

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

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

## **Avaliação de revestimento anticorrosivo orgânico aplicado em válvulas do tipo esfera para operações *subsea***

Mateus Faccio<sup>a</sup> Eduardo Boff<sup>a</sup>, Alexandre da Silva Rocha<sup>b</sup>, Marcelo Favaro Borges<sup>c</sup>, Telmo Roberto Strohaecker<sup>d</sup>, João C. Brancher<sup>e</sup>, Joseane O. B. Canterle<sup>f</sup>, Luiz G. L. Rodrigues<sup>g</sup> e Vagner Sartori<sup>h</sup>

### **Abstract**

Motivated by the numerous challenges related to oil and gas in the pre-salt region, where the aggressive environment combined with great depth are always present factors, the search for alternative materials for applications in valves was highlighted. The subsea valves, essential for exploration projects in these areas are considered to be an even bigger challenge, thus, studies and performance tests in organic anti-corrosion coatings in this environment become necessary. The objective of this study is to evaluate the organic anti-corrosion coating ECTFE for the application of industrial valves ball type for subsea operations, by conducting tests on specimens and prototypes, before the simulated harsh environment conditions in which should operate. The set test parameters and data monitored by sensors installed were collected during the entire test period. The tests defined for the evaluation of the organic coating in prototypes are: pressure cycles, flow rate circulation, circulation in soapy water and corrosion tests with and without defects imposed in the coating. In addition, reduced specimens were subjected to pull off and fatigue tests. The results were conclusive and the coating was resistant to the conditions imposed on prototypes, since they were not detected discontinuities considered relevant according to criteria pre-established procedure for acceptance.

**Keywords:** *Subsea*, prototypes, organic coating, ball valves.

### **Resumo**

Motivada pelos inúmeros desafios relacionados à exploração de petróleo na região do pré-sal, onde o ambiente agressivo aliado com a grande profundidade são fatores sempre presentes, a busca por materiais alternativos para aplicações em válvulas ganhou destaque. As válvulas *subsea*, essenciais para projetos de exploração nestas áreas são consideradas um desafio ainda maior, dessa maneira, estudos e ensaios de desempenho em revestimentos anticorrosivos orgânicos nesse ambiente tornam-se necessários. O objetivo deste trabalho é avaliar o revestimento anticorrosivo orgânico ECTFE para a aplicação em válvulas industriais do tipo

<sup>a</sup>Engenheiro de Produto – GRUPO MICROMAZZA Mestrando, Eng. – PPGE3M –UFRGS

<sup>b</sup>Dr. Engenheiro Mecânico – Orientador de Mestrado PPGE3M/UFRGS

<sup>c</sup>Msc. Engenheiro Mecânico - LAMEF/UFRGS

<sup>d</sup>Dr. Engenheiro Metalúrgico - LAMEF/UFRGS

<sup>e</sup>Msc. Engenheiro Metalúrgico - LAMEF/UFRGS

<sup>f</sup>Dra. Engenheiro Química - LAMEF/UFRGS

<sup>g</sup>Engenheiro Mecânico - LAMEF/UFRGS

<sup>h</sup>Engenheiro de Produção –Mestrando, Eng. – PPGE3M –UFRGS

esfera para operações *subsea*, através da realização de ensaios em corpos de prova e em protótipos, perante as condições simuladas do ambiente agressivo na qual deverão operar. Os parâmetros de testes estabelecidos, assim como os dados monitorados pelos sensores instalados, foram coletados durante todo o período de teste. Os ensaios definidos para a avaliação do revestimento orgânico em protótipos foram: ciclos de pressão, circulação sob vazão, circulação com água arenosa e ensaios de corrosão com e sem defeito imposto no revestimento. Complementarmente, corpos de prova em escala reduzida foram submetidos a ensaio de adesão e de fadiga. Os resultados obtidos foram conclusivos e o revestimento mostrou-se resistente às condições impostas aos protótipos, uma vez que não foram detectadas descontinuidades consideradas relevantes segundo os critérios de aceitação pré-estabelecidos em procedimento.

**Palavras-chave:** *Subsea*, protótipos, revestimento orgânico, válvulas tipo esfera.

## **Introdução**

---

A recente demanda por materiais alternativos para aplicações em válvulas foi motivada pelos inúmeros desafios relacionados à exploração de petróleo e gás em campos no pré-sal e aplicações em ambientes agressivos, águas ultra-profundas e de elevada responsabilidade operacional. A utilização de materiais especiais para a fabricação de válvulas tornou-se viável, uma vez que representa uma elevada parcela do custo final ao produto, devido ao alto valor agregado presente neste tipo de aplicação.

A aplicação do revestimento anticorrosivo orgânico consiste em impor uma barreira física entre a peça a ser protegida e o meio corrosivo ou de operação do equipamento. Ao avaliar as operações de revestimento a ser aplicado em válvulas do tipo esfera, parâmetros como o desgaste, agressividade do fluido, variação dimensional, temperatura de operação são fatores fundamentais que devem ser verificados.

Para comprovar o bom desempenho e a confiabilidade do revestimento anticorrosivo orgânico em aplicações altamente agressivas e de extrema responsabilidade, um programa de teste foi estabelecido como requisito obrigatório para sua qualificação. Dentro deste escopo de qualificação, foram realizados ensaios de ciclos de pressão, circulação sob vazão, circulação com água arenosa e ensaios de corrosão com e sem defeito imposto, foram realizados em protótipos revestidos, além disso, ensaios de adesão e de fadiga também foram realizados, porém em corpos de prova em escala reduzida.

O material utilizado para o revestimento dos corpos de prova como também para os protótipos foi o ECTFE (Etileno clorotrifluoroetileno) Halar® 6614 para a camada base (*primer*) e o Halar® 6014 para as camadas de acabamento (*top coat*).

O objetivo geral é verificar e analisar se os resultados obtidos nos ensaios práticos atendem aos critérios de aceitação pré-estabelecidos para a validação do revestimento anticorrosivo orgânico ECTFE em sua aplicação *subsea*.

## Metodologia

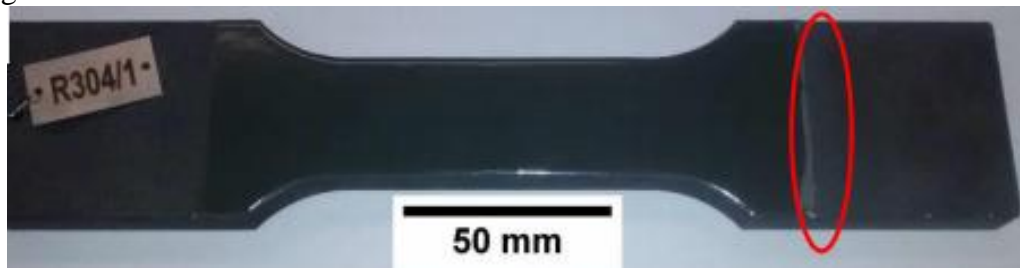
A avaliação do revestimento anticorrosivo orgânico aplicado em válvulas do tipo esfera para operações *subsea* foi realizada por meio de ensaios de laboratório. Todos os parâmetros e critérios de aceitação para os ensaios foram definidos em procedimentos específicos.

### *Ensaio de fadiga*

Para a realização do ensaio de fadiga do revestimento em escala reduzida utilizou-se um corpo de prova conforme representado na Figura 1 com dimensões normalizadas de acordo com NF A 03-401.

O revestimento orgânico foi aplicado em apenas uma das faces do corpo de prova com o propósito de monitorar o surgimento de eventuais fissuras ao longo do ensaio. A espessura de película de revestimento aplicada ao corpo de prova foi de aproximadamente 500  $\mu\text{m}$ .

Além da inspeção visual, testes de medição de espessura de acordo com a ASTM D6132 e verificação de porosidade conforme NACE RP0188 devem ser executados ao final do ensaio de fadiga.



**Figura 1: Corpo de prova de fadiga revestido.**

Os parâmetros utilizados para a realização do ensaio foram definidos conforme descritos abaixo:

- Carregamento do corpo de prova de 0 a 300 MPa (0 a 90 kN);
- Comportamento dos ciclos sinusoidal entre 2 e 90 kN;
- Frequência de 1,2 Hz;
- Número de ciclos 30.000.

### *Testes em chapas*

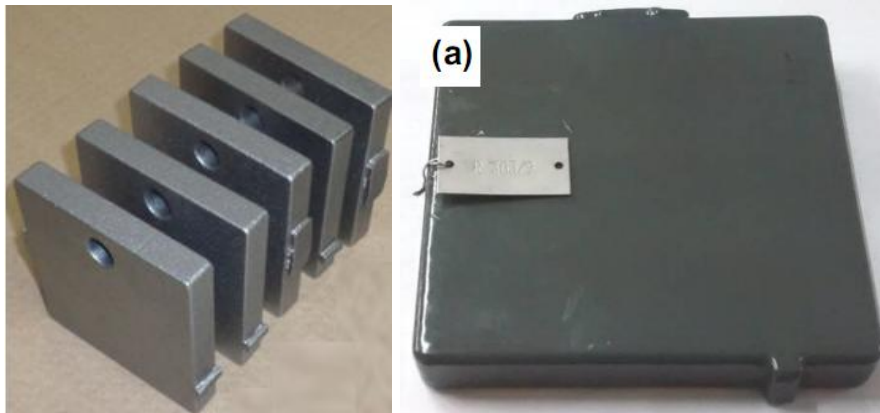
Os corpos de prova utilizados para a realização desse ensaio consistem em chapas planas com dimensões de 200 mm x 200 mm x 6 mm no material ASTM A572 ou ASTM A633 GrA conforme representados na Figura 2. As chapas foram totalmente revestidas, sendo que a espessura de camada aplicada para metade das chapas foi de  $\geq 500 \mu\text{m}$  e para outra metade a espessura igual a 1000  $\mu\text{m}$ .

Inicialmente foi realizada a medição de espessura das chapas conforme norma ISO 2808. Na sequência a verificação de eventuais discontinuidades foi realizada de acordo com a norma ASTM D5162. Por fim um ensaio de aderência de acordo com a norma ISO 4624 foi realizada para avaliar a aderência do revestimento entre o substrato e a ligação das camadas.

A avaliação de cada ensaio listado anteriormente seguiu os seguintes critérios abaixo:

- Nenhuma evidência de fissura ao longo da superfície revestida;
- Espessura de película de revestimento em conformidade;

- Ausência de falhas, poros, bolhas ao longo da superfície;
- Nível médio de ruptura para o ensaio de aderência deve ser maior que 20 MPa.



**Figura 2: Corpo de prova de adesão do tipo chapa.**

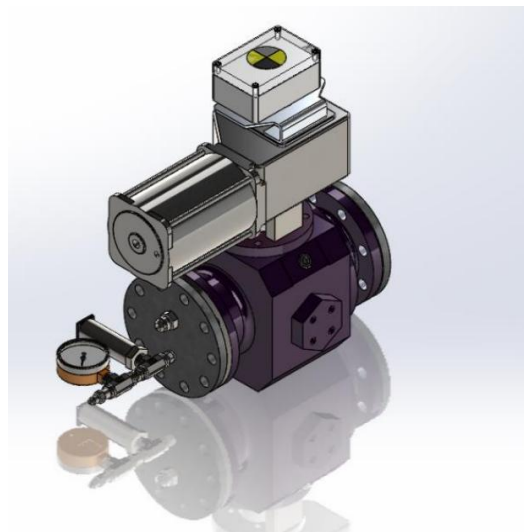
#### *Testes em válvulas tipo esfera (Protótipos).*

Para avaliar o comportamento do revestimento anticorrosivo orgânico na aplicação em válvulas tipo esfera, protótipos foram utilizados para a realização dos ensaios previstos no escopo de qualificação.

A válvula tipo esfera DN80 foi utilizada como protótipo, onde a aplicação do revestimento orgânico anticorrosivo foi realizada. Como regra geral, os componentes revestidos foram o corpo e a tampa da válvula sendo que limitadas apenas às regiões as quais estarão em contato direto com o fluido.

#### *Ciclos sobre pressão*

Os ciclos com tomadas de pressão foram realizados em um fosso de teste de explosão, a fim de serem mitigados riscos no caso de falha catastrófica do componente, com o uso de uma unidade de pressurização que estará acoplada ao orifício superior do flange da válvula conforme representado na Figura 3. O monitoramento da pressão será realizado pelo sistema de aquisição de dados constituído por uma célula de pressão conectada ao flange da válvula.



**Figura 3: Desenho tridimensional da válvula instrumentada para realizar ensaio de ciclo sobre pressão.**

A válvula permaneceu semiaberta, ou seja, com seu obturador a 45° dessa forma tomadas de pressão de 0 a 45 bar foram executadas. Os parâmetros de testes foram respeitados conforme descritos abaixo.

- Gradiente de pressurização de 5 bar/segundo;
- Despressurização de 10 bar/segundo;
- Número de ciclos 35.000.

Após finalizar os ciclos de pressão, testes de vedações e funcionalidade foram realizados com o intuito de verificar qualquer alteração no desempenho da válvula.

Em seguida, a válvula foi desmontada, e uma inspeção visual foi realizada para verificar possíveis discontinuidades ao longo do revestimento. A inspeção atendeu os requisitos estabelecidos na norma ASTM D5162 ou equivalente.

#### *Ensaio de Circulação sobre vazão*

O ensaio de circulação com alta vazão e controlada utilizou um fluido compatível com a água do mar a uma temperatura de 35°C. O sistema para a realização do ensaio consiste em um circuito fechado denominado de *Loopings* conforme ilustrado na Figura 4.



**Figura 4: Sistema de Loopings para ensaio de circulação sob vazão.**

A válvula permaneceu totalmente aberta durante a circulação do fluido, sendo que ao longo do ensaio operações de abertura e fechamento foram executadas, conforme descrito nos parâmetros de testes abaixo:

- Duração do teste, 360 horas (15 dias);
- Realizar 5 operações de aberturas e fechamentos nos dias T0, 3°, 6°, 9° e 12° dias respectivamente;
- Vazão de 100 m<sup>3</sup>/h;
- Velocidade de escoamento dependente da vazão e do diâmetro da tubulação. Para a tubulação fabricada por tubos schedule 40 de 4 polegadas, a velocidade corresponde a 3,38m/s.

As operações de abertura e fechamento da válvula foram efetuadas automaticamente com o uso de um atuador pneumático controlado por um CLP.

Ao final do ensaio, a válvula foi desmontada e uma inspeção para verificar possíveis discontinuidades ao longo do revestimento foi realizada. A mesma atendeu aos requisitos estabelecidos na norma ASTM D5162.

#### *Circulação com água arenosa*

O teste consistiu em circular água com areia nas seções durante 6 semanas com 2.500 ciclos de aberturas e fechamentos no último dia de cada semana. Os parâmetros de testes seguiram a ordem conforme descrito abaixo:

- T0: início dos testes, válvulas na posição aberta;
- T0 + 1ª semana: 2.500 operações de abre e fecha (A/F);
- Manutenção em posição aberta entre as fases de 2.500 ciclos;
- T0 + 2ª semanas: 2.500 operações de A/F;
- Manutenção em posição aberta entre as fases de 2.500 ciclos;
- Segue o mesmo procedimento até a sexta e última semana;
- Em T0 + 6 semanas, as 2.500 operações de A/F completarão os 15.000 ciclos;
- Velocidade do fluido constante na passagem pela válvula de 5 m/s;
- O looping não deve ser pressurizado.

Para este ensaio foi utilizado o mesmo sistema looping do teste de ciclo sob vazão, com pequenas alterações para atender as especificações solicitadas.

A água será carregada com areia à razão de 0,5% em massa, com uma granulometria média de areia de 200 µm.

Ao final do ensaio a válvula passou por um teste de vazamento e a taxa de perda de fluido foi avaliada. Após, a válvula foi desmontada e uma inspeção para verificar possíveis discontinuidades ao longo do revestimento foi realizada. A mesma atendeu aos requisitos estabelecidos na norma ASTM D5162.

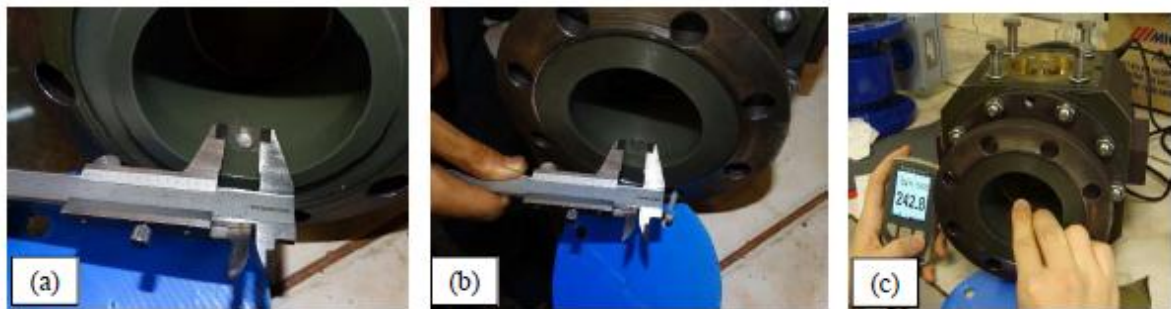
#### *Ensaio de corrosão*

Foram realizados dois ensaios de corrosão divididos em duas etapas, o primeiro teve a duração de 2 meses o qual consistiu em circular um fluido compatível com a água do mar a uma temperatura de 35C° pelas seções, com a realização de 6 ciclos de abertura e fechamento diários. O segundo realizado durante um período de 3 meses onde a circulação do fluido em apenas uma das seções foi realizada perante eminência de defeitos realizados propositalmente no protótipo.

Os defeitos pontuais sobre o revestimento orgânico Figura 5 foram produzidos na passagem da válvula um em cada extremidade da seguinte forma:

- Primeiro defeito: a jusante, descascando-se a pintura sem atingir o metal.
- Segundo defeito: a montante, remover as camadas de revestimento até a aparição do metal.

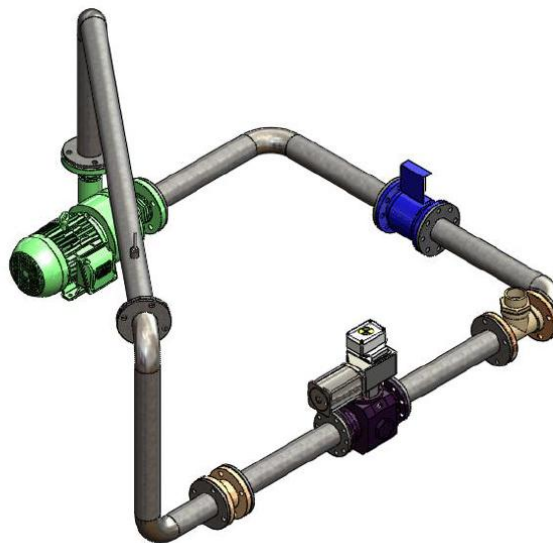




**Figura 5:** (a) defeito passante a montante da válvula; (b) defeito superficial a jusante da válvula; (c) medição de espessura remanescente no defeito superficial.

Para a realização desse ensaio foram utilizados dois sistemas de Loopings o quais os protótipos foram montados.

Em posições afastadas em 500 milímetros, tanto a jusante como a montante da válvula, foram inseridos tubos flangeados de pequeno comprimento (em forma de carretéis), fabricados a partir de polímero de engenharia (polioximetileno, conhecido como poliacetal), para promover o isolamento elétrico no sistema. Esse isolamento é necessário para medição do potencial de corrosão, conforme ilustrado na Figura 5.



**Figura 5:** Sistema de Loopings para ensaio de corrosão

O potencial de corrosão foi medido com a motobomba desligada, pois o movimento do fluido interno poderia causar interferência. Esse procedimento é realizado em relação a um eletrodo de referência inserido em uma ramificação da tubulação, localizada em um dos isolamentos poliméricos, habilitada apenas no momento da medição através de uma válvula de esfera de PVC conforme ilustrado na Figura 6. O eletrodo de referência é regularmente checado contra outro eletrodo de referência, garantindo assim a confiabilidade da medida. A corrente de corrosão entre a válvula e a tubulação deve ser medida com o fluido interno em deslocamento na sua velocidade nominal. As medições de corrosão foram realizadas com o uso de um multímetro digital.



**Figura 6: Sistema de medição de potencial**

A velocidade de circulação da água do mar deverá ser próxima de 3 m/s.

Os parâmetros a serem verificados e registrados durante o período de teste são listados abaixo.

- Medições de corrente entre os tubos e a válvula;
- Medições de potencial nas punções dos tubos;
- Medições realizadas uma vez ao dia.

Ao final do ensaio a válvula foi desmontada e uma inspeção para verificar o nível de corrosão ao longo do revestimento foi realizada.

#### *Equipamentos gerais para a realização do ensaio*

As operações de fechamento e abertura da válvula foram efetuadas por um atuador pneumático. O controle de tais operações foi realizado por um Controlador Lógico Programável (CLP). Um manômetro analógico com escala de zero a dez bar, também foi adicionado no *looping* para a verificação da variação da pressão interna durante essas operações da válvula.

A aquisição dos dados de temperatura, vazão e operações da válvula, dados de interesse do ensaio, foi realizada por um módulo de aquisição e registro de dados modelo *FieldLogger*. Este aparelho permite o acompanhamento remoto dos dados, sendo possíveis rápidas intervenções em caso de situações não programadas.

## **Resultados e discussão**

Após a realização de cada ensaio o revestimento orgânico aplicado nos corpos de prova como também nos protótipos foi avaliado e inspecionado com base nos critérios de aceitação pré-estabelecidos.

#### *Ensaio de Fadiga*

Após o ensaio de fadiga a inspeção visual no corpo de prova foi realizada, não foram observadas trincas, bolhas e/ou descolamentos no revestimento o qual foi comprovado através da verificação por meio da medição de espessura do revestimento, conforme norma ISO 2808:2007, e a presença de descontinuidades verificada com o equipamento Elcometer® 266, conforme norma ASTM D5162:2008.



### Ensaio de Adesão

O ensaio de adesão seguiu norma ASTM D4541:2009, método de teste D. Como o copolímero de teste apresenta características antiaderentes, a primeira série de ensaios destinou-se ao teste de diversos adesivos que fossem capazes de aderirem adequadamente ao revestimento, sendo assim possível medir a aderência do revestimento ao substrato.

Em todos os ensaios realizados, as falhas ocorreram nos adesivos utilizados, isto é, em nenhum dos casos houve descolamento do revestimento ou a formação de trincas e/ou bolhas. A maior tensão de arrancamento à tração alcançada foi de 13,2 MPa, portanto, nenhum adesivo utilizado foi capaz de alcançar a tensão de tração mínima exigida para esse teste antes da sua falha. A observação em lupa de baixo aumento da região deste ensaio evidencia que a falha ocorreu entre o adesivo e o pino Figura 7.

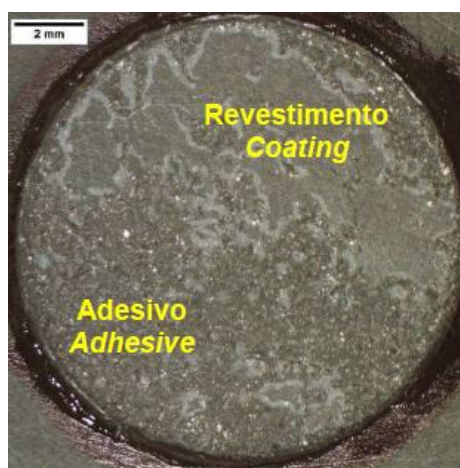


Figura 7: Amostra R 305/6 ensaiada com o adesivo Loctite®406 no dia 06/05/2015.

Devido ao baixo desempenho dos adesivos utilizados em função da propriedade de anti-aderência que o revestimento ECTFE apresenta, foram disponibilizadas amostras nas quais o pino foi inserido durante a aplicação do revestimento. Para esse teste, os pinos também foram revestidos com primer e imediatamente após as aplicações, os pinos foram inseridos nas amostras. Vale ressaltar que este procedimento não está previsto na norma ASTM D4551.

Foram testadas as amostras R 313/1, R 313/3, R 314/1 e R 314/3, e os resultados são apresentados na Tabela 1. Em todas as amostras as falhas ocorreram no primer do pino, ou seja, em nenhum caso houve arrancamento do revestimento aplicado à placa de aço carbono.

Tabela 1 - Tensão de arrancamento à tração para amostras com pino inserido.

<i>Código</i>	<i>Data</i>	<i>Resistência à tração (Mpa)</i>
R 313/1	02/06/15	30,0
R 313/3	02/06/15	28,3
R 314/1	02/06/15	23,8
R 314/3	02/06/15	28,0

Como citado anteriormente, o valor exigido para qualificar o revestimento é de 20 MPa. Todas as amostras testadas com o pino inserido no revestimento alcançaram este patamar, entretanto, deve ser enfatizado que este caso, que elimina o uso de um adesivo, não está previsto na norma ASTM D4551.

#### *Ensaio em protótipos*

Os resultados dos ensaios serão apresentados separadamente, porém os cinco testes realizados foram distribuídos em três protótipos.

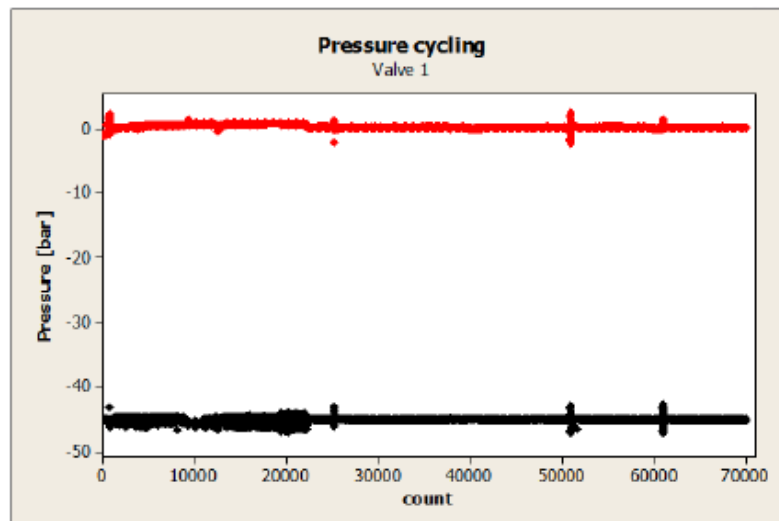
Após a desmontagem, as válvulas foram subdivididas em regiões para a realização da inspeção conforme apresentado na Figura 8. Região A: parte interna do lado jusante. Região B: canal de saída do lado jusante. Região C: lado montante com seu canal de entrada. Região D: interior do corpo da válvula.



**Figura 8: Subdivisões da válvula desmontada.**

#### *Ensaio de Ciclo de Pressão*

Os dados de pressurização e despressurização coletados ao longo do ensaio apresentaram um bom comportamento e estabilidade conforme ilustrados na Figura 9. Os valores negativos, pontos pretos, indicam que o fluido de ensaio está sob compressão, ou seja, a válvula pressurizada.



**Figura 9: Gráfico de cilagem sobre pressão.**

Foram realizados testes de vazamento em ambos os lados da válvula. Os resultados obtidos foram satisfatórios a válvula não apresentou vazamentos.

Ao final do ensaio, a válvula 1 foi desmontada e o revestimento inspecionado. Possíveis descontinuidades no revestimento foram avaliadas conforme norma ASTM D5162:2008. A espessura do revestimento também foi verificada conforme norma ISO 2808:2007.

Em cada região, foram realizadas cinco verificações de espessura em pontos aleatórios do revestimento, e sua média foi calculada (Tabela 2). A medição de espessura do revestimento é utilizada como parâmetro de ajuste para verificação das descontinuidades.

**Tabela 2: Parâmetros utilizados para inspeção da válvula V1 no seu primeiro ensaio e resultados.**

<i>Região</i>	<i>Espessura(<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Desvio padrão (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Tensão(KV)</i>	<i>Corrente(<math>\mu\text{A}</math>)</i>	<i>Falha</i>
A	557,4	14,10	2,7	20	NÃO
B	504,6	17,98	2,7	20	NÃO
C	676,6	85,95	3,3	20	NÃO
D	592,3	51,40	2,7	20	NÃO

Em nenhuma região foram encontrados defeitos no revestimento. Depois dessa análise, a válvula foi encaminhada para remontagem e testes de validação para prosseguir com o próximo ensaio proposto à válvula 1: Ensaio de Circulação em Água com Areia com Testes de Vazamento.

#### *Ensaio de Circulação com água arenosa*

Ao finalizar o ensaio de circulação com água arenosa procedeu-se o teste de vazamento o qual apontou um valor de 100 ml por minuto, ou seja, um valor considerado elevado.

O ensaio de vazamento tem como objetivo avaliar a funcionalidade da válvula após o ensaio, porém independentemente da falha no material metálico, procedeu-se a desmontagem da válvula para avaliar as condições do revestimento orgânico sendo esse o objetivo principal.

A verificação de possíveis descontinuidades foi realizada conforme norma ASTM D5162:2008, e a espessura do revestimento conforme norma ISO 2808:2007. Dessa forma conforme parâmetros apresentados na Tabela 3 foi possível concluir que nenhuma região apresentou defeitos no revestimento.

**Tabela 3: Parâmetros utilizados na inspeção da válvula V1 no seu segundo ensaio.**

<i>Região</i>	<i>Espessura(<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Desvio padrão (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Tensão(KV)</i>	<i>Corrente(<math>\mu\text{A}</math>)</i>	<i>Falha</i>
A	559,6	11,97	2,7	20	NÃO
B	474,6	22,66	2,7	20	NÃO
C	557,7	57,88	2,7	20	NÃO
D	683,7	83,19	3,3	20	NÃO

#### *Ensaio de corrosão com defeitos*

O teste foi realizado com a válvula V2. Como o sistema era composto por diversos materiais com comportamentos eletroquímicos distintos (tubulação galvanizada, rotor da motobomba de bronze, carcaça da motobomba em ferro fundido, esfera da válvula em aço etc.), a medida

do potencial representa um potencial misto gerado pela interação destes materiais com o eletrólito usado, isto é, água do mar sintética.

A Figura 10 apresenta os gráficos gerados a partir da medição diária do potencial e o valor da corrente medida durante o ensaio.

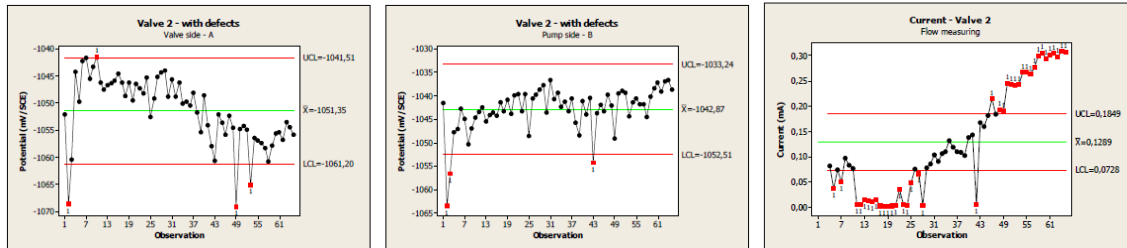


Figura 10: Potencial e Corrente medido nos trechos A e B do looping contendo a válvula com defeitos.

A inspeção de corrosão foi feita via correntes parasitas, com frequência da análise de 100 kHz, ganho de 35 dB e ângulo de fase de 35°. Não foram detectados avanços nos defeitos impostos propositalmente antes do início do ensaio conforme ilustrado na Figura 11.

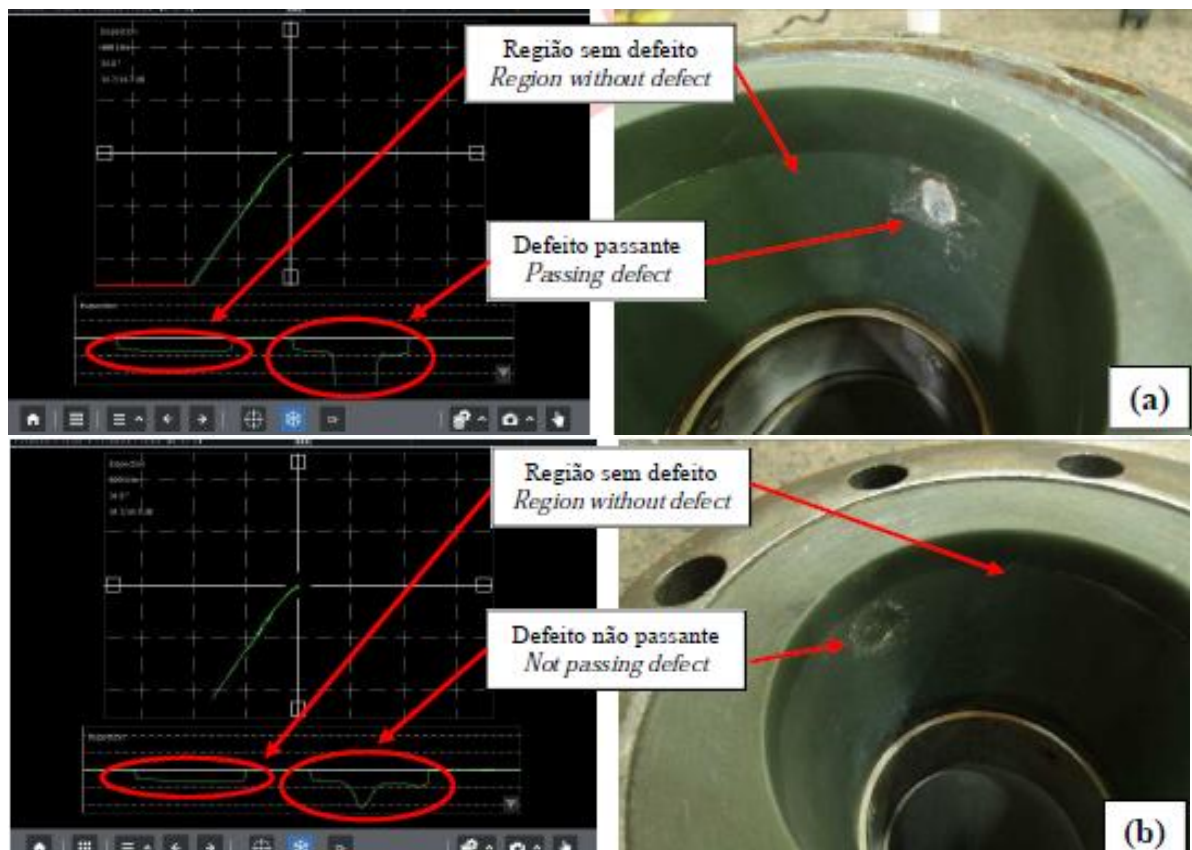


Figura 11: Indicação do equipamento de inspeção por correntes parasitas e válvula 2 após ensaio de corrosão. (a) região a montante; (b) região a jusante.

No entanto, foi observada uma considerável área com descolamento e / ou formação de bolhas no revestimento interno da região D (Figura 12). Nessa etapa da verificação, outros

parâmetros do equipamento de inspeção foram utilizados: frequência da análise de 100 kHz, ganho de 33,7 dB e ângulo de fase de 1,9°, sem afetar a qualidade da medição.



Figura 12: Defeitos por descolamento e/ou bolhas na parede interna do corpo da válvula 2.

#### *Ensaio de circulação sob vazão*

Primeiro ensaio realizado com a válvula V3. Em nenhuma região foram encontrados defeitos no revestimento conforme apresentados na Tabela 4. Depois dessa análise, a válvula 3 foi remontada e testes de validação foram realizados para que ela fosse encaminhada para realizar o seu próximo ensaio proposto: ensaio de corrosão com válvula sem defeitos iniciais.

**Tabela 4: Parâmetros utilizados para inspeção da válvula V3.**

<i>Região</i>	<i>Espessura(μm)</i>	<i>Desvio padrão (μm)</i>	<i>Tensão(KV)</i>	<i>Corrente(μA)</i>	<i>Falha</i>
A	524,3	14,76	2,7	20	NÃO
	524,3	14,76	2,7	20	
B	491,4	39,83	2,7	20	NÃO
	491,4	39,83	2,7	20	
C	515,6	126,2	2,7	20	NÃO
	515,6	126,2	2,7	20	
D	535,4	60,60	3,3	20	NÃO
	535,4	60,60	2,7	20	

#### *Ensaio de corrosão sem defeitos*

A forma de medição do potencial e da corrente de corrosão segue o mesmo princípio utilizado no ensaio de corrosão com defeito. A Figura 13 apresenta os gráficos gerados a partir da medição diária do potencial e o valor da corrente medida durante o ensaio.



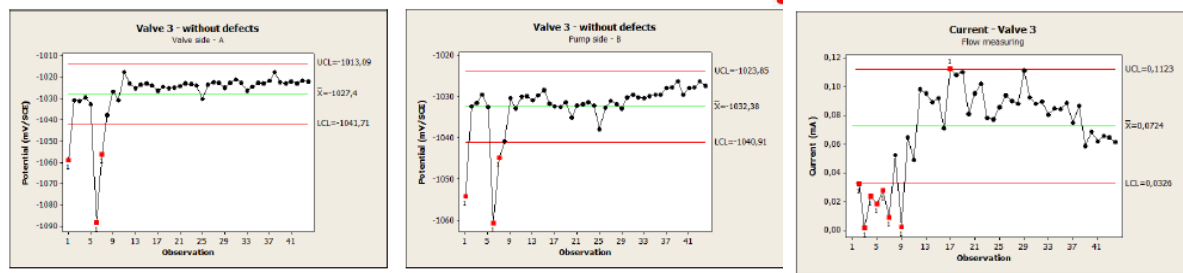


Figura 13: Potencial e Corrente medido nos trechos A e B do looping 2.

A inspeção de corrosão foi feita via correntes parasitas conforme ilustrado na Figura 13, com frequência da análise de 100 kHz, ganho de 33,7 dB e ângulo de fase de 1,9° (Figura 14). Não foram detectados defeitos que expusessem o substrato (descontinuidades) ou que apresentassem uma considerável perda de espessura.



Figura 14 - Inspeção da válvula V3 via correntes parasitas.

No entanto, foi observada uma grande área com descolamento e / ou formação de bolhas no revestimento interno da região D. Também foi verificado o descolamento na aresta interior da mesma região (Figura 15).

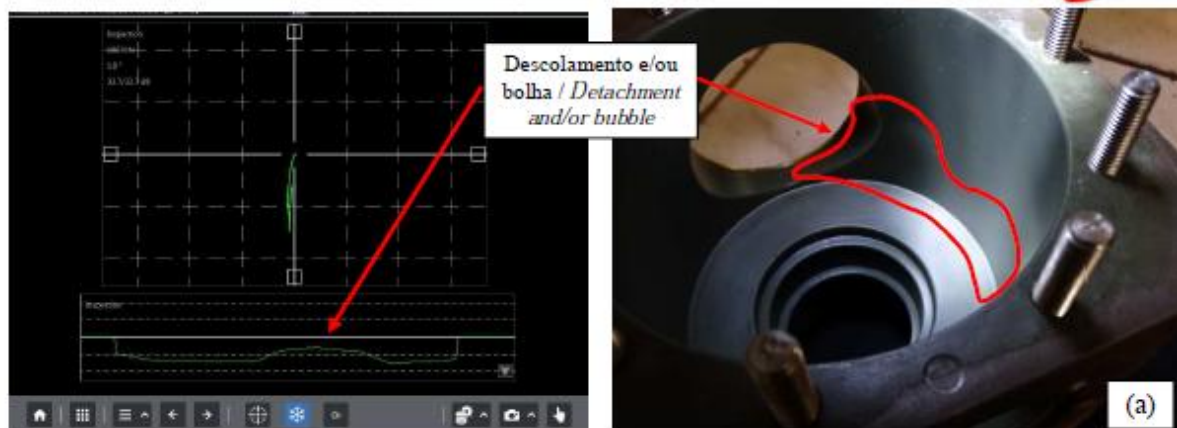


Figura 15: Defeitos por descolamento e/ou bolhas na válvula V3 após ensaio de corrosão. (a) na parede interna do corpo da válvula;

## Conclusões

---

Ao finalizar os ensaios propostos para avaliar o comportamento do revestimento anticorrosivo orgânico ECTFE em aplicações em válvulas *subsea* foi possível concluir que o revestimento possui a capacidade de suportar condições de aplicação com elevado grau de agressividade e apresentar um ótimo comportamento ao longo de um determinado período sem interferências, além de manter sua integridade sem afetar a funcionalidade do equipamento a qual foi aplicado.

Os problemas de deslocamento que foram detectados no final dos ensaios de corrosão com e sem defeito foram analisados separadamente pela equipe envolvida no processo de aplicação. No entanto os resultados obtidos em todos os ensaios realizados foram considerados satisfatórios segundo os critérios de aceitação pré-estabelecidos em procedimentos.

Os parâmetros de ensaio e de aceitação para avaliar o desempenho do revestimento foram obtidos com base em testes previamente realizados em outro tipo de revestimento, sendo esse o padrão utilizado para equipamentos *subsea* que já estão em operação a um longo período de tempo sem apresentarem maiores problemas.

Perante os resultados obtidos a aplicação do revestimento anticorrosivo orgânico em válvulas do tipo esfera para operações *subsea* torna-se uma alternativa viável e garantida devido sua elevada resistência em relação condições de operação que envolve esse ambiente altamente hostil.

Ao obter resultado positivo na avaliação do revestimento orgânico ECTFE, inúmeras são as vantagens, devido a existência de um setor totalmente pronto e aprovado por empresas petrolíferas para a aplicação desse produto.

Por fim vale salientar que o bom comportamento do revestimento em qualquer aplicação depende fundamentalmente de um controle rigoroso de todo o processo de aplicação como também da realização de todos os ensaios de qualificação realizados ao longo e ao final do processo, que são garantias da qualidade do revestimento aplicado.

---

**Referências bibliográficas**

---

1. D-SMA/ING/SPF/TCNA-14-00047 – Programa de qualificação do revestimento HALAR® /Qualification program for HALAR® coating;
2. MATHIAS, A. C. *.Válvulas: Industriais, segurança, controle: tipos, seleção, dimensionamento*. São Paulo : Artliber Editora, 2008.
3. COOLEY, D. C., & SACCHETTO, L. P. *.Válvulas industriais: teoria e prática*. Rio de Janeiro : Interciência Ltda, 1986.
4. ASTM D4541.*Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*. s.l. :ASTM, 2009.
5. GEM-PE-007 – Revisão 02 / Review 02 – Ensaio de Fadiga Axial / Axial Fatigue Test;
6. ASTM D5162:2008 – Standard Practice for Discontinuity (Holiday) Testing of Nonconductive protective Coating on Metallic Substrates;
7. ISO 2808:2007 – Paints and varnishes – Determination of film thickness;
8. ASTM D1141:2013 – Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water.
9. METALCOATING. *Soluções anticorrosivas para a indústria de óleo & gás*. Folheto de divulgação.
10. Halar® ECTFE.*Typical properties*. s.l. : Solvay Solexis, 2006.
11. ET-940-PEN-006.*Revestimento interno anticorrosivo para válvulas*. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2011. Especificação Técnica (Revisão C).