, por objetos largados por ocasião de manutenções ou por acúmulo de águas de chuvas.

A avaliação da pintura de proteção deve contemplar, além da verificação de defeitos, a conformidade das cores empregadas com a legislação de segurança em vigor.

### 7.1.1.3 Inspeção das chapas do costado e pescoço dos bocais

A inspeção visual das chapas do costado dos vasos de pressão deve ser meticulosa o bastante para que os problemas detectados possam ser avaliados com o cuidado necessário para que não sejam super ou subestimados. Deve-se pesquisar conforme tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Inspeção do costado e bocais

<b>Inspeção do costado e bocais</b>			
<b>Dano</b>	<b>Parte afetada</b>	<b>Causa</b>	<b>Recomendação para ação corretiva</b>
Corrosão localizada.	Qualquer parte do vaso.	<p>Regiões de falhas dos revestimentos protetores.</p> <p>Regiões de acúmulo de umidade.</p> <p>Regiões afetadas por vazamentos de produtos.</p> <p>Regiões com baixa aeração em relação ao conjunto.</p> <p>Regiões de contato com materiais dissimilares.</p> <p>Parte exposta das rosca das conexões roscadas.</p> <p>Porcas e parte exposta dos chumbadores.</p>	<p>Análise do trecho corroído para tomada de decisão quanto a:</p> <p>a) conviver com a situação – nesse caso, recomendar ações para estacionar o processo corrosivo.</p> <p>b) reparar – recomendar o preenchimento por soldagem usando procedimento qualificado.</p> <p>c) substituição do trecho corroído – delimitar a área a substituir e recomendar a substituição. Atentar para a necessidade da emissão de projeto de alteração e reparo de acordo com a NR 13.</p> <p>Substituição das peças afetadas. Definir a ocasião adequada, aguardar parada ou substituição imediata.</p>

### Inspeção do costado e bocais (continuação)

Dano	Parte afetada	Causa	Recomendação para ação corretiva
Vazamento em junta de vedação.	Conexões.	Estojos frouxos.	Reaperto dos estojos.
		Estojos frouxos ou apresentando escoamento. Corrosão em faces de vedação de flanges.	Reaperto ou promover maior aeração dos estojos ou resfriar os estojos. Instalar braçadeiras com selante. Correção ou substituição dos flanges.
		Falha da junta de vedação.	Analisar os riscos envolvidos e tomar decisão sempre baseada na preservação das pessoas, meio ambiente e instalações.
Trincas em cordões de solda e zonas adjacentes.	Soldas do corpo e dos tampos.	Tensões residuais de soldagem. Tratamento térmico não adequado. Pressão causada por hidrogênio ou metano retido em descontinuidades internas.	Cada caso deve ser analisado cuidadosamente, preferencialmente por um especialista.
Empolamento por hidrogênio.	Chapas do corpo, tampos e pescoço de conexão.	Geração de hidrogênio atômico no processo.	Fazer análise da região afetada, dimensionando os empolamentos maiores e pesquisando a existência de trincas ao redor. Consultar literatura específica ou especialista.
Deformações do costado.	Partes pressurizadas.	Sobre pressões. Aquecimentos localizados. Tensões geradas por tubulações acopladas ao vaso.	Fazer análise da integridade do equipamento.

#### 7.1.1.4 Suportes e bases dos vasos de pressão

A inspeção visual desse componente deve estar sempre contemplada no planejamento da inspeção externa. Alguns pontos devem ser verificados com mais cuidado, como a saia dos vasos verticais na junção com o

corpo, região sujeita a processos corrosivos localizados sob a proteção contra fogo. Deve ser verificada também a área exposta dos chumbadores e, com auxílio de um martelo de inspeção, avaliada a integridade das porcas de fixação do equipamento. A verificação desses pontos é muito importante nos vasos de pressão verticais, principalmente nas torres.

O concreto da proteção contrafogo e das bases deve ser verificado quanto à existência de trincas ou esboroamento devido a corrosão das ferragens internas.

#### 7.1.1.5 Aterramento elétrico

Nos vasos de aço carbono, é comum a instalação de processo corrosivo intenso no clipe de fixação do cabo de cobre ao vaso. O martelo de inspeção deve ser usado para verificar a integridade da ligação.

#### 7.1.1.6 Escadas e plataformas

O problema mais comum encontrado nas escadas e plataformas é a corrosão devida a deterioração da pintura de proteção. Devem ser verificados com atenção os degraus e guarda-corpos das escadas, pois da sua integridade depende a segurança do pessoal que acessa o equipamento. Para as plataformas, deve ser verificada a existência de regiões com sinais de acúmulo de águas de chuvas. Nessas regiões, é recomendável fazer um furo na chapa para a drenagem das águas, evitando a formação de poças.

#### 7.1.1.7 Dispositivos de segurança

Devem ser verificados:

- ✓ O estado físico aparente e sinais de vazamentos;
- ✓ Para dispositivos do tipo válvula de segurança ou alívio, se a pressão de abertura é menor ou igual à pressão máxima de trabalho permitida;
- ✓ Lacres íntegros;

- ✓ Se existem válvulas de bloqueio à montante ou à jusante e se, em caso positivo, estão instalados dispositivos contra o bloqueio inadvertido.

O programa de inspeção deve ser consultado para verificar se existe coincidência da inspeção externa do vaso com a manutenção e calibração do dispositivo.

#### 7.1.1.8 Medição de espessuras

É comum as medições de espessuras coincidirem com as inspeções externas. O procedimento de inspeção deve ser consultado quanto às épocas previstas e as exigências de capacitação do pessoal executante e de calibração dos instrumentos de medição. É importante a rastreabilidade e identificação do ponto de medição para cálculo da taxa de corrosão e acompanhamento da vida remanescente.

#### 7.1.2 Inspeção visual interna

Para a monitoração da integridade física, recomenda-se que o vaso de pressão seja inspecionado internamente, segundo uma frequência adequada às suas condições de projeto, condições operacionais e de acordo com as legislações aplicáveis. A inspeção interna, de uma forma geral, é realizada simultaneamente ou precedida pela inspeção externa.

As primeiras providências para a realização da inspeção estão descritas no item anterior, "Preparativos para inspeção", onde ressaltamos as medidas de segurança e proteção individual do inspetor.

A inspeção visual interna é de grande importância para a identificação de mecanismos de danos internos, cujas características sejam de ataques não uniformes e que seja difícil a sua localização por meio de Ensaios Não Destrutivos efetuados a partir da superfície externa.

Em uma inspeção visual interna de um vaso de pressão, o inspetor deve dirigir sua atenção para:

- ✓ No momento da abertura do vaso, verificar a existência de depósitos, resíduos, incrustações, observando o tipo, quantidade e localização. Recolher amostras para análise, se necessário;
- ✓ Inspeccionar o costado, as calotas, cordões de solda e conexões quanto a deformações, trincas, corrosão e erosão, danos devido a limpeza ou manutenção. Em algumas situações, pode haver a necessidade de remoção de componentes internos do vaso;
- ✓ Verificar a ocorrência de danos por hidrogênio;
- ✓ Avaliar o estado interno das conexões quanto à corrosão e obstrução;
- ✓ Verificar a integridade do revestimento interno ("clad", "lining", pintura, refratários e outros) quanto à corrosão, estufamentos, trincas nas soldas, erosão;
- ✓ Examinar o posicionamento, a fixação e a integridade de componentes internos, quando houver, tais como distribuidores, tubulações, serpentinas, defletores, separador de gotículas (demister), ciclones, grades, anti vórtice, parafusos e porcas;
- ✓ Identificar os locais a serem preparados para inspeções por Ensaios Não Destrutivos. A medição de espessura é o ensaio de realização mais frequente e tomado como base para os cálculos das taxas de corrosão.
- ✓ É muito importante realizar medição de espessura nesta fase para vasos de pressão que operam a altas temperaturas. É também uma oportunidade de confrontar o resultados de medidas efetuadas com o vaso em operação.

#### 7.1.2.1 Etapas da inspeção visual interna

#### 7.1.2.1.1 Preliminares

- ✓ Avaliar as condições do local para determinar as medidas de proteção necessárias;
- ✓ Todos os equipamentos e acessórios necessários para a inspeção, incluindo andaimes, escadas, ferramentas, iluminação, ventilação e outros, podem ser providenciados e/ou montados antecipadamente para evitar perda de tempo na parada do equipamento;
- ✓ A limpeza e preparação para as inspeções dependem do tipo de dano esperado e de sua localização. Normalmente, a limpeza requerida pelo pessoal de operação é suficiente para o objetivo da inspeção. Podem ser utilizados jatos de água quente ou fria, jatos de vapor, aplicação de solventes ou raspagem dos resíduos. Onde houver necessidade de uma limpeza mais adequada, esta pode ser feita pelo próprio inspetor com ferramentas manuais, em áreas pequenas, ou por meio de ferramentas motorizadas como escovas, discos abrasivos, lixas, jatos de água de alta pressão ou jatos com partículas abrasivas. Em geral, quando os mecanismos de danos são trincas ou pites, há necessidade de uma limpeza mais cuidadosa, evitando o encobrimento de micro trincas pelo processo de limpeza. Caso a inspeção subsequente envolva Réplica Metalográfica a preparação de superfície convencional é insuficiente. Neste caso devem ser aplicados outros métodos de preparação da superfície.

#### 7.1.2.1.2 Utilização das ferramentas

As ferramentas de uso mais comum são a lanterna, marcadores, raspadores, lixas, estilete, régua, trena, martelo, lupas, escova e máquina fotográfica digital.

- ✓ Lanterna - É uma das principais ferramentas do inspetor para a inspeção visual. Em geral a iluminação do ambiente é feita por luminárias adequadas, para ambientes confinados ou não. A lanterna auxilia o inspetor possibilitando efeitos de iluminação e sombras. O feixe luminoso, quando colocado paralelamente à superfície da peça, ressalta deformações tais como empenamentos, corrosões localizadas, empenamentos;
- ✓ Marcadores - Constituídos por giz comum, lápis de cera, bisnagas de

tinta e servem para assinalar os locais onde seja necessária atenção especial. Observa-se que marcadores de cor marrom podem conter óxido de ferro e deve ser evitada a sua utilização em ligas inoxidáveis austeníticas, devido à possibilidade de contaminação da liga. As marcações incluem desde regiões pequenas como empolamentos ou trincas até regiões maiores onde seja necessário fazer reticulados para mapear danos existentes;

- ✓ Raspadores - Ferramentas utilizadas para a remoção de resíduos ou produtos de deterioração em locais onde o inspetor suspeita da existência de danos ou verifica a intensidade do dano;
- ✓ Lixas - Utilizadas na preparação da superfície para ensaios ou melhorar a limpeza para inspeção visual;
- ✓ Escova - Utilizada para melhorar a limpeza superficial de regiões específicas. Em alguns casos o uso deve ser cuidadoso, pois escovas de aço podem encobrir micro trincas;
- ✓ Estilete - Utilizado para localizar e explorar danos superficiais com maior profundidade tais como pites ou poros;
- ✓ Lupas - Utilizadas para auxiliar na inspeção de superfícies onde possam existir danos de pequenas dimensões;
- ✓ Martelo - Utilizado para localização de danos em que, a alteração do som emitido pelo martelamento, possa indicar a sua existência. Estes danos podem ser perda de espessura localizada em cascos, bocais, tubulações, indicação de trincas ou falta de fixação em revestimentos metálicos. Em geral são usadas marteladas leves e exige experiência do inspetor para a interpretação do ensaio com martelo. O martelo também pode ser utilizado para verificação da fixação de componentes internos aparafusados;
- ✓ É necessário cuidado quanto à existência de revestimentos frágeis, que possam ser danificados durante o ensaio;
- ✓ Trena e régua - Utilizadas para a medição e localização de danos;
- ✓ Máquina fotográfica - Ferramenta das mais utilizadas e úteis para o

registro de danos e inclusão em relatórios. Há restrições quanto a utilização de máquinas eletrônicas e "flash" em ambientes com possibilidade de conterem fluidos combustíveis ou explosivos.

#### 7.1.2.1.3 Roteiros para inspeção

- ✓ Antes da realização da inspeção, consultar os itens "Preparativos para inspeção", ressaltando a consulta aos relatórios de inspeção anteriores, onde possa haver referências a existência de danos, localização e providências solicitadas ou realizadas;
- ✓ A primeira atividade junto ao equipamento é a inspeção visual; a inspeção externa e a inspeção interna estão detalhadas nos itens específicos acima;
- ✓ Entrando no equipamento, o inspetor pode fazer uma inspeção visual ampla, quando se observa nas regiões expostas, se há corrosão, qual o tipo de dano, se é generalizado ou localizado, os locais onde existem ou podem existir danos. São assinalados os locais onde serão realizados os ensaios específicos que forem necessários;
- ✓ A inspeção pode ser iniciada em uma das extremidades e terminada na outra, de forma a ser percorrida toda a superfície, evitando que sejam deixadas áreas sem inspeção. Caso necessário, e se possível, remover acessórios internos. No caso específico de torres de destilação ou fracionamento é sempre recomendável fazer a inspeção de baixo para cima. Procedendo-se desta maneira é possível verificar as condições físicas da suportaçã das bandejas antes de subir sobre a mesma.

#### 7.1.2.1.4 Locais para atenção especial

- ✓ Bocais de entrada ou saída de fluidos no equipamento e proximidades, onde haja turbulência ou aumento de velocidade de escoamento, podem apresentar perda de espessura;
- ✓ Regiões do fundo ou topo do vaso onde podem ocorrer depósitos ou condensação de vapores estão sujeitas a perda de espessura;
- ✓ Regiões de variação de nível de líquido podem apresentar perda de espessura;

- ✓ Cordões de solda, cruzamentos de cordões de solda, soldas de bocais, soldas de componentes internos podem apresentar trincas e corrosão devido a tensões residuais ou alterações metalúrgicas ocorridas durante o processo de solda;
- ✓ Regiões opostas a entradas de líquidos ou vapores, bem como em locais onde ocorra a incidência de fluidos, estão sujeitas a erosão e corrosão;
- ✓ Quando há metais dissimilares em contato, pode haver corrosão por perda de material ou espessura do metal menos nobre;
- ✓ Peças fabricadas por dobramento de chapas podem apresentar trincas nos cantos vivos e em locais onde hajam tensões ou cargas maiores;
- ✓ Suportes de bandejas, separadores de gotas, telas, chicanas, tubulações, ou outro tipo de componente, estão sujeitos a perda de espessura na região de contato;
- ✓ Podem ocorrer deformações ou ovalização em cascos.

#### 7.1.2.1.5 Casos específicos

- ✓ Equipamentos que operam com aminas estão sujeitos a trincas nas soldas, ou nas regiões termicamente afetadas;
- ✓ Soldas de desaeradores ou caldeiras podem estar sujeitas a trincas;
- ✓ Regiões de chapas de equipamentos que operem com produtos corrosivos e que produzam hidrogênio estão sujeitas ao empolamento pelo hidrogênio;
- ✓ Revestimentos metálicos estão sujeitos a descolamento, corrosão, trincas nas soldas ou em regiões de maior tensão. Abaulamento no revestimento pode indicar vazamento através da chapa do revestimento;
- ✓ Revestimentos não metálicos, tais como plásticos ou borracha podem apresentar falha de continuidade, que podem ser detectadas por inspeção visual ou com detector por faísca;

- ✓ Revestimentos de concreto, tijolo, lajotas ou refratários não podem ser ensaiados com detector por faísca.

A tensão elétrica utilizada, no método de detecção por faísca, é limitada a resistência dielétrica do revestimento;

- ✓ Topo do vaso - região sujeita a corrosão localizada devida à condensação de vapores;
- ✓ Fundo do vaso - pode ocorrer processo corrosivo devido a presença de água ou de depósitos;
- ✓ Região de variação de nível de líquido - sujeita a perda de espessura;
- ✓ Corpo dos vasos junto aos vertedores de bandejas - nessas regiões, os processos de deterioração podem estar associados a mecanismos de erosão, com perda acentuada nas espessuras;
- ✓ Cordões de solda em geral e regiões adjacentes (ZTA) - podem apresentar processo corrosivo diferente do ocorrido nas chapas, além de trincas devidas a corrosão sob tensão, a tensões residuais ou a danos acumulados em serviço;
- ✓ Bocais de entrada ou saída de fluidos e proximidades, onde haja turbulência ou aumento da velocidade de escoamento - nessas regiões, devem ser feitas medições de espessuras, que podem apresentar taxas bem maiores do que no restante do equipamento;
- ✓ Regiões com frestas - nessas regiões, geralmente ocorre corrosão localizada, devendo, portanto, serem verificadas cuidadosamente;
- ✓ Pesquisa de corrosão uniforme generalizada - Essa pesquisa deve ser feita por ocasião da primeira inspeção interna após a entrada em serviço e em vasos nos quais nunca foram feitas medições de espessuras. O inspetor deve buscar indícios de corrosão uniforme generalizada observando atentamente os cordões de solda e regiões adjacentes. A altura exagerada, além da permitida pelo código de projeto, e o perfil irregular do reforço dos cordões de solda pode indicar a existência de processo corrosivo uniforme generalizado.

Se houver essa indicação, a inspeção visual deve ser complementada com medições de espessuras na área suspeita;

- ✓ Pesquisa de corrosão localizada - Essa forma de corrosão é bem mais fácil de ser observada. A utilização de feixe luminoso paralelo à superfície facilita a visualização. Nesse caso, a inspeção deve ser complementada pelo dimensionamento dos defeitos maiores para permitir tomada de decisão quanto a reparar ou manter sob acompanhamento;
- ✓ Pesquisa de empolamentos e deformações - Os vasos de pressão onde o processo operacional permite a formação de hidrogênio estão sujeitos a apresentar empolamentos, que devem ser pesquisados na inspeção visual, com auxílio de iluminação lateral;
- ✓ Equipamentos que operam em altas temperaturas estão sujeitos a deformações plásticas localizadas, que devem ser pesquisadas na inspeção visual, com auxílio de iluminação lateral e instrumentos auxiliares de medidas.

Da mesma forma, poderão ser pesquisadas deformações de origem mecânica, que podem ocorrer principalmente devido a cargas localizadas, choques térmicos ou recalques diferenciais;

- ✓ Inspeção de revestimentos internos:
  - 1) Revestimentos orgânicos - como pinturas e revestimentos de borracha, ebonite e outros devem ser pesquisados quanto à aderência e a existência de empolamentos e fissuras. A continuidade do revestimento deve ser testada com detector por faísca ("holiday detector");
  - 2) Revestimentos cerâmicos, de concreto, tijolos antiácidos ou refratários devem ser verificados por inspeção visual, com auxílio de estiletes;
  - 3) Revestimentos metálicos - a inspeção deve ser visual, podendo ser complementada com ensaio não destrutivo. Devem ser pesquisados quanto à ocorrência de corrosão, trincas nas soldas ou regiões de maior tensão, descolamentos e abaulamentos.

## 7.2 Ensaio

### 7.2.1 Ensaio por Líquido penetrante

O ensaio por Líquido penetrante é considerado um dos melhores métodos de ensaio para a detecção de descontinuidades superficiais ou descontinuidades internas que aflorem a superfície de materiais isentos de porosidade tais como: metais ferrosos e não ferrosos, alumínio, ligas metálicas, cerâmicas, vidros, certos tipos de plásticos ou materiais orgânicos sintéticos. Líquido penetrante também é utilizado para a detecção de vazamentos em tubos, tanques, soldas e componentes.

Descontinuidades em materiais fundidos tais como gota fria, trincas de tensão provocadas por processos de têmpera ou revenimento, descontinuidades de fabricação ou de processo tais como, trincas, costuras, dupla laminação, sobreposição de material ou ainda trincas provocadas pela usinagem, ou fadiga do material ou mesmo corrosão sob tensão, podem ser facilmente detectadas pelo método de Líquido Penetrante.



**Figura 8 – Trinca revelada por líquido penetrante**

Este método está baseado no fenômeno da capilaridade que é o poder de penetração de um líquido em áreas extremamente pequenas devido a sua baixa tensão superficial. O poder de penetração é uma característica bastante importante uma vez que a sensibilidade do ensaio é enormemente dependente do mesmo.

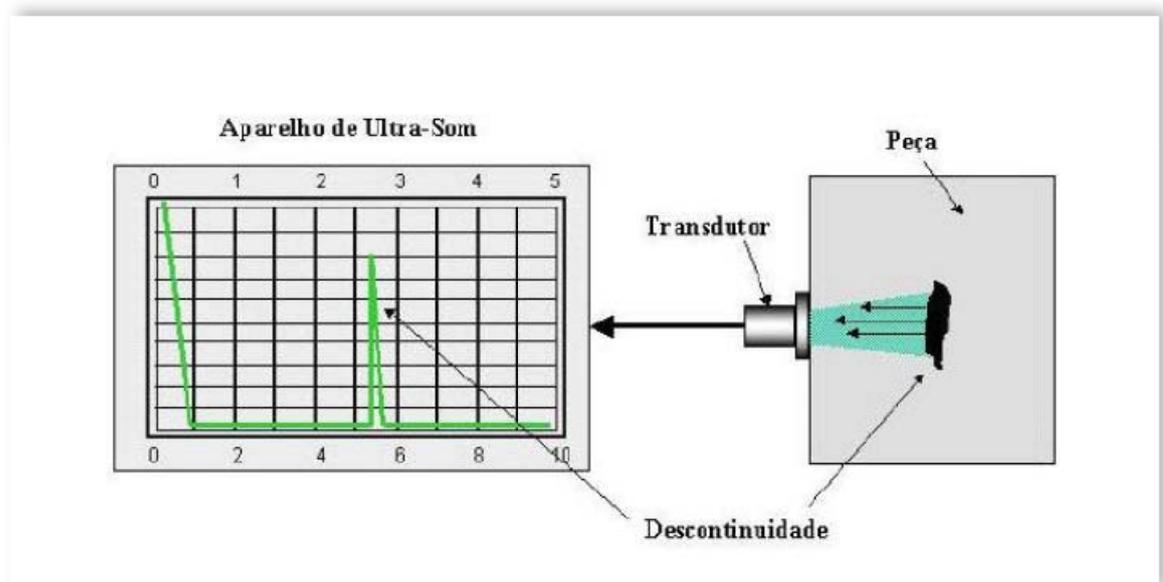
### 7.2.2 Ensaio por partículas magnéticas

O ensaio por partículas magnéticas é usado para detectar descontinuidades superficiais e subsuperficiais em materiais ferromagnéticos. São detectados defeitos tais como: trincas, inclusões, dupla laminação, falta de penetração, dobramentos, segregações, etc.

### 7.2.3 Ensaio por ultrassom

Detecta descontinuidades internas em materiais, baseando-se no fenômeno de reflexão de ondas acústicas quando encontram obstáculos à sua propagação, dentro do material.

Utiliza-se ultrassom também para medir espessura e determinar corrosão com extrema facilidade e precisão.



**Figura 9 – Princípio básico da inspeção por ultrassom.**



**Figura 10 – Inspeção de Solda com ultrassom.**

Existem diversas outras técnicas que são evolução do princípio básico, como TOFD, phased array, entre outras. Entretanto, não é objetivo deste Guia aprofundar neste tema.

#### 7.2.4 Ensaios por radiografia e gamagrafia

O método está baseado na mudança de atenuação da radiação eletromagnética (Raios X ou Gama) causada pela presença de descontinuidades internas, quando a radiação passa pelo material sensibilizando um filme, sensor radiográfico ou em um intensificador de imagem.

A radiografia foi o primeiro método de ensaio não destrutivo introduzido na indústria para detecção de defeitos internos em materiais.

#### 7.2.5 Ensaios de pressão

Ao término dos serviços de inspeção e de manutenção, onde são recomendados e executados reparos que podem ter afetado a estrutura do vaso, torna-se necessário realizar ensaios de pressão que poderão ser feitos com água, ar,

vapor, ou outro meio que proporcione igual efeito de pressão, desde que o mesmo seja compatível com o material do vaso sem aumento dos riscos inerentes ao ensaio.

A execução de reparos e alterações em vasos de pressão, devem ser feitas com base num "Projeto de Alteração ou Reparo" (PAR), visando atender a NR-13.

É recomendável que sejam utilizados procedimentos específicos contemplando as etapas de pressurização, inspeção e despressurização do vaso.

#### 7.2.5.1 Ensaio de estanqueidade

O ensaio de estanqueidade tem como objetivo assegurar a inexistência de vazamentos, sem considerar aspectos de integridade estrutural do equipamento.

Vazamentos de acessórios internos de vasos de pressão causam perdas de eficiência, podendo ainda acarretar em acúmulo de produtos em locais não previstos do vaso, provocando deterioração do mesmo. Em vasos de pressão, temos os exemplos, a saber:

- a) Estanqueidade das conexões e bocas de visita - são fechadas todas as conexões para preenchimento do vaso com o fluido de ensaio e observado se há vazamento pelas juntas, pelo simples exame visual, ou usando-se detectores apropriados em função do fluido utilizado;
- b) Bandejas de torres de destilação - Neste ensaio, a bandeja é inundada com água até a altura da chapa de nível do vertedor, sendo seu esvaziamento espontâneo cronometrado. A inspeção visual da parte inferior da bandeja indicará o número de gotas que vazam na unidade de tempo através das regiões de vedação do assoalho da bandeja;
- c) Chapas de reforço - O ensaio, nesse caso, consiste em colocar ar comprimido ou gás inerte através de um niple com entalhe na extremidade, conectado ao furo de ensaio. O entalhe no niple é para evitar o bloqueio de gás no caso de a extremidade do niple entrar em contato com o casco do vaso.

A chapa deve ser pressurizada com uma pressão entre 0,07 MPa (0,7 kgf/cm<sup>2</sup>) e 0,10 MPa (1,0 kgf/cm<sup>2</sup>). Após 15 minutos de pressurização, deve ser colocada sobre as soldas em ensaio uma solução formadora de bolhas.

#### 7.2.5.2 Ensaio hidrostático

Em geral, o ensaio hidrostático tem como finalidade a verificação da integridade estrutural do equipamento e se baseia sempre na atual pressão máxima de trabalho admissível do vaso de pressão.

Para a execução do ensaio hidrostático, deve ser considerado o código de projeto, a instalação, as condições de suportabilidade e da fundação do vaso de pressão.

O ensaio hidrostático em vasos de pressão consiste na pressurização com um líquido apropriado a uma pressão cujo valor no ponto mais alto do vaso é a "pressão de ensaio hidrostático".

Recomenda-se que o ensaio hidrostático não seja executado numa temperatura do fluido abaixo de 15°C, para prevenir fratura frágil, exceto para cascos de vasos integralmente construídos com materiais adequados para baixas temperaturas.

Outra advertência para vasos construídos em aços inoxidáveis austeníticos, ou revestidos internamente por eles, onde a concentração de cloretos na água não deve ultrapassar 50 ppm para se evitar posterior corrosão sob tensão.

Como exemplo, citamos o código ASME na seção VIII, divisão I, o qual determina que a pressão do ensaio hidrostático na fabricação deve ser igual ou maior, em qualquer ponto do vaso, a:

$$P_{tp} = f * PMTA.(S_f/S_q) [1]$$

Onde:

$P_{tp}$  - pressão do ensaio hidrostático.

f - fator de acréscimo para ensaio, conforme revisão pertinente do código.

PMTA - pressão máxima admissível de trabalho do equipamento na situação corroída na temperatura de projeto.

Sf - tensão admissível do material à temperatura do ensaio.

Sq - tensão admissível do material na temperatura de projeto.

Este é o valor mínimo que o código estabelece para vasos novos.

Em caso de vaso em uso, deve-se consultar o Profissional Habilitado, conforme definido pela legislação, para que o mesmo defina a pressão a ser adotada no ensaio.

Na realização do ensaio hidrostático, costuma se usar para a leitura dos valores de pressão, no mínimo dois manômetros calibrados. Tais instrumentos devem ter um fundo de escala adequado, ou seja, o valor da pressão de ensaio deve estar entre 1/3 e 2/3 do fundo de escala.

### 7.2.5.3 Ensaio pneumático

Este ensaio é realizado quando o vaso e seus suportes e/ou fundações não sustentam o seu peso com o fluido de ensaio ou quando não for possível uma perfeita secagem para a eliminação do mesmo, em casos que sua presença, mesmo que em pequena quantidade, não seja permitida por motivos operacionais, ou ainda quando houver acessórios internos que não possam ter contato com líquidos.

Deve-se consultar o Profissional Habilitado, conforme definido pela legislação, para que o mesmo defina a pressão e os cuidados a serem adotados no ensaio.

Como medida de segurança, o ensaio pneumático só deve ser adotado quando não houver outra alternativa. Além disso, durante toda a execução do ensaio, incluindo a completa despressurização do vaso, somente devem ter acesso ao vaso e suas imediações as pessoas estritamente necessárias à execução do ensaio e inspeção do vaso de pressão.

### 7.2.6 Ensaio por emissão acústica

O princípio do método é baseado na detecção de ondas acústicas emitidas por um material em função de uma força ou deformação aplicada. Caso este material tenha uma trinca, descontinuidade ou defeito, a sua propagação irá provocar ondas acústicas detectadas pelo sistema.

Os resultados do ensaio por emissão acústica não são convencionais. Na realidade este método não deve ser utilizado para determinar o tipo ou tamanho das descontinuidades em uma estrutura, mas sim, para se registrar a evolução das descontinuidades durante a aplicação de tensões na estrutura, desde que as cargas aplicadas sejam suficientes para gerar deformações localizadas, crescimento do defeito, destacamento de escória, fricção, ou outros fenômenos físicos.

Aplica-se a emissão acústica quando se quer analisar ou estudar o comportamento dinâmico de defeitos em peças ou em estruturas metálicas complexas, assim como registrar sua localização. O ensaio por emissão acústica permite a localização da falha, captada por sensores instalados na estrutura ou no equipamento a ser monitorado.

### 7.2.7 Termografia

A inspeção termográfica (termografia) é uma técnica não destrutiva que utiliza os raios infravermelhos, para medir temperaturas ou observar padrões diferenciais de distribuição de temperatura, com o objetivo de propiciar informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo.

### 7.2.8 Ensaio por ACFM

O ensaio por ACFM (Alternating Current Field Measurement), ou seja, medição do campo de corrente alternada é uma técnica bastante utilizada para identificar trincas de fadiga e trincas subsuperficiais. O princípio é semelhante ao do Ensaio de Partículas Magnéticas.

### 7.3 Resumo das técnicas de inspeção

A tabela 2 apresenta um resumo das técnicas utilizadas na investigação e detecção de mecanismos de danos.

Tabela 2 – Técnicas de investigação e detecção de mecanismos de danos

<b>Técnicas de investigação e detecção de mecanismos de danos</b>				
<b>Classificação geral</b>	<b>Técnica</b>	<b>Tipo de informação coletada</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
1. Exames físicos	Exame visual: exame da região a ser inspecionada com visão direta ou com auxílio de pequena ampliação.	Marcas de abrasão, trincas de maior porte, amassamentos, etc.	Pode ser executada no campo, sem necessidade de equipamentos especiais. Pode ser fotografado.	Baixa resolução/ detectabilidade.
	Microscopia (ótica ou eletrônica): ensaio de campo ou através de réplica metalográfica.	Microestrutura do componente, porosidades, micro-trincas (se incidentes na região estudada).	Indicações do comportamento metalúrgico do material, indicações de danos ainda em pequena escala.	Custo, dificuldade de se realizar no campo, limitação da área estudada.
	Magnetismo (ensaio do ímã): aplicação por contato ou proximidade de elemento magnético.	Identifica se o material é ou não ferro magnético.	Identificação rápida e confiável para uma classificação geral do material (ligas ferríticas, de níquel ou cobalto).	Variações de ligas e proporções (p.ex. soldas que contenham estruturas austeníticas).
	Inspeção por Líquido penetrante: aplicação e posterior revelação de Líquido penetrante.	Indicações gerais de incidência de trincas abertas à superfície.	Técnica simples e rápida. Resolução até 0,5mm de extensão.  Pode ser realizado registro fotográfico.  Existem padrões internacionais.	Somente detecta trincas abertas à superfície.  O penetrante pode contaminar os produtos de corrosão, eventualmente tornando sua identificação química posterior impossível.  Resolução depende fortemente da condição de limpeza da superfície e da habilidade do operador.
	Inspeção por partículas magnéticas.	Indicações gerais de incidência de trincas abertas à superfície ou não, desde que próximas à superfície.	Técnica simples e rápida. Melhor resolução e sensibilidade do que o líquido penetrante.  Existem padrões internacionais.	Somente detecta trincas próximas à superfície.  O material a inspecionar deve ser magnético.  O veículo pode contaminar os produtos de corrosão, eventualmente tornando sua identificação química posterior impossível.

## Técnicas de investigação e detecção de mecanismos de danos (continuação)

Classificação geral	Técnica	Tipo de informação coletada	Vantagens	Limitações
1. Exames físicos (cont.)	Eddy current (correntes parasitas): detecção de trincas ou defeitos e espessura de revestimentos que causam variação das correntes parasitas aplicadas através de um campo magnético alternante.	Indicações gerais de incidência e extensão de trincas ou outros defeitos, que afloram ou esteja próximos à superfície.  Pode-se aumentar a profundidade de detecção à custa de diminuição de resolução.  Mede a espessura de revestimentos não condutores.	Técnica simples e rápida, aplicável através de superfícies revestidas, pintadas ou corroídas.  Resolução/sensibilidade melhor do que líquido penetrante. Aplicável a todos os materiais eletrocondutores.  Existem padrões internacionais.	Somente detecta defeitos próximos à superfície.  Pode não detectar trincas fechadas.  Equipamentos específicos para cada inspeção. Interpretação moderadamente difícil, podendo demandar equipamentos especiais.  O material a inspecionar deve ser eletrocondutor. A resolução depende do operador.
	Inspeção por ultrassom: ondas longitudinais.	Espessura (i.e., diminuição de espessura por corrosão, desgaste ou abrasão), em materiais até 250mm.	Sensibilidade muito alta (até 0,01mm de resolução).  Interpretação relativamente fácil. Equipamentos portáteis, para aplicação em ampla gama de materiais.	O uso requer avaliação cuidadosa para identificar ruídos e falsas indicações. Demanda equipamento especial.
	Inspeção por Ultrassom: ondas transversais (shear waves).	Indicação volumétrica da incidência/extensão/localização /orientação de trincas e defeitos em materiais até 250mm de espessura (particularmente em soldas).	Alta sensibilidade (até 0,1 a 0,2mm de resolução).  Aplicável para ampla gama de materiais, em temperaturas até 500°C.  Existem padrões internacionais.	Demorado para áreas maiores. Sensibilidade e penetração menores com o uso de maiores frequências.  Interpretação difícil, demandando experiência. Difícil para geometrias complexas.  Difícil para materiais granulados (fundidos) e anisotrópicos (p.ex., matérias com orientação cristalina direcionada). Demanda equipamento especial.
	Radiografia.	Indicação volumétrica da incidência/extensão / localização/orientação de trincas e defeitos.	Espessura do material limitado apenas pelo poder da fonte.  Fácil de interpretar. Bom para geometrias complexas.  Grandes áreas podem ser inspecionadas juntas.  Existem padrões internacionais.	Usualmente a radiação penetra na transversal, dificultando a detecção de trincas radiais.  Demanda cuidados especiais quanto à radiação.  Requer equipamentos especiais e manuseio próprio.  Temperatura limite aproximadamente de 50°C.
	Emissão acústica: detecção por transdutores de sinais acústicos refletidos pelos defeitos.	Incidência e localização de trincas em evolução (particularmente em vasos de pressão pressurizados).	Pode ser aplicado em grandes equipamentos, continuamente ou intermitente.  Requer poucos equipamentos.	Interpretação de moderada a difícil, demandando experiência.  Técnica de emprego passivo.

## Técnicas de investigação e detecção de mecanismos de danos (continuação)

Classificação geral	Técnica	Tipo de informação coletada	Vantagens	Limitações
1. Exames físicos (cont.)	Medição de temperatura: lápis térmico, giz e outros.	Medição da temperatura da superfície, dentro da faixa especificada.	Técnica rápida, simples e confiável. Não requer equipamento especial. Fácil interpretação.	Somente indica a temperatura da superfície. Baixa resolução (tipicamente de 50°C).
	Medição de temperatura: pirômetros de radiação, infravermelho, termografia.	Medição da temperatura da superfície, em ampla faixa (-20°C a 2000°C ou mais).	Técnica rápida, e relativamente simples. Detecção de radiação infravermelha pode indicar temperaturas sob isolamento, etc. Boa resolução (até 0,1°C). Para termografia é possível registro em vídeo. Fácil interpretação.	Técnicas com infravermelho sujeitas a erro se houver presença de vapor d'água e CO <sub>2</sub> , que absorve a radiação. Requer equipamento especial.
2. Exames químicos	Ensaio por pontos: aplicação de reagentes para indicar a presença de componentes.	Presença ou ausência de elementos químicos na composição do material.	Relativamente simples e confiável. Fácil interpretação. Material simples.	Requer experiência do operador. Não indica a composição completa do material. Limitado a uma certa gama de materiais.
3. Exames mecânicos	Ensaio de dureza: aplicação de um micro ensaio de dureza em área determinada do material.	Dureza do material no local testado.	Técnica simples e rápida. Interpretação fácil e imediata.	Pode alterar a superfície e a estrutura do material, demandando cuidado e atenção na escolha do local a ser ensaiado.  Mede apenas a dureza da microregião ensaiada.

### 7.4 Resumo da efetividade das técnicas de inspeção

Nenhuma técnica de inspeção é considerada altamente efetiva para todos os tipos de danos. Para a maioria dos tipos, pode ser utilizada mais de uma técnica, cada uma complementando a outra.

Tabela 3 – Efetividade de técnicas de inspeção

<b>Efetividade de técnicas de inspeção</b>							
<b>Técnica de inspeção</b>	<b>Mecanismos de danos</b>						
	<b>Perda de espessura</b>	<b>Trincas superficiais conectadas</b>	<b>Trincas subsuperficiais</b>	<b>Formação de microfissuras ou microvazios</b>	<b>Transformações metalúrgicas</b>	<b>Alterações dimensionais</b>	<b>Empolamentos</b>
Inspeção visual	1-3	2-3	4	4	4	1-3	1-3
Ultrassom feixe normal	1-3	3-4	3-4	2-3	4	4	1-2
Ultrassom feixe angular	4	1-2	1-2	2-3	4	4	4
Partículas magnéticas	4	1-3	3-4	4	4	4	4
Líquido penetrante	4	1-3	4	4	4	4	4
Emissão acústica	4	1-3	1-3	3-4	4	4	3-4
Eddy current	1-2	1-2	1-2	3-4	4	4	4
Flux leakage	1-2	4	4	4	4	4	4
Radiografia	1-3	3-4	3-4	4	4	1-2	4
Medições dimensionais	1-3	4	4	4	4	1-2	4
Metalografia	4	2-3	2-3	2-3	1-2	4	4

**1 = altamente efetivo; 2 = moderadamente efetivo; 3 = possivelmente efetivo; 4 = não utilizado normalmente.**

## 8 Causas específicas de deterioração e avarias

Tabela 4 – Tipos gerais e características de danos

<b>Tipo de dano</b>	<b>Descrição</b>
<i>Perda de espessura ou de material.</i>	<i>Remoção de material de uma ou mais superfícies; pode ser geral ou localizada.</i>
<i>Trincas superficiais conectadas.</i>	<i>Trinca conectada a uma ou mais trincas superficiais.</i>
<i>Trincas subsuperficiais.</i>	<i>Trinca logo abaixo da superfície do material.</i>
<i>Formação de microfissuras/microvazios.</i>	<i>Fissuras ou vazios sob a superfície do metal.</i>
<i>Alterações metalúrgicas.</i>	<i>Alterações na microestrutura do metal.</i>
<i>Alterações dimensionais.</i>	<i>Alterações nas dimensões físicas ou na orientação do metal.</i>
<i>Empolamentos.</i>	<i>Formação de bolhas induzidas pelo hidrogênio em inclusões no metal.</i>
<i>Alterações de propriedades do material.</i>	<i>Alterações nas propriedades do metal.</i>

### Listagem de danos provocados por corrosão ou oxidação

- ✓ Corrosão a quente;
- ✓ Corrosão atmosférica;
- ✓ Corrosão biológica;
- ✓ Corrosão em ponto de injeção;
- ✓ Corrosão galvânica;
- ✓ Corrosão de orgânicos com enxofre;
- ✓ Corrosão pelo ácido fluorídrico;
- ✓ Corrosão pelo ácido fosfórico;
- ✓ Corrosão pelo ácido naftênico;
- ✓ Corrosão pelo ácido sulfúrico;
- ✓ Corrosão pelo fenol/"NMP";
- ✓ Corrosão pelo solo;
- ✓ Corrosão por "flue gas";
- ✓ Corrosão por ácido clorídrico;
- ✓ Corrosão por água de resfriamento;
- ✓ Corrosão por água de caldeira/condensado;

- ✓ Corrosão por águas ácidas (NH<sub>4</sub>HS);
- ✓ Corrosão por amônia;
- ✓ Corrosão por cáustico;
- ✓ Corrosão por cloreto/hipoclorito de sódio;
- ✓ Corrosão por cloretos inorgânicos;
- ✓ Corrosão por cloretos orgânicos;
- ✓ Corrosão por CO<sub>2</sub>;
- ✓ Corrosão por ponto de orvalho de "flue gas";
- ✓ Corrosão sob contato/sob depósito;
- ✓ Corrosão sob isolamento/proteção contrafogo;
- ✓ Oxidação por alta temperatura;
- ✓ Perda de elementos de liga;
- ✓ Sulfetação pelo H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S;
- ✓ Corrosão sob tensão "fraturante" por aminas;
- ✓ Corrosão sob tensão "fraturante" por amônia;
- ✓ Corrosão sob tensão "fraturante" por cáustico;
- ✓ Corrosão sob tensão "fraturante" por carbonato;
- ✓ Corrosão sob tensão "fraturante" por cloreto;
- ✓ Corrosão sob tensão "fraturante" por ácido poliotiônico;
- ✓ Fragilização por metal líquido;
- ✓ Corrosão sob tensão "fraturante" por ácido fluorídrico;
- ✓ Corrosão por fadiga.

Tabela 5 – Mecanismos de danos por hidrogênio

Mecanismos de danos	Tipos de danos
Empolamento.	Empolamento, trincas subsuperficiais, trincas superficiais conectadas, alterações dimensionais.
Trincas induzidas pelo hidrogênio.	Trincas subsuperficiais, trincas superficiais conectadas.
Trincas induzidas pelo hidrogênio orientadas pelas tensões (SOHIC).	Formação de microfissuras/microvazios, trincas subsuperficiais, trincas superficiais conectadas.
Trincas sob tensão por sulfetos.	Trincas superficiais conectadas.
Trincas sob tensão por cianetos (HCN).	Trincas superficiais conectadas.
Hidretação.	Trincas subsuperficiais, trincas superficiais conectadas, alterações metalúrgicas.
Ataque pelo hidrogênio.	Formação de microfissuras/microvazios, alterações metalúrgicas, trincas.
Empolamento Fragilização pelo hidrogênio.	Trincas superficiais conectadas, alterações nas propriedades do material.

Tabela 6 – Mecanismos de danos mecânicos

Mecanismos de danos	Tipos de danos
Erosão por sólidos.	Perda de espessura.
Erosão por gotas.	Perda de espessura.
Cavitação.	Perda de espessura.
Desgaste por atrito.	Perda de espessura.
Fadiga.	Trincas superficiais conectadas, trincas subsuperficiais.
Fadiga térmica.	Trincas superficiais conectadas.
Corrosão fadiga.	Trincas superficiais conectadas.
Ruptura por fluência e tensão.	Formação de microfissuras/microvazios, trincas subsuperficiais, trincas superficiais conectadas, alterações metalúrgicas, alterações dimensionais.
Trincas por fluência.	Formação de microfissuras/microvazios, trincas subsuperficiais, trincas superficiais conectadas.
Thermal ratcheting.	Trincas superficiais conectadas, alterações dimensionais.
Sobrecarga (colapso plástico).	Alterações dimensionais, perda de espessura.
Fratura frágil.	Alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.

Tabela 7 – Mecanismos de danos metalúrgicos e pelo ambiente interno

Mecanismos de danos	Tipos de danos
Fusão incipiente.	Formação de microfissuras/microvazios, trincas subsuperficiais, trincas superficiais conectadas, alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Esferoidização e grafitização.	Formação de microfissuras/microvazios, trincas subsuperficiais, trincas superficiais conectadas, alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Endurecimento.	Alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Fragilização por fase sigma e "chi".	Alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Fragilização a 885°F.	Alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Fragilização ao revenido.	Alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Trincas de reaquecimento.	Trincas superficiais conectadas, alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Fragilização por precipitação de carbonetos.	Alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Carbonetação.	Alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Descarbonetação.	Alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Oxidação do metal ("ferrugem") - metal dustings.	Perda de espessura.
Nitretação.	Alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Envelhecimento por deformação.	Alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Amolecimento devido a superenvelhecimento.	Alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.
Fragilização devido ao envelhecimento em alta temperatura.	Alterações metalúrgicas, alterações nas propriedades do material.

### 9 Investigação e análise de falhas

Visitar o local de ocorrência da falha dentro do menor tempo possível, em função de obtenção de dados e informações.

Obter do operador, ou preferível independentemente, de mais de um operador:

- ✓ Natureza e cronograma dos eventos que constituíram a falha;
- ✓ Comportamento não usual (pressão, concentração, temperatura, fluxo, movimento, vibração, ruído, produção) predominante até a falha;
- ✓ Qualquer variação significativa do comportamento anterior da planta, do sistema ou dos equipamentos, durante o tempo de vida do equipamento em questão. Quaisquer paradas, manutenções ou reparos significativos. Quaisquer diferenças significativas entre os parâmetros de projeto e operacionais;
- ✓ Período de operação (hibernação, operação, tempos de parada).

#### 9.1 Parâmetros característicos do item

- ✓ Obtenção de desenhos e fluxogramas, também um histórico de fabricação e especificações aplicáveis, se disponíveis, ao item que falhou;
- ✓ Averiguar quaisquer desvios de projeto ocorridos durante a fabricação, inspeção e comissionamento;
- ✓ Averiguar o número de itens similares, existentes em outras plantas, tempos de vida atingidos, e quaisquer variações significativas nas condições e performances de operação;
- ✓ Averiguar projeto e tempo de vida (se diferentes).

## 9.2 Técnicas de amostragem e investigação

### 9.2.1 Amostragem na análise de falhas

A requisição de amostragem, que é a extração de um pedaço de material para exame e ensaio em laboratório, resulta em uma etapa posterior, na maioria das investigações. É essencial registrar a posição e orientação de uma amostra antes de cortar ou remover qualquer material. Este registro pode ser feito por escrito, acrescentado por desenhos ou alternativamente, por fotografias das partes relevantes, de forma a prover um registro da falha e a sua relação com outras partes da estrutura ou componentes. Toda amostra deve ser marcada de forma indelével no momento imediato ao corte, e o seu número registrado. Deve ser tomado cuidado com identificações por punção, devido às tensões e deformações introduzidas.

Um cuidado a ser tomado, peças contendo fraturas não devem ser colocadas em um mesmo envólucro. Esta prática tende a distorcer as faces da fratura e pode destruir importantes configurações ou evidências.

Amostras são requisitadas para diferentes propositos, tais como exame metalográfico, análise química e determinações de propriedades mecânicas.

#### 9.2.1.1 Trincas

Quando a face da fratura é visível, por exemplo, se o componente fraturou em diversos pedaços, é possível, muitas vezes, localizar a provável origem da trinca. Se a falha não progrediu até este ponto, é desejável selecionar uma amostra de forma que a trinca possa ser aberta e a superfície fraturada examinada. Deve-se tomar cuidado para evitar danos ou contaminações nas faces da fratura, mesmo que isto seja provável ocorrer, em alguma extensão, durante a falha. Embora a origem da trinca seja uma área de interesse óbvio, a área adjacente e imediatamente na frente da extremidade de uma trinca em crescimento é, muitas vezes, de grande valor em uma pesquisa.

### 9.2.1.2 Geral

Na seleção de áreas para exame, é frequente que a área mais atacada não seja a que contém o maior número de informações. Por exemplo, uma área altamente corroída pode ter tido detalhes da microestrutura obscurecidos ou mesmo removidos, enquanto que, em regiões menos atacadas os detalhes podem estar ainda aparentes. Uma vez que se tenha decidido pela coleta de amostras, deve-se ter cuidado na extração das mesmas. Deve-se evitar alterar a microestrutura ou a superfície, tanto quanto possível, durante a operação de coleta.

Provavelmente, o método mais fácil de remoção é pelo corte usando máquinas ferramenta, serra manual, serra copo, dependendo da espessura do material. Normalmente não se utiliza lubrificante, uma vez que a ação de corte deve ser suave para evitar o superaquecimento da amostra, e se for tomado cuidado para evitar tensões no material, a amostra será obtida sem danos e sem contaminações. Os primeiros pedaços removidos de um componente, são muitas vezes, comparativamente grandes e requerem cortes detalhados posteriores.

Para amostras de materiais duros pode ser necessário a remoção por corte usando discos abrasivos. Neste caso, normalmente, é requerida lubrificação para evitar o aumento de temperatura da amostra. A contaminação pelo lubrificante não pode, portanto, ser evitada.

Materiais frágeis podem ser coletados por meio de fraturas em pedaços.

Em alguns casos, talvez pelo grande tamanho da peça do material em investigação, pode ser necessário remover amostras por meio de corte com chama. O calor produzido por este processo altera muito a estrutura e propriedades do material naquele local. Portanto cortes com chama devem ser feitos longe o bastante das áreas de interesse, para assegurar que o pedaço para exame não atinja uma temperatura que afete a estrutura e propriedades do material a ser examinado.

### 9.2.2 Metalografia

O primeiro estágio é a inspeção cuidadosa da falha, de forma a escolher as áreas de interesse especial.

### 9.2.3 Análise química

Para análise química das ligas é preferível ter a amostra de uma forma razoavelmente fina para facilitar a dissolução. A perfuração com broca é uma operação fácil de realizar e fornece ao analista um material na forma adequada. A principal preocupação é produzir uma amostra não contaminada, e superfícies de componentes envolvidos em uma falha, são frequentemente contaminadas de alguma forma. A superfície deve ser limpa ou os cavacos da superfície devem ser descartados.

Limalhas são outra fonte de materiais para análise, mas este é provavelmente um método mais trabalhoso do que a perfuração. Pequenas limalhas de corte com serra podem ser adequadas e podem ser as únicas amostras possíveis em uma específica falha.

A posição da qual é tirada a amostra, usualmente não é crítica.

### 9.2.4 Determinação das propriedades mecânicas

Na seleção de amostras, para corpos de prova para ensaios de tração, é vantajoso fazer o corpo de prova tão grande quanto possível, consistente com a máquina de ensaio, e o mais próximo da zona de interesse. Deve ser tomado cuidado especial na identificação da posição e direção das quais as amostras foram coletadas. Evitar as mudanças de propriedades devido ao aumento de temperatura provocado pelo corte e usinagem.

Estas observações são aplicáveis a outros tipos de amostras tais como as usadas para fadiga, impacto, resiliência e outros. Muitas dessas propriedades, do material de base a granel, são requisitadas, e a sua forma e tamanho definirão o tipo de corpo de prova utilizado.

Pode ser necessária a realização de ensaios de dureza em componentes com preparação de superfície bruta. Se as amostras forem cortadas, os cuidados usuais se aplicam.

Muitas vezes, uma amostra pode ser utilizada para diferentes propósitos. Por exemplo, a ponta de um corpo de prova de tração poderia ser usada para ensaio de dureza, exame metalográfico e análise química. É boa prática reservar parte da superfície fraturada para revisão posterior ou para uso de um laboratório árbitro.

#### 9.2.5 Limpeza de amostras para exame

As amostras removidas para exame, são muitas vezes, contaminadas ou cobertas com produtos de corrosão, fluidos de processo, fluidos de corte e outros. No estágio inicial, deve ser feita uma avaliação da necessidade de limpeza da amostra e da preservação das informações essenciais. Por exemplo, informações valiosas são perdidas quando se altera a superfície ou remove os depósitos para "limpar" a amostra para investigação. Os produtos de corrosão poderiam ser mantidos intactos até o exame completo e os registros terem sido feitos. De outra forma, muitas informações valiosas sobre a superfície da falha podem ser perdidas, devido a contaminação, ou por corrosão após a falha, e tais danos devem ser evitados, quando possíveis na prática.

Algumas vezes é possível remover os produtos de corrosão e oxidação, das faces da fratura por "colagem". Esta técnica consiste na aplicação de uma lamina de acetato, amolecida em acetona, sobre a superfície, permitindo que ela seque totalmente e, então, sendo removida. Os produtos de corrosão aderem ao filme e podem ser preservados para exame. Somente em casos extremos as superfícies seriam limpas quimicamente e seriam tomadas providências para limitar o ataque químico ao substrato. Em todos os casos é recomendável que a limpeza seja limitada, em princípio, às subamostras.

Onde a limpeza química for necessária, deve-se utilizar um produto que promova a limpeza da peça sem atacar o material base.

### 9.3 Causas desconhecidas de deterioração

Como a corrosão e as diversas ciências que abrangem o estudo de análises de falhas têm suas bases científicas bem definidas, deve-se inicialmente, a qualquer diagnóstico de mecanismo de deterioração, esclarecer os mecanismos básicos do dano em questão.

É comum que o inspetor se depare com mecanismos de deterioração não detectados ainda por ele, seja porque a sua unidade de processo modificou os parâmetros operacionais ou mesmo porque tenham ocorrido eventos inesperados na operação da unidade.

Nesses casos, aconselha-se que o inspetor não diagnostique precipitadamente uma falha como tendo uma causa desconhecida de deterioração, pois há uma grande chance de que se esteja diante de um mecanismo já documentado, mesmo que seja raro. É necessário que o inspetor se aplique na pesquisa bibliográfica e recolha a opinião técnica de outros inspetores para determinar de forma fundamentada a real causa de deterioração do equipamento em questão.

Não se afirma aqui que não existam mais fenômenos físicos, químicos, metalúrgicos ou mecânicos de degradação de materiais e equipamentos a serem descobertos, uma vez que se entende a ciência como desbravadora de novos campos sempre que se encontra algo inusitado. Apenas notamos que o avanço da mesma ocorre de forma gradual e que não se depara com novas descobertas diariamente em termos de inspeção de equipamentos. A nossa preocupação é embasar o inspetor de equipamentos para que este se sinta seguro quando executar um estudo de falhas e não caia em descrédito ao afirmar constantemente que encontrou algo novo simplesmente porque ignorava o fenômeno deparado.

A seguir apresenta-se um roteiro bastante abrangente e que, se não for completo, pelo menos apresenta um procedimento para estudo de análise de falhas útil para o inspetor:

1º Passo: determinar o material em análise quanto a:

- ✓ Composição química;
- ✓ Presença de impurezas;
- ✓ Processo de fabricação;
- ✓ Tratamentos térmicos e mecânicos.

2º Passo: discriminar o meio quanto a:

- ✓ Composição química de fluidos;
- ✓ Temperatura;
- ✓ Pressão parcial das fases presentes;
- ✓ pH;
- ✓ Existência de sólidos em suspensão.

3º Passo: levantar as condições operacionais:

- ✓ Histórico de variações de pressão;
- ✓ Histórico de variações de temperatura;
- ✓ Condições de imersão no meio;
- ✓ Movimento relativo entre material e meio.

4º Passo: análise das evidências da falha:

- ✓ Medição de propriedades mecânicas do material degradado, tais como dureza, tenacidade ao impacto, resistência à tração, etc.;
- ✓ Análise química de resíduos de corrosão;
- ✓ Análise metalográfica da região de falha;
- ✓ Existência de trincas;
- ✓ Medição de tensões residuais no material.

5º Passo: análise das informações:

- ✓ Levantar bibliografia e efetuar pesquisa de falhas com características semelhantes;
- ✓ Levantar possíveis mecanismos de deterioração;
- ✓ Efetuar ensaios e exames adicionais para excluir as hipóteses do item anterior e encontrar o mecanismo que conduziu à falha;
- ✓ Coletar opinião de outro especialista para confirmar a conclusão da investigação (opcional).

Caso não se atribua à falha nenhum mecanismo conhecido de fato, recomenda-se que se publique a ocorrência em anais e congressos para difundir o conhecimento relativo à inspeção de equipamentos e manutenção da integridade de modo a aumentar a segurança e evitar possíveis acidentes na indústria em geral.

# 10 Reparos e critérios de aceitação

Vasos de pressão em uso podem apresentar a necessidade de reparos ou alterações.

Para manter as características originais de desempenho e de segurança, recomenda-se que estas intervenções sejam realizadas de acordo com critérios e procedimentos, estabelecidos com base em Normas e Códigos reconhecidos e aceitos pela comunidade.

## 10.1 Códigos e padrões de construção

Quando o vaso de pressão for construído de acordo com um Código ou Norma, os reparos ou alterações devem ser realizados conforme a seção e edição aplicável.

Quando o vaso não for construído de acordo com um Código ou Norma definido, os reparos e alterações devem ser realizados, o mais próximo possível de critérios estabelecidos por Código ou Norma aceitável.

## 10.2 Materiais

Os materiais utilizados em reparos ou alterações devem atender os requisitos do Código original.

### 10.2.1 Identificação positiva de materiais

Durante as atividades de construção ou de manutenção, surgem situações onde são necessárias a adição ou substituição de material. Existem materiais cujas aparências físicas são muito semelhantes e, acidentalmente, podem ser confundidos e instalados de forma errada.

A identificação e marcação corretas destes materiais são muito importantes para evitar que estes materiais sejam misturados e utilizados inadequadamente.

A instalação incorreta de materiais pode acarretar em acidentes graves, devido a possuírem propriedades físicas e químicas diferentes, podendo não resistir às condições de operação como seria esperado.

Os materiais típicos, mais propícios a trocas são:

- ✓ Aço carbono e aços de baixa liga;
- ✓ Aços inoxidáveis austeníticos e ligas de níquel.

Para diminuir a possibilidade deste tipo de ocorrência, algumas providências podem ser tomadas:

- 1) Verificar se durante o projeto de construção, ou intervenção de manutenção, existem locais onde haveria a possibilidade de troca de material, inclusive de soldagem;
- 2) Verificar se já aconteceu intervenção similar, em oportunidade anterior;
- 3) Verificar a identificação e marcação daqueles materiais.

Caso haja suspeita de troca, podem ser analisadas as condições de operação daquele componente e avaliados os mecanismos de danos, bem como as taxas de deterioração a que ele estaria sujeito. Recomenda-se que sejam realizadas, naquelas regiões, inspeções detalhadas, com métodos adequados aos mecanismos de danos previstos. O objetivo é verificar se o material está sendo deteriorado por aqueles mecanismos de danos, em taxas ou sensibilidades superiores ao esperado.

Podem ser realizadas análises químicas, físicas, metalográficas, ou até mesmo por meio de ímãs, para identificar as características do material em questão.

### 10.3 Substituição de componentes

Os componentes a serem substituídos, que estarão sujeitos à pressão interna ou externa, consistindo de materiais novos fabricados por fundição, forjamento, extrusão e outros processos que não utilizem solda, devem receber identificação do fabricante, de forma que seja possível rastrear as características originais. Citamos como exemplos tubos com ou sem costura, bocais forjados, calotas, espelhos, etc.

Os componentes a serem substituídos que estarão sujeitos à pressão interna ou externa, e que sejam pré-montadas por ligações soldadas, devem ter as soldas executadas de acordo com o Código original de construção. O Fornecedor ou Fabricante devem certificar que o material e a fabricação estão de acordo com o Código original de construção.

Os componentes a serem substituídos que estarão sujeitos a pressão interna ou externa, e que sejam pré montados ou fabricados por ligações soldadas que requeiram inspeção de fabricação, devem ser inspecionados e identificados.

### 10.4 Soldagem

Toda soldagem deve ser realizada conforme requisitos do código original de projeto, ou código de reparo associado, ou código adotado no caso de falta de informação.

#### 10.4.1 Especificação do procedimento de soldagem

As soldas devem ser realizadas de acordo com a Especificação do Procedimento de Soldagem qualificada de acordo com o Código original de construção ou, se isto não for possível, por Código reconhecido e aceito pela comunidade.

#### 10.4.2 Qualificação e identificação do soldador

Soldadores ou operadores de soldagens devem ser identificados e qualificados para o procedimento de soldagem utilizado. Os soldadores devem marcar as soldas por meio de sinetes ou serem identificados no relatório de registro de soldagem.

## 10.5 Ensaios não destrutivos

Os reparos e alterações devem ser inspecionados e ensaiados, utilizando os métodos recomendados de acordo com as necessidades e especificações de projeto. Ensaios cujos resultados sejam utilizados para os cálculos de avaliação da integridade do equipamento, devem ser executados por inspetores qualificados e certificados pelo SNQC - Serviço Nacional de Qualificação e Certificação.

## 10.6 Ensaio hidrostático

Ao ser realizado um reparo, recomenda-se que a necessidade da execução deste ensaio seja avaliada por um profissional habilitado, considerando as características dos danos apresentados e dos reparos em questão.

## 10.7 Métodos avançados de análise

Os equipamentos podem apresentar danos tais como trincas, perdas de espessura localizadas, deformações ou outros, durante o período operacional.

Existem técnicas ou métodos de cálculo avançados, com a finalidade de definir a necessidade de reparos ou alterações, bem como frequências e métodos de inspeções para monitoração dos danos.

Nestes casos, os critérios de aceitação diferem daqueles utilizados pelos Códigos de fabricação, podendo ser mais flexíveis e admitir a existência de danos sob condições controladas.

# 11 Frequência e programação de inspeção

De uma forma geral, os vasos de pressão têm vida útil prevista, estabelecida durante a fase de projeto. Este período de tempo é determinado pelas condições de operação e pela taxa de corrosão ou deterioração, estimada para aquelas condições.

Quando o vaso de pressão está em sua fase operacional, as condições de operação admissíveis, e o tempo durante o qual ele irá operar antes da próxima inspeção, são baseados nas condições físicas do vaso, conforme determinado pelo inspetor de equipamentos e devem atender legislações vigentes.

Todo vaso de pressão deve ser inspecionado sempre que houver mudança de local de instalação. Para equipamentos regidos pela NR-13 esta inspeção é obrigatória. Nestes casos, sempre que houver áreas de dupla laminação ou outras descontinuidades conhecidas, estas devem ser medidas após a mudança para verificar alterações.

De forma análoga, vasos de pressão que forem utilizados em serviços diferentes daqueles para os quais foram projetados devem ser submetidos à análise de verificação de adequabilidade às novas condições de serviço.

Existem diversos fatores que afetam a vida útil dos equipamentos e que podem ser encontrados no capítulo 8 "Causas específicas de deterioração e avarias" deste Guia.

## 11.1 Intervalos de inspeção

Para o estabelecimento de intervalos entre inspeções, o responsável pela inspeção deve considerar, dentre outros aspectos, as taxas de deterioração apresentadas pelo equipamento. Devem ser respeitados os limites estabelecidos pela legislação vigente.

Observa-se que, quando o equipamento opera em condições cujas taxas de deterioração sejam maiores, a critério do Profissional Habilitado, os prazos das inspeções podem ser menores do que os limites estabelecidos pela legislação.

#### 11.1.1 Cálculo da vida remanescente

Onde a taxa de corrosão controlar a vida do vaso, a vida remanescente deve ser calculada pela fórmula:

$$VR = (EMED - EREQ) / TCOR$$

Onde:

VR - vida remanescente, em anos.

EMED - espessura medida no momento da inspeção, na seção utilizada para a determinação de EREQ, em milímetros (polegadas).

EREQ - espessura mínima admissível na seção ou zona em análise no vaso de pressão, em milímetros (polegadas).

TCOR - taxa de corrosão, em mm/ano ou milésimos de polegada/ano.

A espessura requerida pode ser a maior das seguintes:

- ✓ A espessura calculada, requerida para a pressão de ajuste de abertura do dispositivo de alívio de pressão excluindo a sobre espessura de corrosão;
- ✓ A espessura mínima permitida pelo Código de construção original do equipamento.

Para vasos novos ou para os que trocarem de condições de operação, um dos seguintes métodos pode ser utilizado para a determinação da taxa de corrosão estimada:

- ✓ A taxa de corrosão é estabelecida por meio de dados coletados pelo

proprietário, ou por usuários de vasos de pressão nas mesmas condições de operação ou similares, disponíveis em literatura especializada;

- ✓ Se os dados para as mesmas condições de operação ou similares não estiverem disponíveis, a taxa de corrosão pode ser estimada pela experiência e conhecimento do inspetor.

Se a taxa provável de corrosão não puder ser estabelecida pelos métodos anteriores, podem ser coletados valores de medições de espessuras após aproximadamente 1000 horas de operação. Outras medições subsequentes serão realizadas, a intervalos similares, até que seja possível estabelecer a taxa de corrosão.

## 11.2 Ferramentas auxiliares

Existem métodos ou sistemas de cálculo que podem ser utilizados como orientação para o estabelecimento de frequências e programação de inspeções.

### 11.2.1 Cálculos avançados para “adequação ao uso”

“Adequação ao uso” é um conjunto de avaliações de engenharia, realizadas para demonstrar a integridade estrutural de um componente de vaso de pressão em serviço, que contenha uma falha ou dano. Este procedimento de cálculo abrange a integridade do componente perante um estado atual de dano e a vida remanescente projetada. Se o resultado da avaliação indica que o equipamento está adequado para as atuais condições de operação, este equipamento pode continuar a operar nestas condições, acompanhado de um programa adequado de monitoração e inspeção.

De modo geral, os tipos de danos avaliados são: fratura frágil, perda de espessura generalizada, perda de espessura localizada, corrosão por pites, empolamento e laminação, desalinhamentos e deformações, trincas, operação em alta temperatura e fluência e danos por incêndio.

### 11.2.2 “Inspeção baseada em risco”

A “inspeção baseada em risco” é um método que utiliza o risco como base para a priorização e gerenciamento dos esforços de um programa de inspeção. Em uma planta em operação, em geral, um percentual relativamente grande do risco está relacionado com um percentual pequeno de itens de equipamentos.

A “inspeção baseada em risco” dirige os recursos de inspeção e manutenção de modo a prover, um maior nível de cobertura aos itens de maior risco, e uma atenção adequada aos de menor risco.

O método define o risco de equipamentos em operação como a combinação de dois termos separados: a probabilidade de ocorrência da falha e a consequência da falha.

A análise da probabilidade é baseada em um banco de dados de frequência de falhas genérico, por tipo de equipamento, os quais são modificados por fatores que refletem a diferença entre o genérico e o item particular em análise.

A análise da consequência da liberação do fluido é calculada pela estimativa da quantidade liberada, pela previsão da forma como o fluido atinge o meio ambiente e pela aplicação de modelos que permitem a estimativa da consequência.

O resultado da análise é posicionado em uma matriz cinco por cinco que classifica o equipamento em níveis que vão de baixo risco a alto risco.

## **12 Registros de inspeção**

A última etapa da inspeção de um vaso de pressão é o registro e a documentação adequadamente detalhada de tudo o que foi visto, executado, ensaiado e recomendado durante a inspeção. Os registros da inspeção são peças fundamentais para as avaliações subsequentes da degradação dos equipamentos e também como futuras referências. Funcionam como documentos integrantes do histórico operacional e, por isso, devem ser organizados e mantidos por toda a vida útil dos equipamentos.

Toda a atividade de inspeção deve ser registrada de forma clara e completa, usualmente em forma de Relatório de Inspeção, detalhando adequadamente o escopo da inspeção, sua abrangência, as técnicas e equipamentos utilizados, além de incluir a identificação clara do(s) responsável(eis) pelas atividades realizadas, além de outras informações complementares.

Deve ser registrado de forma clara o período de execução da inspeção, e em especial a data de sua conclusão. No registro do escopo da inspeção deve-se detalhar qual equipamento foi submetido à inspeção (TAG, número de série ou outro identificador único), qual ou quais as regiões foram efetivamente inspecionadas, o estado da superfície durante o serviço e a razão que levou a inspeção a ser executada.

Para os vasos de pressão categorizados pela NR-13, a norma define o conteúdo mínimo para o Relatório de Inspeção. Além disso, a inspeção deve ser anotada, no Registro de Segurança do equipamento, conforme descrito na norma.

Os Relatórios de Inspeção devem ser elaborados em páginas numeradas e neles devem estar registrados, no mínimo:

- ✓ A identificação do vaso de pressão;
- ✓ A categoria (para vasos categorizados pela NR-13);
- ✓ Fluidos de serviço;

- ✓ Datas de início e término da inspeção;
- ✓ O tipo da inspeção executada;
- ✓ Todas as observações da inspeção visual;
- ✓ Os ensaios e ensaios executados;
- ✓ As intervenções de manutenção;
- ✓ Os cálculos da PMTA e da vida remanescente, se executados;
- ✓ As recomendações decorrentes da inspeção;
- ✓ Parecer conclusivo quanto à integridade do vaso de pressão até a próxima inspeção programada;
- ✓ Data prevista para a próxima inspeção;
- ✓ A identificação, assinatura e registro profissional dos executantes da inspeção.

### 12.1 Escopo/abrangência

Os Relatórios de Inspeção, mesmo na parte descritiva, devem ser claros e objetivos, devendo-se evitar o uso de palavras e expressões que possam dar margem a interpretações duvidosas. Deve ser registrado tudo o que se observou em cada parte do equipamento.

A ilustração, por meio de fotos, desenhos ou croquis, é importante para facilitar o entendimento de quem tenha que analisar o documento e tomar as decisões necessárias, devendo ser incluído sempre que julgado necessário para o completo entendimento e interpretação das informações ali contidas.

Quando houver a detecção de deterioração ou avaria, deve ser feita a investigação e identificação da causa. Esta investigação, porém, pode se estender além do tempo razoável para elaboração do relatório, e mesmo

transcender as responsabilidades do responsável pela inspeção. Neste caso, a(s) causa(s) deve(m) ser indicada como "provável" ou "suspeita".

Os dados do equipamento devem ser incluídos, bem como as referências consultadas para a inspeção, tanto de fontes internas (desenhos e folhas de dados), como de fontes externas (normas e padrões da indústria). Se houver algum guia ou procedimento que seja utilizado como orientador específico daquele serviço de inspeção, este deve ser claramente indicado.

Se nenhum outro desenho for juntado ao registro da inspeção, deve-se incorporar ao menos um diagrama esquemático ou fotos, onde possa estar claramente indicado as regiões inspecionadas e sua abrangência.

Por se tratar de documento de cunho legal para os vasos de pressão categorizados pela NR-13, as unidades de pressão e temperatura utilizadas nos relatórios de inspeção devem sempre obedecer ao Sistema Internacional, por ser este o adotado no Brasil. A mesma prática deve ser adotada para os demais vasos de pressão.

## 12.2 Indicações/resultados

Deve ser registrado de forma clara todo o resultado da inspeção realizada, incluindo-se as indicações observadas, sua quantificação, localização precisa e avaliação preliminar. Quando não houver, deve-se indicar claramente que não foi observada a existência de indicações, com intuito de se registrar o estado observado do equipamento durante a inspeção sem dubiedade ou incertezas.

Caso exista alguma indicação que a avaliação preliminar julgue que comprometa a operação do equipamento, esta informação deve ser claramente ressaltada no relatório, bem como as providências tomadas (ou julgadas necessárias) para garantir a integridade operacional do equipamento. Se, mesmo encontrada a situação não conforme, o inspetor julgar não haver necessidade de ação corretiva, deve registrar e justificar tecnicamente essa decisão.

Nas conclusões do relatório, deve estar escrito de modo claro, se o equipamento inspecionado está íntegro para funcionar com segurança, por qual período e sob quais condições.

### 12.3 Responsável pela execução da inspeção

O responsável pela execução da inspeção deve datar e assinar o registro de inspeção, de maneira indelével e permanente.

### 12.4 Instrumentos utilizados

Deve ser claramente registrado qual /quais instrumentos foram utilizados durante a realização da inspeção. Se houver a utilização de instrumentos que possuam controle de aferição e/ou calibração, deve-se citar, sempre que possível, o modelo, fabricante, número de série e data de aferição.

Havendo método ou procedimento especial para utilização de instrumentos de auxílio à inspeção, este deve ser citado, inclusive quanto ao número de controle de revisão.

### 12.5 Sistemas de arquivamento

A emissão e trâmite dos relatórios de inspeção geralmente percorrem caminhos distintos em diferentes organizações. Contudo, como documentos técnicos obrigatórios (para vasos categorizados pela NR-13), o órgão responsável pelo armazenamento dos registros de inspeção de cada organização deve mantê-los organizados e disponíveis para consulta sempre que se fizer necessário, tanto para setores internos como para organismos de fiscalização.

Tradicionalmente os registros de inspeção são mantidos em forma de arquivos, ordenados por equipamento, onde podem ser consultadas em ordem cronológica todas as intervenções e demais registros referentes àquele equipamento. É importante que o sistema de arquivo garanta a completa integridade destes documentos e também sua ordenação.

Os sistemas de arquivamento de documentos atuais podem ser divididos em dois grupos: convencionais e digitais. Qualquer dos sistemas pode ser empregado, desde que contenha as características de confiabilidade e ordenação necessárias. Para os relatórios de inspeção dos equipamentos e tubulações enquadrados na NR-13, é obrigatório manter uma cópia impressa.

Estes sistemas devem sofrer auditorias periódicas para verificação de sua funcionalidade e confiabilidade, bem como para confirmação de que seus atributos podem ser considerados válidos como documentação oficial dos registros da inspeção.

A existência de formulários padronizados pode auxiliar de forma significativa os sistemas de registros de inspeção, tanto para sistemas convencionais quanto para sistemas informatizados. Estes formulários devem conter todos os campos obrigatórios para preenchimento pelo profissional responsável pelos serviços, além de campos livres para comentários, desenhos, croquis de localização e outras informações julgadas pertinentes e relevantes para o registro dos serviços de inspeção. Podem existir quantos modelos forem julgados necessários para uma dada instalação (por tipo de equipamento ou por modelo) ou um formulário unificado, onde os serviços sejam clara e adequadamente registrados.

#### 12.5.1 Sistemas convencionais

Sistemas convencionais utilizam arquivos de documentos impressos, em pastas, encadernações ou outras formas de armazenamento dos documentos gerados e utilizados pela inspeção de equipamentos. Estes registros devem ser armazenados abrigados de agentes que possam destruí-los ou danificá-los (por exemplo: cópias heliográficas tendem a esmaecer se expostas a luz; filmes radiográficos arranham se submetidos a atrito). O método de armazenamento deve ser adequado ao tipo, quantidade e diversidade de registros a serem armazenados, bem como ao volume e frequência de manuseio.

Outro fator relevante em um arquivo de Relatórios de Inspeção é a perfeita rastreabilidade entre as folhas que compõem o corpo de cada relatório e destas para os anexos e vice-versa. Para tal, todas as folhas de cada relatório devem ser numeradas, os anexos listados em campo próprio e, em cada folha dos anexos, haver referência ao relatório base.

## 12.5.2 Sistemas digitais (informatizados)

Atualmente existem vários tipos de programas de computador destinados a armazenar as informações relativas às inspeções e seus registros. Estes sistemas procuram facilitar as atividades de geração de relatórios de inspeção e também buscam ordenar os dados de forma a possibilitar consultas ágeis e diversificadas.

Para armazenamento de dados, a médio e longo prazo, recomenda-se cuidado com as tecnologias utilizadas, pois, tanto os componentes físicos (hardware) como os aplicativos (software) se deterioram ou se tornam obsoletos em tempo relativamente curto. Nota-se que os documentos armazenados em papel ainda são os que apresentam maior duração em relação ao estado de conservação física.

## **Implicações e atribuições legais sobre a inspeção de equipamentos**

A conscientização dos direitos da sociedade brasileira tem exigido uma crescente resposta da área de engenharia em termos de responsabilidade técnica e jurídica por seus atos. Isto é de particular importância para a comunidade de inspeção de equipamentos, a partir do momento em que a Justiça começa no Brasil a considerar esta atividade como a "responsável pela integridade física dos equipamentos de uma planta", como atestam recentes manifestações.

As atividades da engenharia são de natureza complexa e introduzem riscos inerentes ao seu exercício, que podem atingir as pessoas e a sociedade em geral com graus variáveis de complexidade.

Para contornar o difícil problema que existe em determinar, para efeitos judiciais, até que ponto uma atividade que tem o risco como seu componente intrínseco foi eventualmente exercida com risco superior ao que poderia ser aceito, as sociedades criaram os Conselhos de Ofício. Nestes, a atividade profissional é julgada por pares, escolhidos pelos próprios profissionais, por serem, ao menos em tese, dentre todos, os que disporiam de melhores condições para apreciar as complexas situações que podem ocorrer. No caso da engenharia, o Conselho de Ofício é representado pelo CREA.

Na esfera do Poder Judiciário, a apreciação de matérias que envolvam conhecimento técnico é feita mediante a intervenção de assistentes técnicos contratados pelas partes e por peritos nomeados pelos juízes. Todo o processo é conduzido pela Justiça e a participação destes técnicos tem caráter apenas informativo e orientador, não sendo sequer obrigatória. Em nossa Justiça é adotado o princípio do livre conhecimento do juiz, que proferirá sua decisão conforme tenha se convencido, ainda que tenha que obrigatoriamente fundamentar sua sentença.

### **1) Na área criminal**

Para examinar as consequências na esfera criminal, é antes de tudo necessário examinar se o fato será enquadrado como doloso ou culposo. Isto porque para os chamados crimes profissionais só se admite a forma culposa.

Por doloso entende-se o fato no qual o seu autor, ou quis deliberadamente causar o resultado danoso à vítima (dolo direto), ou assumiu o risco de obter o resultado (dolo indireto). Se por outro lado o autor não queria o resultado, nem assumiu o risco de produzi-lo, mas faltou com o devido cuidado, agindo com imprudência, negligência ou imperícia, terá praticado um ato culposo. Em tempo: imprudência é a prática de um ato perigoso, temerário, que a cautela indica que não deveria ser praticado; negligência é deixar de fazer alguma coisa que a prudência impõe; imperícia é a falta de aptidão para o exercício de arte ou profissão.

Para que um fato seja julgado criminoso, é necessário que tenha sido produzido com resultado danoso a alguém, pois o nosso ordenamento jurídico não pune a intenção por si mesma, exigindo o resultado para que o ato seja punível.

Entre os crimes culposos, aquele que poderá trazer consequências mais sérias para o engenheiro é o que é praticado com inobservância de regra técnica da profissão. Esta circunstância é dita qualificadora, ou seja, acarreta aumento de pena. O nosso Código Penal prevê, no parágrafo 4º do seu artigo 121, um aumento de um terço na pena a ser aplicada quando da ocorrência do chamado crime profissional. Essa qualificadora somente se aplica a profissionais, tendo entendido o nosso legislador que é maior o dever de cuidado do profissional quando exercendo sua profissão e, conseqüentemente, mais grave o descumprimento.

Não se deve confundir a qualificadora com a imperícia. Na primeira, o autor conhece a regra técnica, mas não a aplica. Na segunda, o autor, ou não conhece, ou conhece deficientemente aquilo que qualquer profissional mediano deveria conhecer para exercer sua profissão.

Se o autor pratica uma conduta fora de sua profissão, não se fala em imperícia, mas pode ter havido imprudência ou negligência. A imperícia pressupõe sempre que o fato tenha sido cometido no exercício da profissão. Por outro lado, não significa que fatos culposos cometidos no exercício da profissão sejam sempre causados por imperícia, pois podem ocorrer casos marcados pela imprudência ou negligência.

Por último, nada disso se confunde ainda com o erro profissional, onde algum resultado danoso é produzido como consequência de um erro desculpável cometido no exercício da profissão, o qual poderia ter sido cometido por qualquer outro profissional habilitado.

Além da conduta, exige-se ainda o resultado, conforme dito anteriormente, entretanto, a lei descreve como resultado a exposição a risco ou a perigo também, não sendo

necessário que a pessoa ou patrimônio tenham sido afetados. A lei diferencia quando esse perigo se refere à vida ou saúde de pessoa ou grupo de pessoas determinadas, chamando essa situação de periclitación daquela em que a ameaça se dirige à pessoa ou patrimônio de forma indeterminada, chamando-a de perigo comum.

As consequências para o engenheiro ou técnico variam muito em função do ato cometido, do resultado produzido e do tipo de conduta. As penas poderão ser leves, tais como multa, no caso de algumas infrações leves consideradas como contravenções referentes à incolumidade pública, como, por exemplo, que possa ofender ou molestar alguém, ou ser de prisão na faixa de dois meses a um ano se, do ato praticado, resultar lesão corporal culposa, ou ainda chegar à faixa de dois a seis anos de prisão se resultar em crime ecológico decorrente de atividade industrial.

## 2) Na área trabalhista

Os engenheiros e técnicos que atuam como empregados de uma empresa poderão também sofrer consequências na área trabalhista, aplicando-se legislação específica.

No caso de culpa, a situação não é muito clara. Para que seja possível descontar nos salários os prejuízos sofridos pela empresa, é necessário que haja cláusula no contrato de trabalho prevendo isto. Entretanto, a tese mais aceita é a de que, além desta previsão, seja necessária que se configure culpa grave, o que por sua vez não se encontra bem definido, sendo, portanto de difícil caracterização. Culpa grave seria faltar com o dever de cuidado tão acentuadamente que configuraria uma situação que se confundiria com dolo indireto, em que o autor não quer o resultado, mas assume o risco de produzi-lo.

Na prática, consideram os doutrinadores que, em sendo o empregador a arcar com o risco do negócio, a ele cabe arcar com os prejuízos decorrentes dos atos culposos e, muito dificilmente se caracterizaria uma situação de culpa grave, onde esse ônus se transferiria ao empregado.

Além do ressarcimento são possíveis também as aplicações de punições, as quais podem ir de uma simples advertência verbal ou escrita até a dispensa por justa causa. A aplicação de penalidades deverá, entretanto ser feita em conformidade com o regimento interno da empresa, devendo ser seguidos todos os trâmites previstos, inclusive com a instauração de uma comissão de sindicância interna, se assim previr o regimento.

### 3) Na parte administrativa

Um processo pode ser originado da atuação do CREA, ou quando este tomar conhecimento de algum fato que considere ser merecedor da sua apreciação, ou por solicitação de algum interessado que envie representação ao Conselho, solicitando a apuração do fato, ou ainda em atendimento ao solicitado por juízes do Poder Judiciário em geral, ou por membros do Ministério Público.

No Conselho, o processo tramita inicialmente pela Câmara de Mecânica e Metalurgia, em se tratando de inspeção de equipamentos, que remeterá se achar conveniente, para a Comissão de Ética, a qual dará o seu parecer e o encaminhará de volta para a Câmara especializada que dará sua decisão final.

Se decidida a aplicação de punição, esta poderá ser a censura reservada, onde o profissional será convocado para comparecer ao CREA para ser informado de que seu procedimento foi considerado contrário à boa prática do exercício profissional, ou a censura pública, quando o profissional será censurado através de comunicado inserido nos jornais de maior circulação da região, ou ainda suspenso por tempo determinado, ou, em casos extremos, a cassação do registro do profissional.

### 4) Os dilemas do profissional de inspeção

Considerando-se culpa como a falta ao dever de cidadão, há dois grandes grupos. O primeiro decorre da ação ou omissão, que dão origem aos atos imprudentes ou negligentes e o segundo de imperícia. No primeiro grupo, se situam as ações ou omissões que são de mesma natureza que aquelas cometidas pelo homem nas demais atividades efetuadas diariamente, derivadas de sua imperfeição, tais como a impaciência, a preguiça, a desatenção, entre outras. No segundo, encontram-se aquelas que dizem respeito a como se deve conduzir aquele que deseja exercer bem sua profissão, nos padrões que a sociedade o exige ao concedê-lo autorização para exercê-la através de um diploma.

Para o primeiro grupo, o conflito maior ocorre quando as pressões exercidas pelo sistema produtivo levam o profissional da inspeção a ser condescendente com algumas destas pressões, fazendo coisas como deixar de inspecionar determinado equipamento, ou fazendo-o de forma abreviada. Muitas vezes, poderá a situação chegar a ponto do técnico ou engenheiro temer pelo seu emprego, se insistir em manter por mais tempo um equipamento parado, ou se insistir em efetuar um grande número de ensaios

destrutivos e não destrutivos, por exemplo, principalmente se isso acarretar em consequências de ordem econômicas sérias para a empresa.

Outra situação usual é aquela em que há o prolongamento da campanha de um equipamento, principalmente se existir dúvidas para o engenheiro quanto à causa que levaria o equipamento à retirada de operação, dado que as evidências disponíveis não são conclusivas.

No outro grupo, se situariam aquelas decisões em que de alguma forma deixa o engenheiro de seguir a prática corrente na sua profissão, ou deixa de seguir uma determinada norma, ou ainda a interpreta de forma mais elástica segundo sua conveniência. A norma e a prática são para os técnicos e engenheiros ao mesmo tempo uma segurança e um empecilho. Segurança porque se o profissional se atém a ela, estará a salvo de complicações, sobretudo na esfera jurídica. Empecilho porque é preciso sair dela em algumas circunstâncias, pois há de se reconhecer o instante em que se deve usar ou não uma norma, ou até substituí-la por outra quando se tornar obsoleta, porque não é o profissional estritamente cumpridor de normas que o mercado procura, já que não é aquele que apenas segue as normas que desenvolve sua ciência e sua profissão. Não se considera aqui o profissional que não se prepara adequadamente para o exercício profissional, que assume encargos que sabe não estar a sua altura, enfim que comete imperícia por falta de empenho e dedicação, mas daquele que pelo contrário por tentar exercê-la de forma a melhor servir à ciência e à sua profissão, fugindo da mediocridade, pode acabar sendo vítima de uma acusação de imperícia.

O engenheiro de inspeção deve evitar, tanto quanto possível, complicações jurídicas, mas não sem antes lembrar que ao abraçar a engenharia, optou por uma profissão que tem um risco inerente. É impossível, pois, abraçá-la e vivenciá-la completamente afastado do risco, porém, quando exercida com bom senso, permite que uma convivência tranquila, pacífica e até brilhante seja alcançada pelo engenheiro responsável.

Finalmente, seguem abaixo algumas recomendações voltadas a evitar acusações de prática de ato culposo e ainda voltadas para evitar problemas na área cível e administrativa. Deve o profissional de inspeção:

- ✓ Especificar corretamente o seu produto ou serviço;
- ✓ Efetuar o controle de qualidade de seu produto ou serviço, testando, revisando e acompanhando a execução;

- ✓ Observar as normas de segurança vigentes no trabalho e no local em que estiver;
- ✓ Emitir de forma adequada instruções sobre o uso dos equipamentos e instrumentos que tiver de fazer uso em seu trabalho;
- ✓ Não omitir informações sobre periculosidade de seus produtos e serviços, bem como dos equipamentos de que for fazer uso;
- ✓ Obedecer aos padrões e as instruções de qualidade e segurança estabelecidos pelo fabricante do material que for utilizado no seu trabalho;
- ✓ Respeitar as normas técnicas inerentes ao seu trabalho;
- ✓ Cumprir o seu Código de Ética Profissional;
- ✓ Quando não concordar com uma decisão técnica, registrar isto de forma inequívoca, ainda que tomando os devidos cuidados para que isto não seja interpretado de forma ofensiva ou como desobediência;
- ✓ Lembrar-se que a responsabilidade técnica pelo seu trabalho, enquanto envolvendo conceitos ligados ao seu conhecimento profissional é sua não se transferindo aos seus superiores ou subordinados;
- ✓ Quando contrariar ou deixar de seguir uma prática corrente, analisar cuidadosamente o assunto antes e não se esquecer de fundamentar sua decisão da maneira mais ampla possível, documentando-a, sendo uma boa prática fazê-la com base em opiniões emitidas por pessoas cuja notoriedade técnica seja indiscutível;
- ✓ Ao prestar serviços mediante contrato, apresentar orçamento prévio detalhado, sem omissões, citando prazos de validade;
- ✓ Incluir cláusula limitando sua responsabilidade civil, garantindo seus serviços até um determinado percentual do valor do contrato, sendo uma boa prática limitá-lo a 10%;

- ✓ Se for usar serviços de outros técnicos dar preferência a que estes sejam contratados diretamente pelo seu cliente e dele recebam seus honorários;
- ✓ Nunca iniciar trabalhos sem autorização por escrito do seu cliente;
- ✓ Em caso de vir a ser acusado, procurar orientação jurídica e não agir apenas por sua própria conta e risco, pois na Justiça, erros formais relativos a prazos e procedimentos podem ser cruciais.

