



Congresso Internacional de Pintura e  
Revestimentos Anticorrosivos



# Reparos por compósitos na indústria de óleo & gás

Valber Perrut  
Petrobras/CENPES



# Agenda

1. Defeitos em tubulações
2. Tipos de Reparos
3. Normatização em reparos compósitos
  - a) Qualificação
  - b) Projeto
  - c) Instalação
  - d) Inspeção
4. Exemplos de Aplicação
5. Considerações Finais

PÚBLICA



# Defeitos em Tubulações

- ❑ Perda de espessura localizada e generalizada



- ✓ Espessura remanescente está inferior a mínima admissível.

PÚBLICA

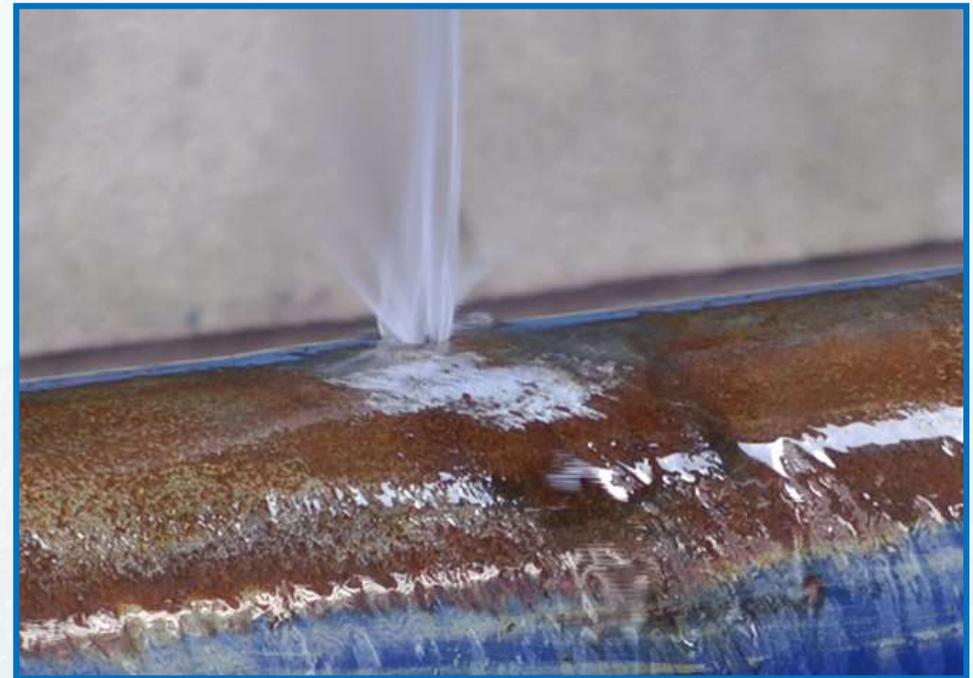
# Defeitos em Tubulações

- ☐ Furo sem vazamento



# Defeitos em Tubulações

- ❑ Furo com vazamento (água ou hidrocarboneto)



# Defeitos em Tubulações

## ☐ Exemplo de corrosão interna



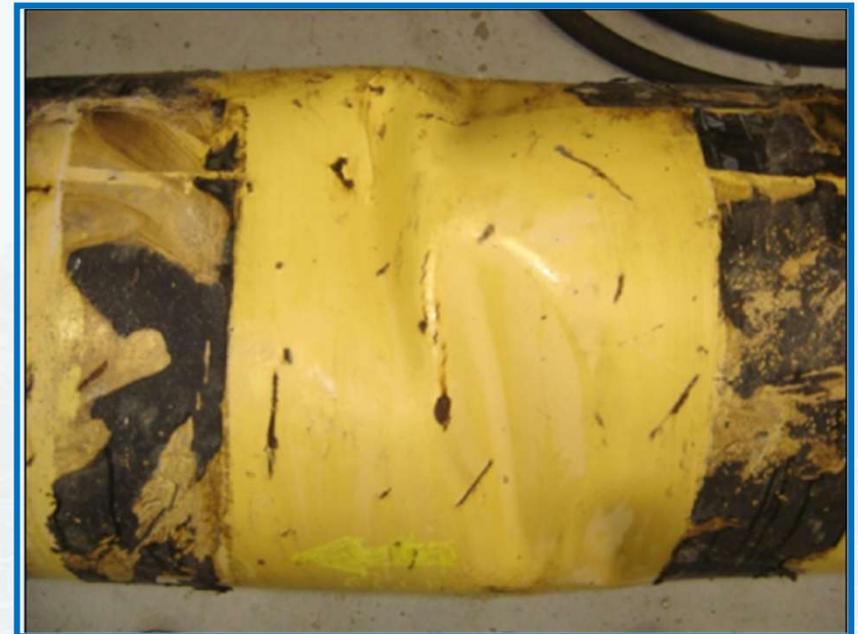
# Defeitos em Tubulações

## ☐ Amassamento

Mossa suave na solda



Mossa abrupta (kinked), Buckle



# Tipos de Reparos

## ❑ Reparo a quente (Soldagem)

- ✓ Técnica de reparo utilizada para restabelecer a integridade estrutural a fim de garantir a operação segura ao longo de toda a vida útil, conforme as normas de projeto e construção.

Soldado



N-2163 => Soldagem em operação.

PÚBLICA

# Tipos de Reparos

## ❑ Reparo a frio (Emergencial - Curto Prazo)

### Compósito



### Mecânico



- ✓ Executado por pessoal e procedimento qualificados. Instalado segundo orientações do fornecedor do material.
- ✓ Material avaliado e qualificado.
- ✓ Aplicado apenas como medida de contingência, até o reparo definitivo ou reconstituição;
- ✓ Para situações de baixa pressão e tamanho de furo limitado.
- ✓ Validade máxima: 365 dias

# Tipos de Reparos

## ❑ Reparo a frio (Longo Prazo)

- ✓ Projetado por meio de normas (ISO 24817, ASME PCC2).
- ✓ Material qualificado segundo critério das normas.
- ✓ Validade: ISO 24817 (20 anos), ASME PCC2 (não define prazo)

## Compósito

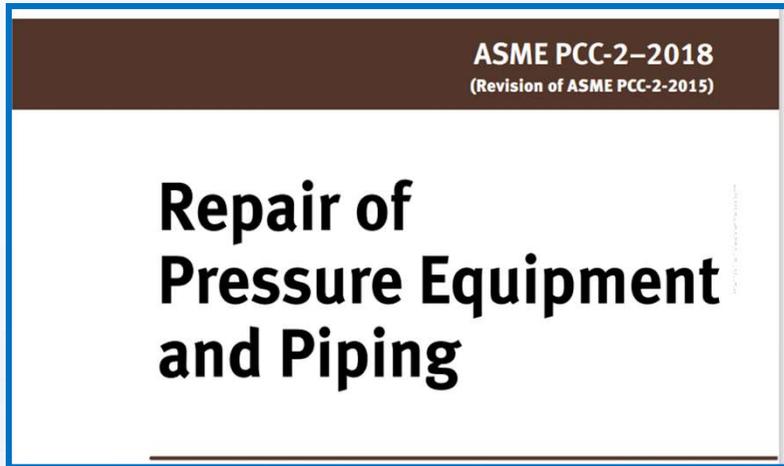


## Mecânico

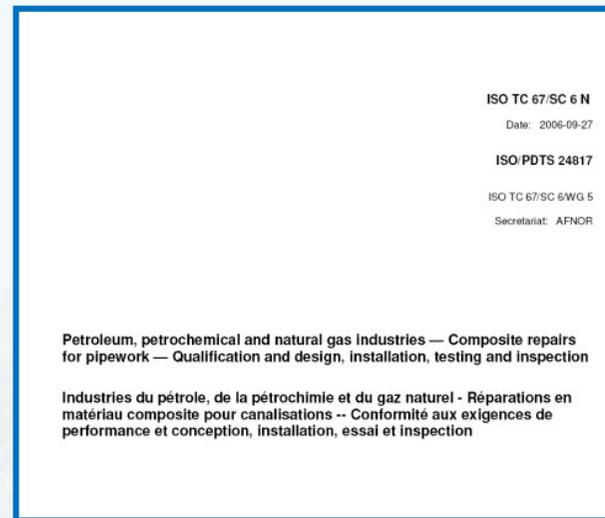


# Normas de Reparo

ASME PCC-2



ISO TS 24817



- ✓ **Qualificação**
- ✓ **Projeto**
- ✓ **Instalação**
- ✓ **Inspeção**

PÚBLICA

# Tipos de Defeito (ISO 24817 e ASME PCC 2)

**Defeito tipo A:** defeitos não passantes e que não se tornarão passantes. Até 80% de perda de espessura.

**Defeito tipo B:** defeitos passantes ou que se tornarão passantes ou maior que 80% de perda de espessura.

# Classes de Reparos – ISO 24817

<b>Classe de reparo</b>	<b>Serviço</b>	<b>Pressão de projeto</b>	<b>Temperatura de projeto</b>
Classe 1	Drenos, água de refrigeração, utilidades.	Até 20 bar	Até 40°C
Classe 2	Água de incêndio, sistemas de alagamento.	Até 20 bar	Até 100°C
Classe 3	Água produzida, hidrocarbonetos, combustíveis, outros	Sem limite de pressão (Função dos Testes)	Sem Limite de Temperatura (Função da Tg)

PÚBLICA

# Classes de Reparos – ASME PCC2

- Baixo Risco (Até 10 Bar, <math><50^{\circ}\text{C}</math>, fluidos de baixo potencial de risco)
- Alto Risco

# Qualificação (ISO 24817 e ASME PCC2)

PÚBLICA



# Qualificação (Testes de caracterização)

Propriedade	Metodologia dos ensaios	Resultados esperados
Ec – Módulo de elasticidade, na direção circunferencial de aplicação sobre a tubulação.	ISO 527, ASTM D3039	1. Deformação mínima antes da falha: Maior do que 1% 2. Valor do Módulo de elasticidade circunferencial.
Ea – Módulo de elasticidade, na direção longitudinal de aplicação sobre a tubulação	ISO 527, ASTM D3039	3. Deformação mínima antes da falha: Maior do que 1% 4. Valor do módulo de elasticidade longitudinal.
Espessura de uma camada de laminado	ISO 527, ASTM D3039	5. Espessura de uma camada de laminado.
Poisson	ISO 527, ASTM D3039	6. Coeficiente de Poisson $\nu_{12}$ referente ao carregamento na direção circunferencial de aplicação na tubulação.
Módulo de cisalhamento	ASTM D638	7. Módulo de cisalhamento da matriz polimérica sem a presença de fibras.
Tg - Temperatura de transição vítrea	ISO 11357-2, ASTM E831, ASTM E1640, ASTM E6604	8. Temperatura máxima de utilização do reparo
Resistência à adesão (“lap shear stress”)	ASTM D3165	9. Resistência à adesão: maior do que 580 psi (4 MPa). Nota: A preparação de superfície no teste deve ser igual a preparação de superfície recomendada no procedimento de execução.

# Qualificação (Testes de performance)

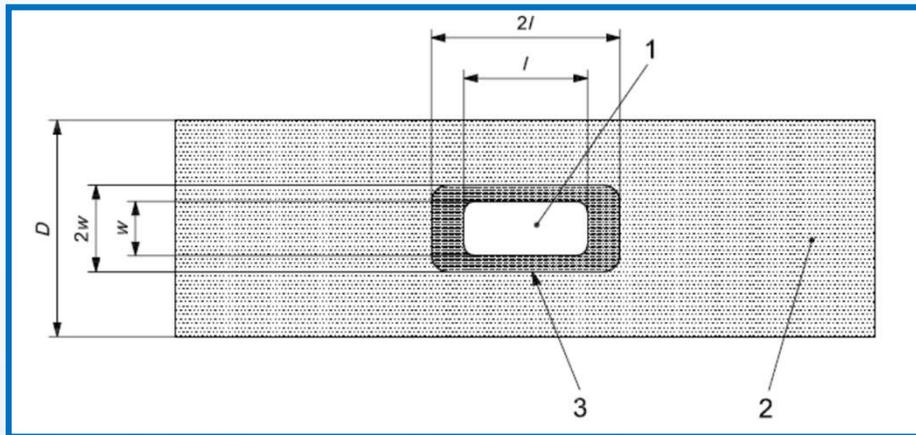
Tipo de Teste	Metodologia dos ensaios	Resultados esperados
Short-term pipe: spool survival test (para defeito tipo A)	Anexo C da ISO-24817	10. Pressão de falha no mínimo a que causa 100% de escoamento.
Taxa liberação energia (Y) (obrigatório para furo)	Anexo D da ISO-24817	11. Determinação da taxa de liberação de energia
Performance ao impacto	Anexo F da ISO-24817	12. Pressão de falha após impacto dentro do limite de qualificação.
Performance de Lap Shear a longo prazo	Apêndice 401-II-2 da ASME PCC-2	13. Determinação de tensão limite a longo prazo
Descolamento catódico (Mandatário para dutos com proteção catódica)	ASTM D638	14. Módulo de cisalhamento da matriz polimérica sem a presença de fibras.

PÚBLICA



# Qualificação para Reparos em Tubos com Defeitos não Passantes – Tipo A

01 corpo de prova tubular com defeito artificial de perda de espessura de 80%.



$$t_{\text{repair}} = \frac{1}{E_c \epsilon_{\text{short}}} \left( \frac{P_f D}{2} - s_a t_s \right)$$

$$P_f \geq \frac{2ts_a}{D}$$

$\epsilon_{\text{short}}$  is the short-term failure strain limit of the composite laminate, defined as 0,008.

PÚBLICA

# Qualificação para Reparos em Tubos com Defeitos não Passantes – Tipo A

## Exemplo Teste

$$P_f \geq \frac{2ts_a}{D} \quad P_f \geq 153bar \quad P_f = 252bar$$

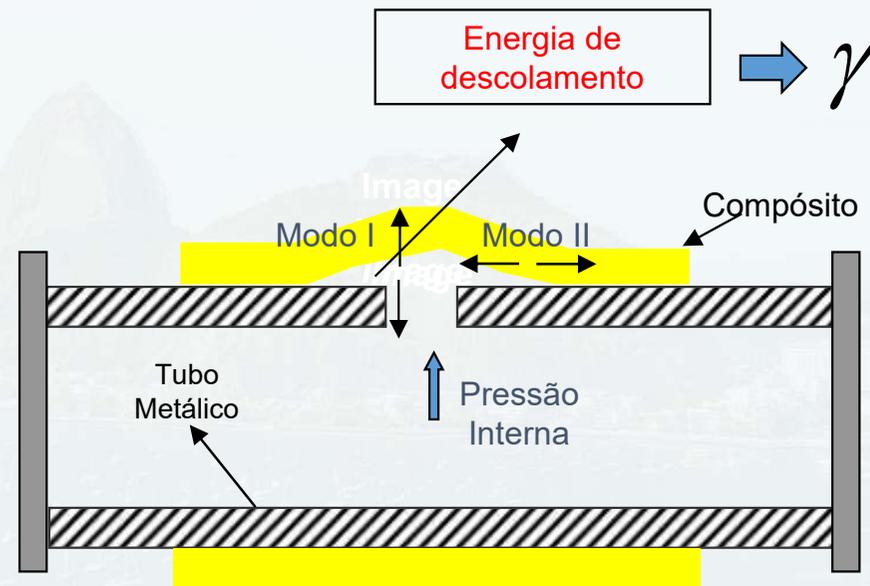
API 5L X65, 18” e espessura 8,7mm



PÚBLICA

# Qualificação para Reparos em Tubos com defeitos tipo B - Passante

- Testes em 09 corpos de prova tubulares com defeitos tipo furo (3 com 10mm, 3 com 15mm e 3 com 25mm).
- Determinação da propriedade mecânica denominada “Energia de descolamento” ou “taxa de liberação de energia”.



PÚBLICA

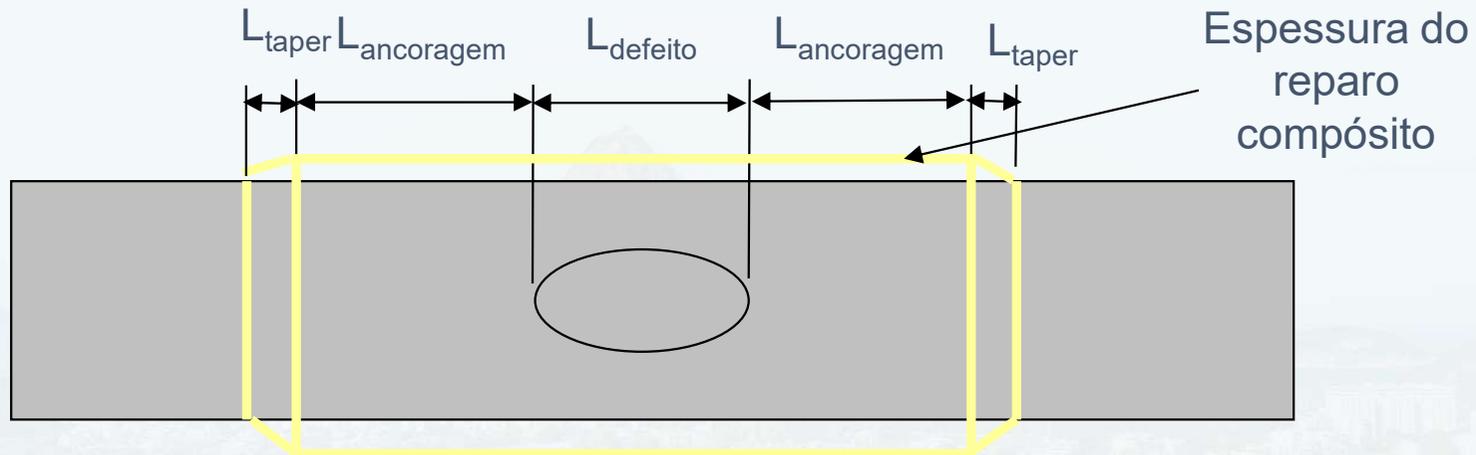
# Projeto (ISO 24817 e ASME PCC2)

PÚBLICA



# Projeto (ISO 24817 e ASME PCC2)

## Cálculo da Largura e Espessura do Reparo



$$L_{ancoragem} \geq 2,5 \sqrt{\frac{Dt}{2}}$$

PÚBLICA

# Projeto para Reparos em Tubos com Perda de Espessura

**PROJETO NÃO LEVA EM CONSIDERAÇÃO CONTRIBUIÇÃO DO SUBSTRATO**

$$t_{\min,c} = \frac{1}{\varepsilon_c} \left( \frac{p_{eq} D}{2} \frac{1}{E_c} + \frac{F_{eq} \nu}{\pi D E_c} \right)$$

**PROJETO LEVA EM CONSIDERAÇÃO CONTRIBUIÇÃO DO SUBSTRATO**

$$t_{\min,c} = \frac{D}{2s} \cdot \left( \frac{E_s}{E_c} \right) \cdot \left( p_{eq} + \frac{2\nu F_{eq}}{\pi D^2} - p_s \right)$$

PÚBLICA

# Projeto para Reparos em Tubos com Furo

Diagram illustrating the design equation for a tube repair with a hole, showing the relationship between various parameters and the resulting repair thickness and energy of delamination.

The design equation is:

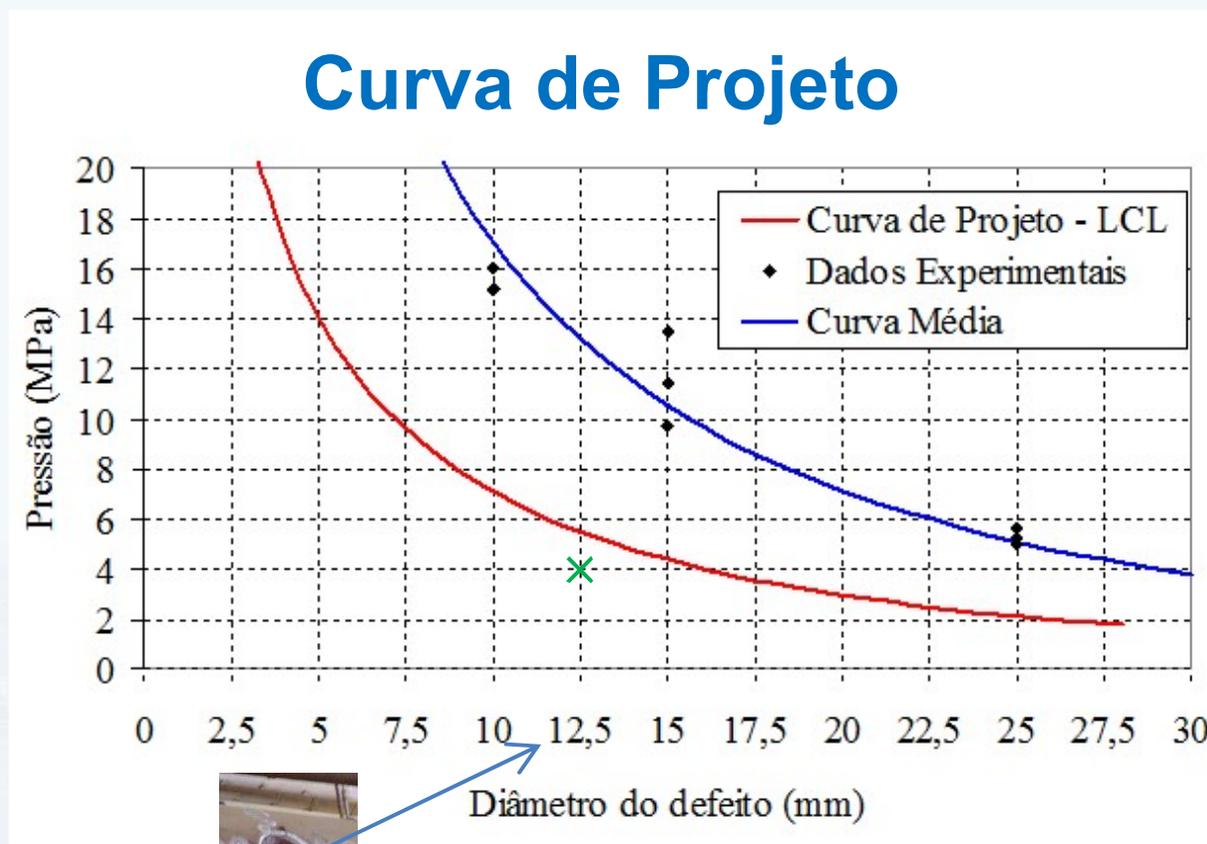
$$p = f_{T2} f_{leak} \left[ \frac{0,001 \gamma_{LCL}}{\frac{(1-\nu^2)}{E_{ac}} \left\{ \frac{3}{512 t_{min}^3} d^4 + \frac{1}{\pi} d \right\} + \frac{3}{64 G t_{min}} d^2} \right]$$

Labels and their corresponding terms in the equation:

- Pressão** (Pressure):  $p$
- Temperatura** (Temperature):  $f_{T2}$
- Tempo de Projeto** (Design Time):  $f_{leak}$
- Poisson** (Poisson's ratio):  $\nu$
- Módulo de elasticidade** (Modulus of elasticity):  $E_{ac}$
- Diâmetro do furo** (Hole diameter):  $d$
- Módulo de Cisalhamento** (Modulus of shear):  $G$
- Energia de descolamento** (Energy of delamination):  $\gamma_{LCL}$
- Espeçura do reparo** (Repair thickness):  $t_{min}$

PÚBLICA

# Projeto para Reparos em Tubos com Furo



PÚBLICA

# Instalação do Reparo (ISO 24817 e ASME PCC2)

PÚBLICA



# Instalação – Defeito Tipo A



PÚBLICA

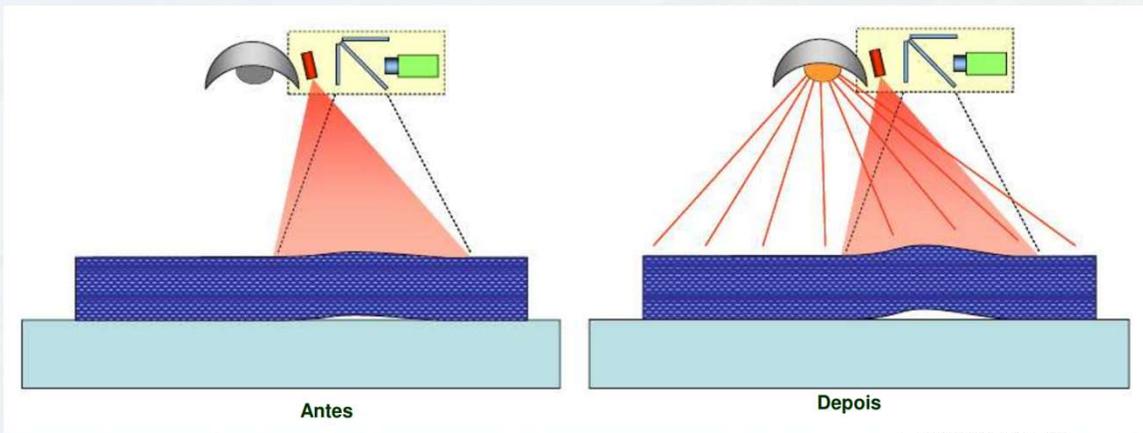
# Instalação – Defeito Tipo B



PÚBLICA

# Inspeção

## Shearografia – Técnica a laser



# Exemplos de Aplicação

PÚBLICA



# Exemplos de Aplicação

Escalador



Enterrado



# Exemplos de Aplicação

Resistente à chama



Submerso



# Header de Gás

Antes



Depois



- 24", Gás inerte, Pressão atmosférica
- Defeitos de furo e perda de espessura

PÚBLICA

# Sistema de Captação de Água do Mar

- Pressão de projeto 16 KG/CM2
- Diâmetro de 14"
- Temperatura captação água 21°C
- Material da tubulação Aço carbono

PÚBLICA



# Sistema de Captação de Água do Mar



PÚBLICA

# Sistema de Captação de Água do Mar



PÚBLICA

# Reparo em Costado

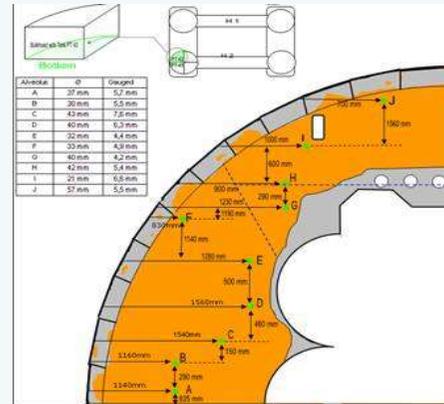
- Perda de espessura na lateral do costado.
- Andaime e habitáculo: ambiente controlado.



PÚBLICA

# Reparo em tanque de lastro

- Espaço confinado



PÚBLICA

# Pontos de atenção no uso de Compósitos para Reparo

- Preparação de superfície;
- Temperaturas elevadas;
- Regiões com área de ancoragem reduzida (próximo de flange, suporte, válvula, etc);
- Ausência de normas para reparo de estruturas navais, necessário projeto próprio, algumas vezes uso de elementos finitos.

PÚBLICA



# Parâmetros que influenciam na escolha do tipo de reparo por compósito

- Trabalho a frio
- Logística mais simples
- Tipo de Geometria da tubulação
- Custo
- Possibilidade de reparar sob vazamento ativo
- Evita troca de trecho e parada de produção



**Obrigado pela Atenção**

**Valber Perrut**

**[vperrut@petrobras.com.br](mailto:vperrut@petrobras.com.br)**

**PÚBLICA**

