



## COTEQ-232

### REFORÇO ESTRUTURAL EM VASOS E TANQUES

Eduardo C. Vilani<sup>1</sup>, Antonio C. Bifulco<sup>2</sup>, Richard F. Bayer<sup>3</sup>.

Copyright 2007, ABENDE, ABRACO e IBP

Trabalho apresentado durante a 9ª. COTEQ – Conferência Internacional sobre Tecnologia de Equipamentos, em Salvador/BA, no mês de junho de 2007.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

### Sinopse

---

Tubulações, tanques e vasos de pressão metálicos podem ter sua integridade estrutural comprometida por defeitos provocados no substrato. Estes defeitos podem ser: perda de espessura, deformação plástica (amassamento) ou trincas. A perda de espessura pode ser devida à corrosão interna ou externa, bem como a arranhões, desbaste por atrito ou erosão. Para todos os casos, é possível reabilitar a estrutura metálica, por adição de espessura de compósito equivalente àquela perdida. Podem-se reforçar também estruturas íntegras que precisam ser submetidas a tensões adicionais oriundas de novas condições operacionais. Uma correta análise do defeito é o primeiro passo para o projeto do reparo, pois permite classificá-lo adequadamente. Conhecidas as características mecânicas do compósito a ser utilizado, é possível calcular a espessura equivalente que deve ser aplicada. O instalador deve executar o reparo obedecendo às exigências de certificação e manuseio dos materiais aplicados, do correto preparo do substrato, fazendo a instalação conforme o procedimento operacional específico. Uma equipe hábil é necessária para garantir que o laminado obtido guarda proximidade com aqueles utilizados para a certificação do mesmo. Atenção deve ser dada à segurança no trabalho e à preservação do meio ambiente.

### Introdução

---

O teto do tanque 146001 da Transpetro DT/TA-Baía de Guanabara/RJ localizado no terminal da Ilha Redonda, utilizado no armazenamento de GLP refrigerado, apresentava corrosão externa severa e generalizada, já com inúmeras perfurações que permitiam emissão de gás para a atmosfera.

A execução do reparo do teto precisava ser feita por um processo em que todas as etapas fossem executadas a frio, ou seja, sem produção de qualquer fonte de calor ou faísca, uma vez que não se pretendia inertizá-lo.

Descreveremos como foi feito o reparo aplicando compósito de fibra de vidro em matriz polimérica epóxi sobre superfície metálica previamente preparada, seguindo um procedimento operacional aprovado pelo CENPES.

---

1 Engenheiro Químico e Mecânico, Gerente de Negócio – RUST ENGENHARIA LTDA.

2 Engenheiro Mecânico, Consultor Técnico – RUST ENGENHARIA LTDA

3 Engenheiro Civil, Diretor Industrial – RUST ENGENHARIA LTDA

---

### **1.1.0 – Apresentação do *case industrial*:**

A Petrobrás Transporte S/A – Transpetro possui três tanques de teto hemisférico fixo, utilizados no armazenamento de gás liquefeito do petróleo à baixa temperatura (-48°C) e à pressão ambiente, localizados na Ilha Redonda, no Terminal Aquaviário da Baía de Guanabara.

Os tetos destes tanques apresentam corrosão externa severa e generalizada nas chapas, com vários pontos onde já ocorreu perfuração.

Devido à dificuldade relacionada com a retirada de operação de cada tanque, seguida da preparação do mesmo (inertização) para os serviços de caldeiraria, com corte e solda para troca ou reparo das chapas danificadas, o engenheiro responsável pela manutenção do DT/TA BG contactou o CENPES para pesquisar uma alternativa de reparo que dispensasse o uso de fontes de calor.

Por sua vasta experiência na execução de revestimentos a base de materiais compósitos, foi sugerida uma consulta à Rust Engenharia Ltda., para verificar a possibilidade de realização do reparo.

### **1.2.0 – Proposta técnica apresentada:**

No fim do mês de agosto de 2.004, a Rust ofereceu um projeto de reparo utilizando o reforço estrutural com proteção anticorrosiva e vedação auto portante.

Este projeto previa as seguintes etapas:

#### **1.2.1 – Preparação de superfície:**

As superfícies receberão limpeza através de hidrojateamento abrasivo UAP de forma a atingir o padrão de limpeza WJ-1 M da norma SSPC-VIS 4 (I) / NACE nº. 7 , com a remoção total de hidrocarbonetos, gorduras, todos materiais com baixa aderência , óxidos, oleosidade e tinta remanescente. Sobre a superfície preparada, limpa, com umidade preferivelmente inferior a 8%, será aplicada através de rolos e trinchas, uma demão do Primer PU 20.

#### **1.2.2 – Aplicação do reforço estrutural:**

Aplicação de uma camada base Glasscote 1.500, composta de resina Epóxi Novolac, que apresenta resistência química a hidrocarbonetos e H<sub>2</sub>S. A função da camada base é aproximar o coeficiente de dilatação térmica do substrato ao revestimento e regularizar a superfície de aplicação do reforço de fibra de vidro, em especial nos degraus de sobreposição das chapas.

Antes mesmo da polimerização total da camada base, serão impregnados um tecido de fibras de vidro ( tipo E ) com gramatura de 600 g/m<sup>2</sup> e uma manta de fibra de vidro ( tipo E ) com gramatura de 450 g/m<sup>2</sup>, com resina Epóxi, através de rolos especiais e trinchas.

#### **1.2.3 – Pintura:**

Após o reforço estrutural, serão aplicadas duas demãos de tinta conforme norma N-2677, para conferir acabamento uniforme no teto e costado, conforme norma N-1205.

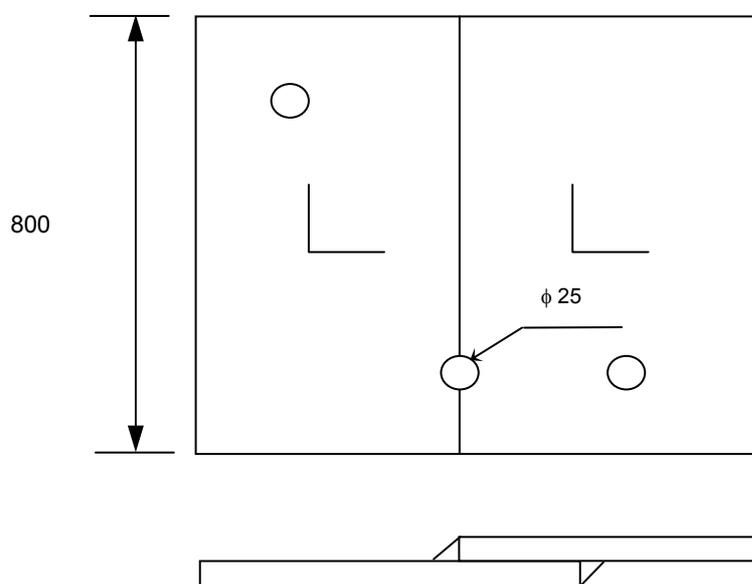
### **1.3.0 – Qualificação do reparo:**

Com o objetivo de qualificar o procedimento proposto pela Rust, o CENPES executou ensaios em um corpo de prova fabricado com uma chapa corroída pertencente ao próprio tanque e com o reforço estrutural produzido a partir dos materiais e do procedimento propostos pela Rust Engenharia. Estes ensaios serão descritos a seguir.

### 1.3.1 – Metodologia de ensaio:

Um corpo de prova foi confeccionado em chapa retirada de um dos tanques da Ilha Redonda, apresentando corrosão generalizada, que era mais severa em um dos lados da chapa. A chapa foi cortada ao meio e soldada de filete com 100 mm de superposição. Este procedimento visava avaliar a aderência do revestimento em chapas com diferentes graus de corrosão e reproduzia as soldas de chapas superpostas que efetivamente existem no teto do tanque.

Foram soldados dois pedaços de cantoneira perpendiculares à chapa, para simular os suportes de acessórios e de passarelas que existem no teto do tanque. Com isto procurou-se avaliar o processo de aplicação do revestimento na porção inferior dos suportes. Foram usinados três furos passantes com 25 mm de diâmetro, um em cada metade do corpo de prova e um terceiro centrado com o filete de solda. Estes furos representam o tamanho máximo de pites de corrosão observados no teto do tanque, muitos deles ocorrendo na região de costura das chapas. A *figura 1* mostra o desenho esquemático do corpo de prova.



*Figura 1*

### 1.3.2 – Aplicação do reforço no corpo de prova:

O corpo de prova foi enviado às instalações da Rust, onde foi aplicado o reforço estrutural proposto. As *fotos n.ºs. 1, 2, 3 e 4* apresentam as etapas de aplicação do reforço no corpo de prova.



*Foto n.º 1 – Corpo de Prova*



*Foto n.º 2 - Aplicação da Camada Base*



Foto n.º 3 - Aplicação do Reforço Estrutural

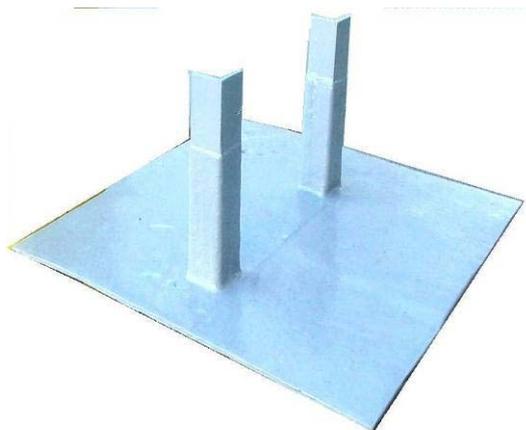


Foto n.º 4 - Corpo de Prova Reforçado

### 1.3.3 – Exposição do corpo de prova sob carga ao tempo:

Após a aplicação do reforço, a chapa foi enviada ao CENPES/PDP/TMEC para o início dos testes. O corpo de prova foi exposto ao tempo por um período de três meses e meio, como forma de avaliar a resistência de curto prazo do revestimento. Em cada furo foi injetado ar, por detrás do revestimento, a uma pressão constante de 0,1 bares. Esta simulação simples visava reproduzir os ciclos de dilatação e contração do teto do tanque, e do revestimento sob pressão, com a flutuação da temperatura ambiente. A *tabela 1* mostra as flutuações de temperatura e das condições climáticas acompanhadas durante os dias úteis, no decorrer do período.

**Tabela 1**

Acompanhamento meteorológico relativo ao teste de ciclo térmico da chapa revestida com Sistema Rust.									
Data	Horário = 09 H 30		Horário = 15 H 30		Data	Horário = 09 H 30		Horário = 15 H 30	
	Temp.	Condições	Temp.	Condições		Temp.	Condições	Temp.	Condições
17/01	27 °C	SOL	33 °C	NUBLADO	11/03	29 °C	SOL	39 °C	SOL
18/01	26 °C	SOL	35 °C	SOL	14/03	31 °C	SOL	38 °C	SOL
19/01	25 °C	SOL	37 °C	SOL	15/03	36 °C	SOL	38 °C	NUBLADO
21/01	23 °C	NUBLADO	34 °C	NUBLADO	16/03	33 °C	SOL	40 °C	SOL
24/01	25 °C	CHUVA	34 °C	CHUVA	17/03	34 °C	NUBLADO	33 °C	NUBLADO
25/01	26 °C	CHUVA	35 °C	CHUVA	21/03	31 °C	NUBLADO	38 °C	NUBLADO
26/01	26 °C	CHUVA	33 °C	CHUVA	22/03	31 °C	NUBLADO	37 °C	NUBLADO
27/01	24 °C	CHUVA	33 °C	CHUVA	23/03	31 °C	SOL	34 °C	NUBLADO
28/01	25 °C	CHUVA	35 °C	CHUVA	24/03	31 °C	NUBLADO	31 °C	NUBLADO
31/01	26 °C	NUBLADO	37 °C	SOL	28/03	26 °C	SOL	34 °C	SOL
01/02	25 °C	SOL	37 °C	SOL	29/03	26 °C	SOL	36 °C	SOL
02/02	26 °C	NUBLADO	36 °C	NUBLADO	30/03	28 °C	SOL	36 °C	SOL
03/02	26 °C	SOL	36 °C	NUBLADO	31/03	28 °C	SOL	36 °C	SOL
04/02	25 °C	NUBLADO	35 °C	NUBLADO	01/04	28 °C	SOL	36 °C	SOL
10/02	27 °C	SOL	37 °C	SOL	04/04	26 °C	SOL	34 °C	SOL
11/02	26 °C	SOL	37 °C	SOL	05/04	25 °C	NUBLADO	30 °C	NUBLADO
14/02	26 °C	SOL	37 °C	SOL	06/04	21 °C	CHUVA	33 °C	SOL
15/02	27 °C	SOL	36 °C	SOL	07/04	28 °C	SOL	34 °C	SOL
16/02	26 °C	NUBLADO	37 °C	SOL	08/04	28 °C	SOL	34 °C	SOL
17/02	27 °C	SOL	37 °C	SOL	11/04	28 °C	SOL	33 °C	SOL
18/02	27 °C	SOL	38 °C	NUBLADO	13/04	27 °C	SOL	32 °C	SOL
21/02	26 °C	CHUVA	34 °C	NUBLADO	14/04	28 °C	SOL	32 °C	SOL
22/02	25 °C	SOL	36 °C	SOL	15/04	28 °C	SOL	34 °C	SOL
23/02	25 °C	SOL	39 °C	SOL	18/04	28 °C	SOL	30 °C	NUBLADO
24/02	27 °C	SOL	37 °C	SOL	19/04	29 °C	NUBLADO	33 °C	SOL
25/02	27 °C	NUBLADO	36 °C	SOL	20/04	28 °C	SOL	34 °C	SOL
28/02	26 °C	SOL	37 °C	NUBLADO	25/04	27 °C	SOL	35 °C	SOL
01/03	26 °C	SOL	34 °C	NUBLADO	26/04	26 °C	CHUVA	21 °C	CHUVA
02/03	30 °C	NUBLADO	29 °C	NUBLADO	27/04	24 °C	NUBLADO	23 °C	NUBLADO
03/03	23 °C	CHUVA	22 °C	CHUVA	28/04	26 °C	NUBLADO	26 °C	NUBLADO
04/03	30 °C	NUBLADO	32 °C	NUBLADO	29/04	26 °C	NUBLADO	26 °C	NUBLADO
07/03	26 °C	SOL	37 °C	SOL	02/05	25 °C	NUBLADO	28 °C	NUBLADO
08/03	27 °C	SOL	37 °C	SOL	03/05	23 °C	NUBLADO	27 °C	NUBLADO
09/03	27 °C	SOL	39 °C	SOL	04/05	22 °C	SOL	26 °C	SOL
10/03	27 °C	SOL	38 °C	SOL	05/05	24 °C	SOL	27 °C	SOL

### 1.3.4 – Testes de ruptura:

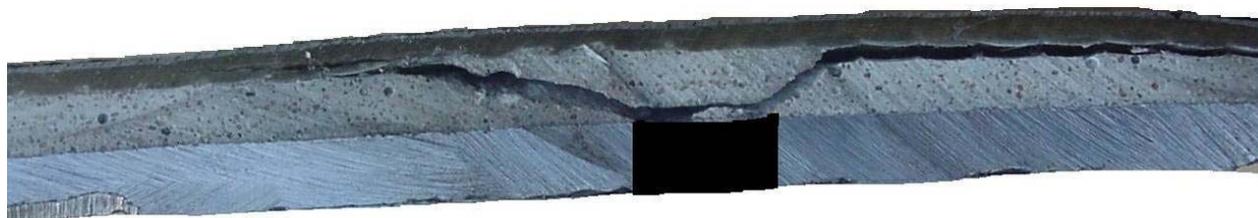
Após o período de exposição da chapa, foram efetuados os testes de ruptura do revestimento, para determinação de sua resistência última a uma pressão interna que lhe seja transmitida através de um defeito de corrosão passante. Os primeiros testes foram efetuados até a pressão pneumática de 6,0 bares. Foram executados incrementos de 0,1 bares, com patamares de 5 minutos, até a pressão de 2,0 bares. Em seguida os incrementos passaram a ser de 0,5 bares. Neste primeiro teste não ocorreu rompimento do revestimento em nenhum dos furos pressurizados.

Para se atingir pressões mais elevadas, os furos passaram a ser pressurizados com fluido hidráulico, por intermédio de uma bomba manual. A *tabela 2* mostra as pressões de ruptura das regiões com furos sob o revestimento.

**Tabela 2 – Pressões de ruptura do revestimento sobre os furos.**

Furo	Pressão de Ruptura
Nº 1 (chapa mais corroída)	40 bares
Nº 2 (chapa menos corroída)	67 bares
Nº 3 (solda na chapa)	40 bares

Os rompimentos foram precedidos pela formação de um “blister” entre o revestimento e a chapa, conforme mostra a *foto n.º.5*. Houve mais a perda do fluido através de pequenos rasgos no tecido do que a ruptura de uma grande área do revestimento.



**Foto n.º.5 – Corte transversal de uma região de falha, mostrando a fratura da camada base com formação de um “blister”.**

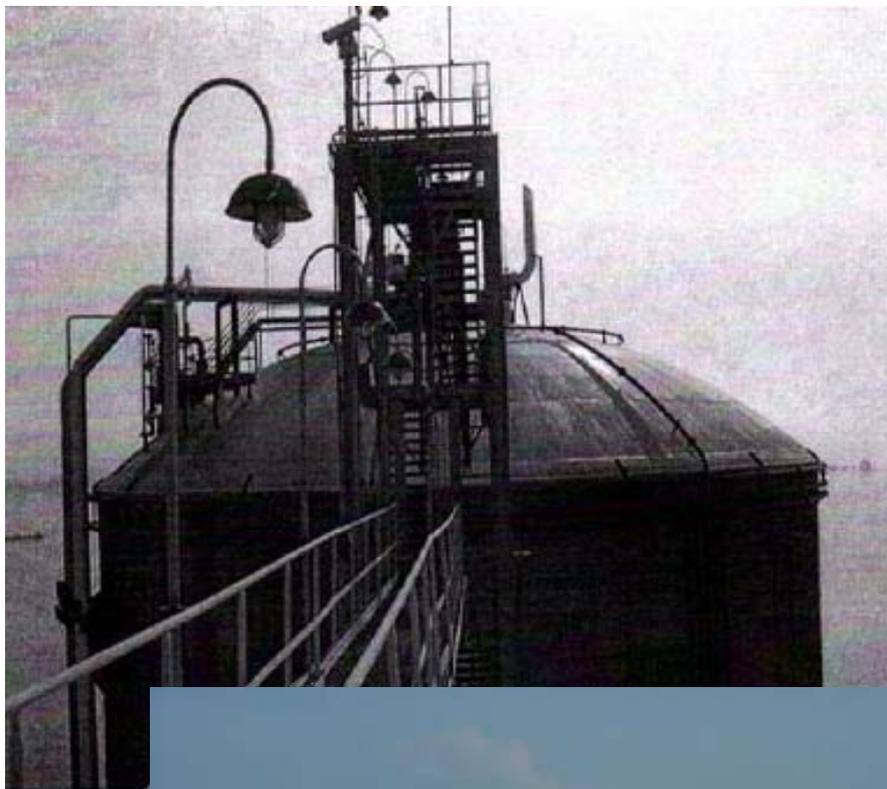
### 1.3.5 – Teste de intemperismo:

Foram recortados três cupons de 100X150 mm da chapa revestida, fora das regiões com furo, para um ensaio de intemperismo acelerado, por radiação ultravioleta alternada com névoa úmida, com duração prevista de um mês, conforme norma ASTM G-14. Os corpos de prova são expostos em cabine de exposição programada para 4 horas de UVA e condensação, apresentando o aspecto mostrado na *foto n.º. 6*, após o ensaio.



**2.1.0 – Execução do reforço estrutural:**

Os serviços de reforço estrutural iniciaram-se em dezembro de 2006, após a qualificação do procedimento de execução proposto pela Rust e aprovação da proposta comercial. As *fotos n.º 7 e 8* apresentam o estado inicial do TQ 146001.



**DADOS DO TANQUE  
TAG - 146001**

*Díâmetro Nominal = 28 m.  
Altura Nominal = 30,26 m.  
Área reforçada = 700 m<sup>2</sup>  
Produto Estocado = GLP  
Temperatura/Projeto = - 50°C  
Pressão/Projeto = 0,1 Kgf/cm<sup>2</sup>*

*Fabricação Confab 1.979*

*Materiais:*

*Costado = ASTM A-357 Cl 1*

*Fundo = ASTM A -357 Cl 1*

*Teto = ASTM A 131 Gr B*

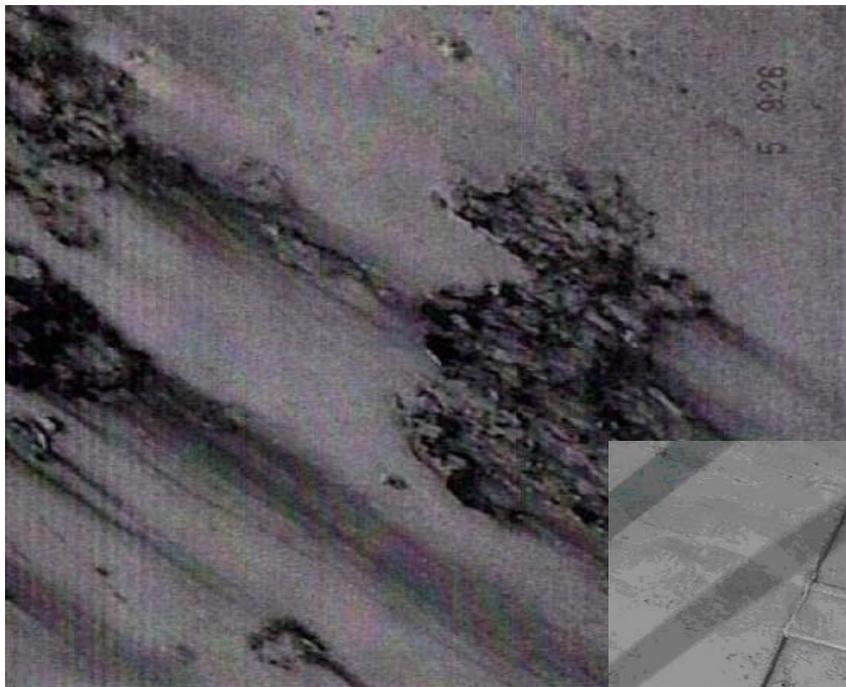
*Responsável pelo Contrato  
Eng. Luis Pacheco*

*Foto n.º 7*



*Foto n.º 8*

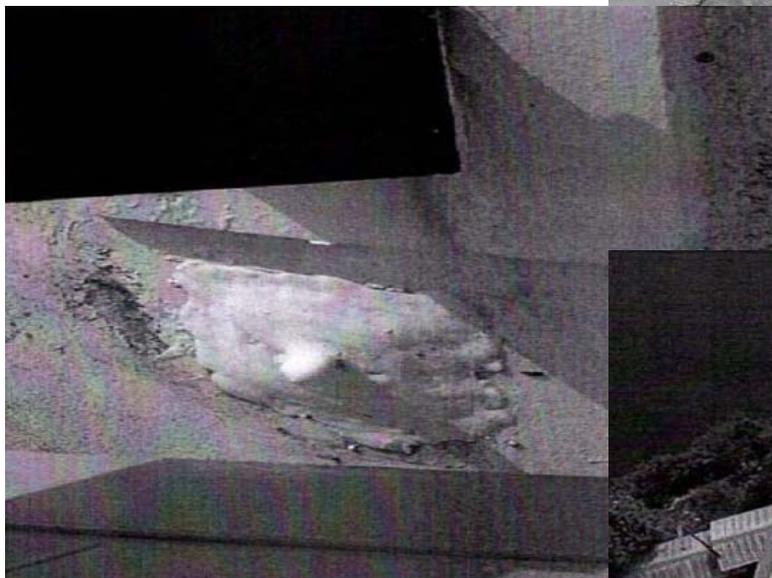
As *fotos n.ºs. 9 e 10* apresentam detalhes do estado do teto do tanque, com corrosão acentuada. Observar na *foto n.º 11* que há defeitos com furos passantes e muitos reparos executados com soldagem de chapa sobreposta, conforme mostra a *foto n.º 12*.



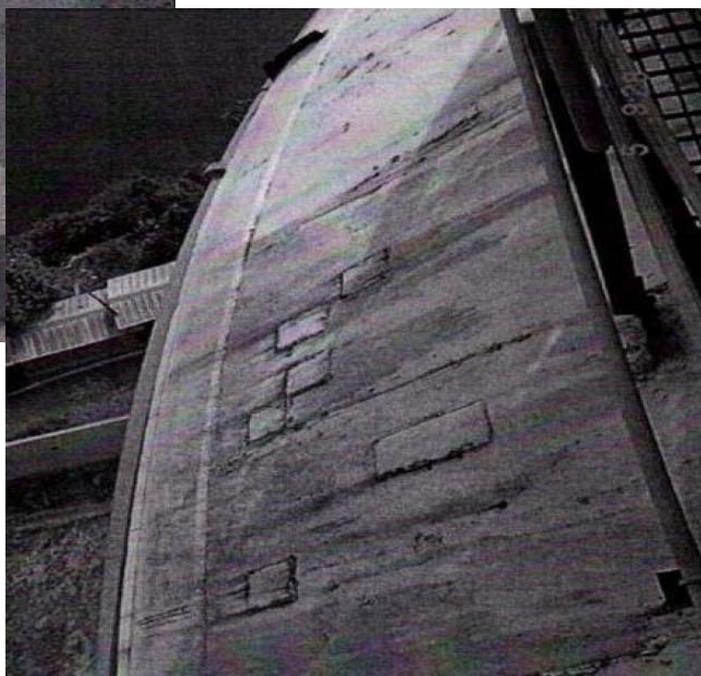
*Foto n.º 9*



*Foto n.º 10*



*Foto n.º 11*



*Foto n.º 12*

### 2.1.1 – Preparação de superfície:

Toda superfície correspondente ao teto do tanque foi hidrojetada conforme o procedimento proposto. À medida que o hidrojato avançava, aplicava-se o Primer PU 20 para proteger a região limpa. As fotos n.º13 e 14 mostram esta etapa da preparação.



*Foto n.º 13*

As fotos n.º15 e 16 mostram a aplicação do Primer PU 20 em áreas previamente hidrojetadas.



*Foto n.º14*



*Foto n.º 15*



*Foton.º16*

### 2.1.2 - O Aditivo ao Contrato:

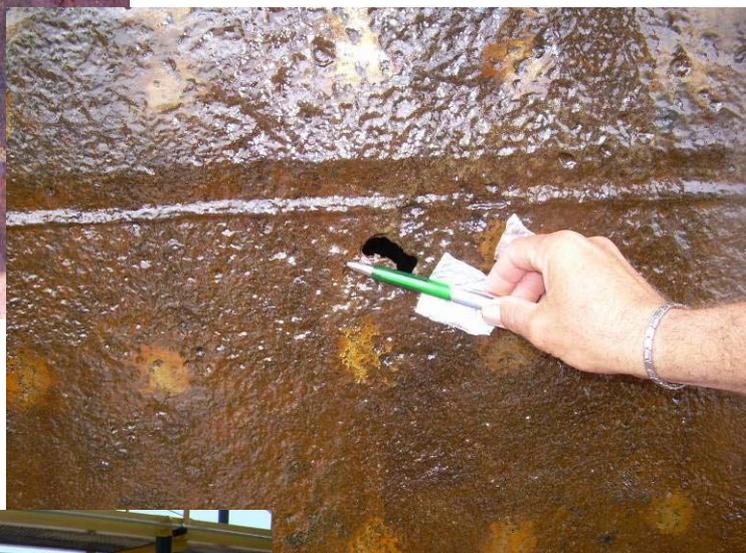
Durante a execução da obra, verificou-se que parte do costado também apresentou corrosão perforativa. A área a ser revestida foi ampliada até 1,00 metros abaixo do teto, no costado, incluindo as chapas de pingadeira e de proteção do isolamento térmico conforme *fotos n.ºs. 17, 18 e 19*.



*Foton.º 17*



*Foton.º 18*



*Foton.º 19*



### 2.1.3 – Aplicação do reforço estrutural:

Após a pintura do Primer PU 20, seguiu-se à aplicação da camada base com Glasscote EN.

A *foto n.º 20* mostra esta etapa da execução do projeto.

*Foto n.º 20*

Sobre a camada base foi aplicado o reforço estrutural, conforme mostram as *fotos 21 e 22*.



*Foto n.º 21*

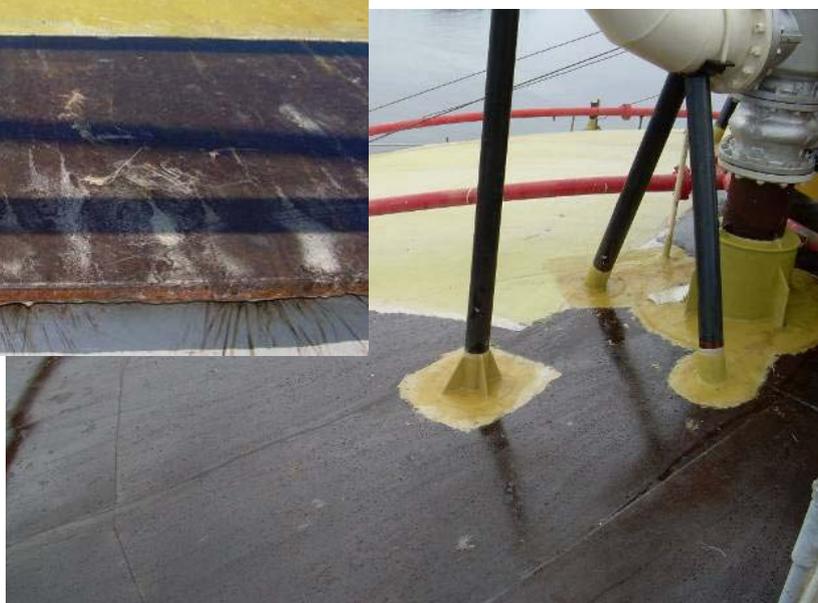


*Foto n.º 22*

As fotos n.º 23 e 24 apresentam parte do teto já reforçado.



*Foto n.º 23*



*Foto n.º 24*

A seguir as *fotos n.º 25 e 26* mostram uma visão mais abrangente do reforço estrutural aplicado.



*Foto n.º 25*

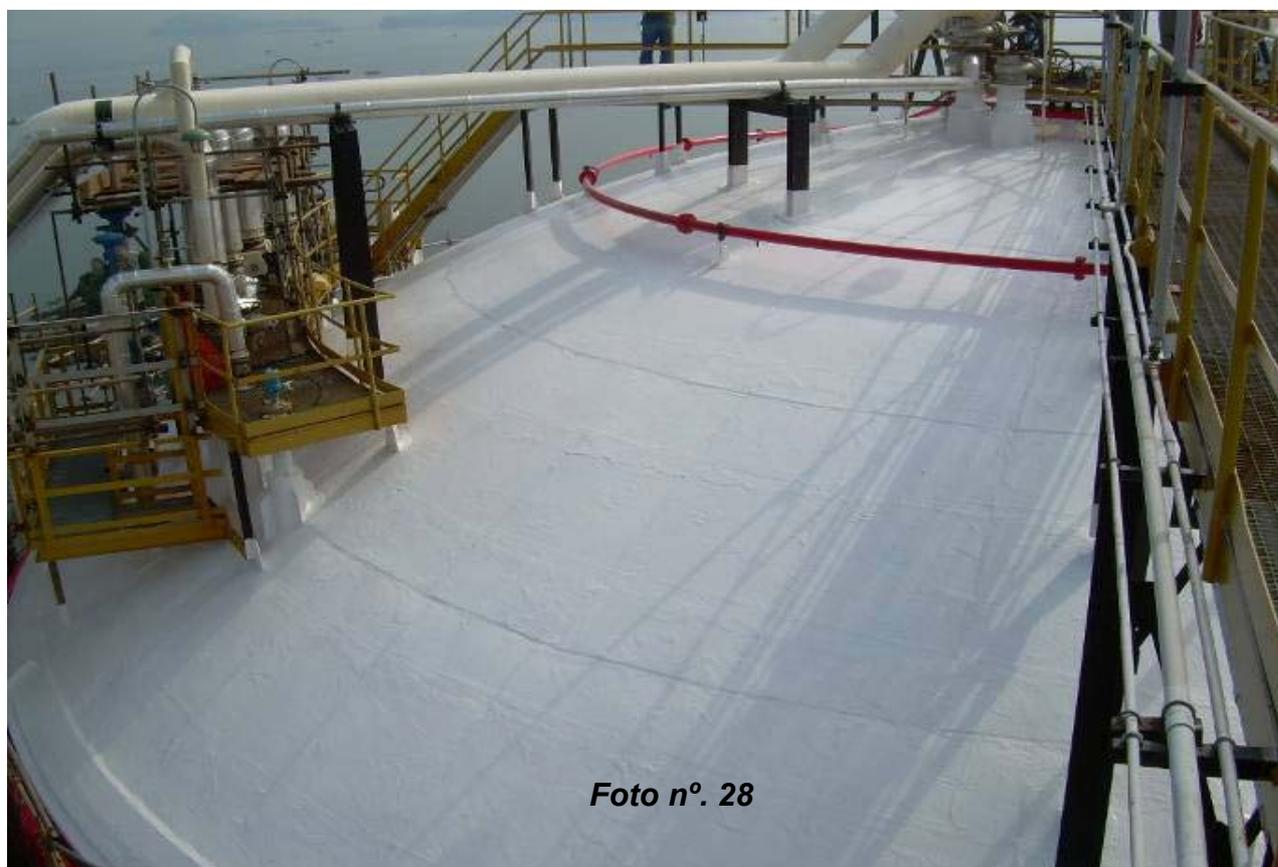


*Foto n.º 26*

O Tanque 146001 com o reforço estrutural e a pintura final, entregue em março de 2007.



*Foto n.º 27*



*Foto n.º 28*

**O Tanque 146001 com o reforço estrutural e a pintura final, entregue em março de 2007.**



**Foto nº. 29**

---

## **Conclusões**

**COTEQ-232**

### **1.3.6. Conclusões dos ensaios de qualificação:**

Os resultados indicaram que o revestimento atende com bastante folga aos requisitos de resistência à pressão interna, na eventualidade de se desenvolver um defeito passante por baixo dele. A pressão máxima de operação do tanque se situa abaixo de 0,1 bares e a menor pressão de ruptura do revestimento foi de 40 bares. A simulação dos ciclos térmicos de operação não indicou falha do revestimento, sob pressão nas regiões com furos, devida à dilatação diferencial entre o mesmo e a chapa de aço logo abaixo.

Corpos de prova do revestimento foram submetidos à exposição conforme a norma ASTM G-14, pelo período de 4320 horas, apresentando perda de brilho e cor. Esta variação não é significativa, uma vez que a radiação UVA altera essas propriedades, como é esperado. Quanto à película, não apresentou falhas como: fissuras, bolhas, ponto de corrosão, visualmente sem alteração das propriedades anticorrosivas.