

7ª COTEQ

CONFERÊNCIA SOBRE  
TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS09-12/SETEMBRO  
2003

FLORIANÓPOLIS • SANTA CATARINA

PRODUÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA  
DO IPEN  
DEVOLVER NO BALCÃO DE  
EMPRESTIMO

Renato

OK

COTEQ138\_03 (a)

## AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE PINTURA DE POLIURETANO POR MEIO DE ENSAIOS ACELERADOS DE CORROSÃO E ENSAIOS DE INTEMPERISMO

Renato A. Antunes<sup>1</sup>; Isolda Costa<sup>2</sup> (b)

Copyright 2003, 7ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na 7ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, realizada no período de 09 a 12 de Setembro de 2003, em Florianópolis - SC. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pela Comissão Técnica do Evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelos patrocinadores do 7 COTEQ. *Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos.* O material, conforme apresentado, não necessariamente reflete as opiniões das Associações envolvidas, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da 7ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos.

### Abstract

The atmospheric corrosion of a polyurethane coating on carbon steel has been evaluated. Two accelerated tests were performed. The first one comprised exposure to alternating cycles of ultraviolet radiation and condensation combined with exposure to salt spray test, according to ASTM B-117. The second one comprised exposure to alternating cycles of ultraviolet radiation and condensation combined with exposure to fog/dry cycles in a Prohesion chamber, according to ASTM D-5894. Three field tests were carried out in urban, industrial and humid atmospheres for nine months. The results showed poor corrosion resistance for the coupons exposed to the accelerated test that comprised the ASTM B-117 test. Better correlation with natural weathering was observed for the specimens exposed to the accelerated test based on the ASTM D-5894 standard.

### Resumo

A corrosão atmosférica de um revestimento de poliuretano sobre aço carbono foi avaliada. Dois ensaios acelerados foram realizados. O primeiro consistiu na exposição a ciclos alternados de radiação ultravioleta e condensação combinados com exposição ao ensaio de névoa salina, de acordo com a norma ASTM B-117. O segundo consistiu na exposição a ciclos alternados de radiação ultravioleta e condensação combinados com exposição a ciclos de umidificação e secagem, em uma câmara Prohesion, de acordo com a norma ASTM D-5894. Três ensaios de campo foram realizados em atmosferas urbana, industrial e úmida, por nove meses. Os resultados indicaram baixa resistência à corrosão para as amostras expostas ao ensaio acelerado que consistiu do teste ASTM B-117. Melhor correlação com exposição real foi observada para as amostras expostas ao ensaio acelerado baseado na norma ASTM D-5894.

**Palavra-chave:** poliuretano; corrosão atmosférica; ensaios acelerados

<sup>1</sup> Mestre, Engenheiro de Materiais – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/SP)

<sup>2</sup> PHD, Pesquisadora – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/SP)

## Introdução

A pintura é um método de proteção muito importante contra a corrosão de aços. Para aplicações industriais, a durabilidade de um sistema de pintura representa uma posição econômica essencial. Um dos sistemas de pintura mais difundidos compreende o uso de tinta de poliuretano. A avaliação da eficiência de um revestimento anticorrosivo, do ponto de vista industrial, precisa ser realizada com a maior velocidade possível. Neste ponto, os ensaios acelerados de corrosão desempenham um papel estratégico, possibilitando a avaliação de um sistema de pintura em tempos curtos, quando comparados a ensaios de intemperismo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência à corrosão de um sistema de pintura de poliuretano por meio de ensaios acelerados de corrosão, comparando estes resultados com ensaios de intemperismo, em três atmosferas distintas, por períodos de nove meses.

## Experimental

A composição química do aço carbono utilizado é dada na tabela 1. A análise foi realizada segundo a norma NGP 360006, num equipamento ICP Optima 3000DV/ Leco Cs444. Os corpos-de-prova são placas de dimensões 150mm x 100mm. Para a realização dos ensaios acelerados, as dimensões eram de 150mm x 75mm.

Tabela 1 – Composição química do aço carbono utilizado.

Teor (% em peso)							
C	S	Al	Cu	Mn	P	Si	Cr
0,037	0,009	0,062	<0,005	0,27	0,020	0,011	<0,005

O sistema de pintura utilizado é um poliuretano acrílico-alifático, formulado especialmente para aplicação direta sobre superfície de aço galvanizado, alumínio e aço carbono. No sistema usado, não há tinta de fundo, sendo ele próprio fundo e acabamento. Foram aplicadas duas demãos. A espessura final da camada de tinta estava na faixa de 70 a 80 micrometros. Antes da aplicação da tinta, os corpos-de-prova foram desengraxados e jateados (padrão de acabamento Sa 2 ½). O revestimento foi aplicado com pistola de ar comprimido.

Foram realizados três ensaios de campo, em três locais distintos: em Cubatão-SP, na COSIPA (atmosfera industrial), também em Cubatão-SP, no Alto da Serra (região de umidade elevada) em uma área pertencente à Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE) e no centro da cidade de São Paulo, na sede da Empresa Paulista de Transmissão de Energia Elétrica (EPTE), na rua Paula Souza (atmosfera urbana). A exposição dos corpos-de-prova foi realizada conforme a norma ASTM G50-76<sup>1</sup>. Foram utilizados três corpos-de-prova, sendo dois com incisão e um sem. A incisão tem um comprimento pouco menor que 7 cm e foi feita verticalmente nos corpos-de-prova, de modo a simular uma falha no revestimento.

Um dos ensaios acelerados foi baseado na norma ASTM D 5894-96<sup>2</sup>, consistindo na exposição ao ciclo Prohesion combinado com ciclos de exposição à luz ultravioleta e condensação, numa câmara UVCON. O corpo-de-prova permaneceu 7 dias em cada câmara de ensaio, num total de 170 horas em cada uma, aproximadamente. A duração do ensaio foi de 1340 horas ou 4 ciclos. O outro ensaio acelerado envolveu a exposição a ciclos de luz ultravioleta e condensação combinados com exposição a ciclos de névoa contínua, numa câmara de Névoa Salina, segundo a norma ASTM B-117<sup>3</sup>, seguindo a mesma metodologia anterior.

## Resultados e Discussões

Os corpos-de-prova passaram por um conjunto de avaliações, tendo como base as seguintes normas: ASTM D 610-95<sup>4</sup>, ASTM D 714-87<sup>5</sup> e ASTM D 1654-92<sup>6</sup>. Este método permitiu considerar as seguintes características: (a) grau de empolamento, levando em consideração o tamanho e frequência de bolhas (ASTM D 610-95), (b) extensão de ferrugem sobre a superfície dos corpos-de-prova, na região da incisão ou "rust through" (ASTM D 714-87) e (c) corrosão sob o revestimento ou "undercutting" (ASTM D 1654-92). Cada um destes itens forneceu uma nota para o corpo-de-prova. A soma de todas as notas gerou um índice de desempenho global, permitindo classificar o sistema de revestimento em relação à proteção conferida ao substrato metálico, em cada um dos ensaios realizados. Um método semelhante ao aqui adotado foi anteriormente utilizado por Simpson et al<sup>7</sup> e Assis<sup>8</sup>.

Em relação ao grau de empolamento da superfície, foram adotados os seguintes valores para a classificação do tamanho de bolhas: 10 para ausência de bolhas; 8 para bolhas pequenas; 6, 4 e 2 para bolhas progressivamente maiores. No caso da frequência de bolhas, foram adotados os valores 10, 8, 6 e 4, indicando variação progressiva de menor para maior frequência.

Para avaliar a extensão de ferrugem sobre a superfície dos corpos-de-prova, próximo à região da incisão, foi adotada uma escala de 0 a 10. A nota "10" foi atribuída para os corpos-de-prova em que menos que 0,01% da região ao redor da incisão estava danificada e a nota "0" no caso em que aproximadamente 100% da região ao redor da incisão estava danificada.

A corrosão sob o revestimento ("undercutting") foi avaliada de um modo semelhante: foi utilizada uma escala de 0 a 10, para os extremos inferior e superior, respectivamente, ou seja, 0 para o corpo-de-prova mais danificado e 10 para o mais conservado. Na tabela 2, são mostrados os índices de desempenho global obtidos para os corpos-de-prova expostos em cada uma das estações atmosféricas.

Tabela 2 – Índice de desempenho global nas três estações atmosféricas

Característica avaliada	COSIPA	Alto da Serra	Paula Souza	UVCON/ Prohesion	UVCON/ Névoa Salina
Empolamento/tamanho	8	8	10	10	8
Empolamento/frequência	8	6	10	10	8
Extensão da ferrugem	6	8	8	6	2
Corrosão sob revestimento	3	6	10	8	3
Índice de desempenho global	25	28	38	34	21

Entre os três ensaios de campo realizados, o mais agressivo, conferindo os valores mais baixos de índice de desempenho global, foi o da estação da COSIPA. Na estação Paula Souza, foram obtidos os valores mais elevados, sugerindo uma baixa agressividade da atmosfera, em relação à COSIPA. No Alto da Serra, foram obtidos valores intermediários entre os da COSIPA e de Paula Souza.

Os valores mais baixos para o índice de desempenho global foram obtidos para os corpos-de-prova submetidos ao ensaio acelerado UVCON alternado com Névoa Salina. O ensaio UVCON alternado com Prohesion produziu valores elevados para o índice de desempenho global, equivalentes aos obtidos para o ensaio de campo na estação Paula Souza. Esta diferença entre os resultados obtidos com os dois ensaios acelerados pode ser atribuída ao ciclo de ensaio na

câmara de Névoa Salina, cuja atmosfera é significativamente mais agressiva, contendo um teor de NaCl bem mais elevado do que o ensaio Prohesion (5% na Névoa Salina contra 0,05%, no Prohesion).

Na figura 1, são mostradas fotos tiradas de corpos-de-prova ao final de cada um dos ensaios realizados.

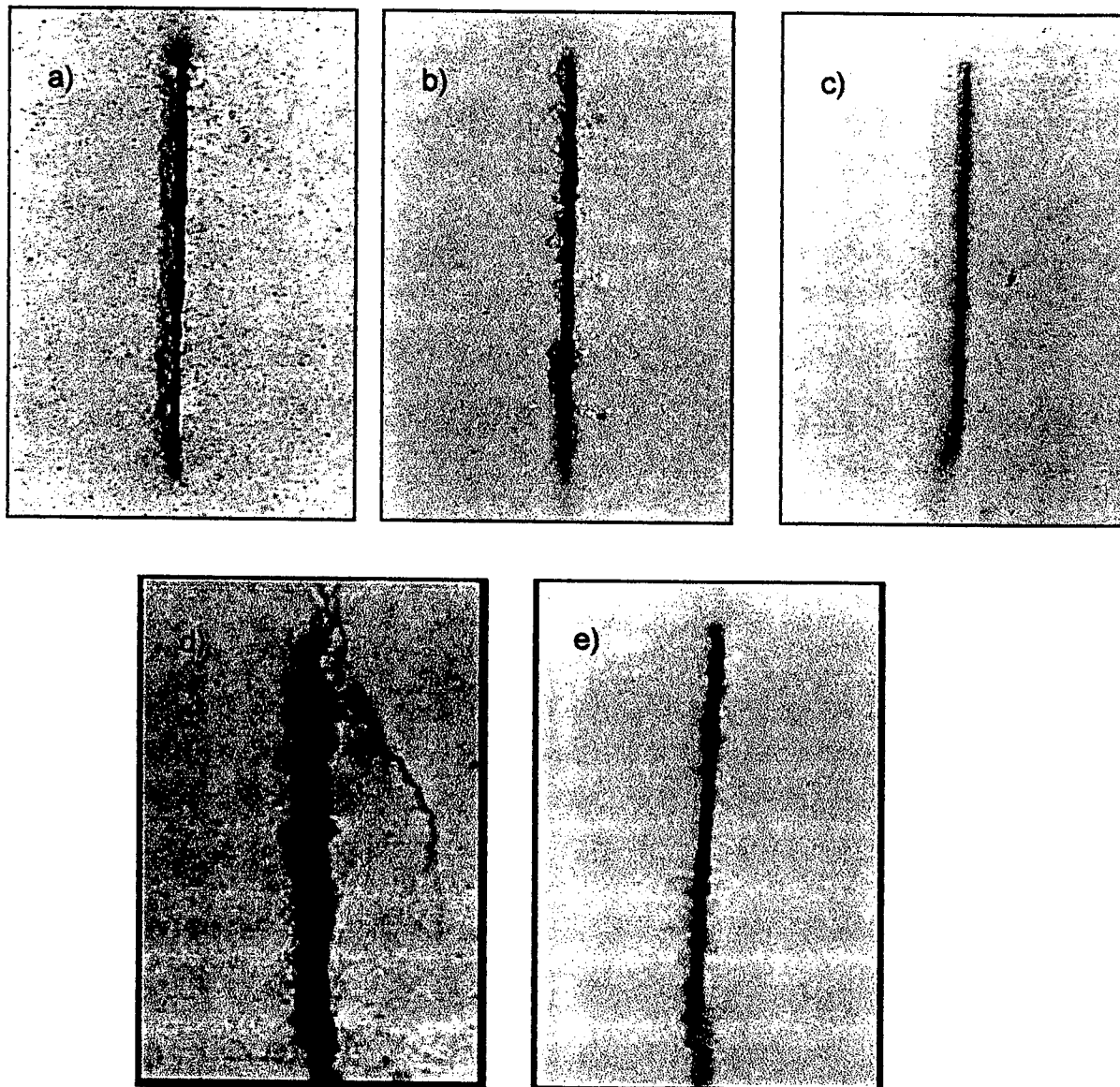


Figura 1 – Corpos-de-prova expostos por nove meses nas estações: a) COSIPA, b) Alto da Serra, c) Paula Souza 1 por 1340 horas nos ensaios acelerados d) UVCON/Névoa Salina e e) UVCON/Prohesion.

Pode-se observar que os corpos-de-prova expostos na estação COSIPA apresentaram uma elevada concentração de produtos de corrosão, na região da incisão, tendo-se constatado também a presença de pequenas bolhas nesta região. Houve corrosão sob o revestimento, mostrando elevação da camada de tinta, em toda a região da incisão. Entre os três ensaios de campo, o da COSIPA foi o mais agressivo, o que pode ser atribuído à atmosfera industrial do local.

Na estação do Alto da Serra, houve formação de produtos de corrosão, na região da incisão, em quantidade comparável ao corpo-de-prova exposto na estação COSIPA. Estes produtos mostraram-se pouco aderentes. Foram observadas muitas bolhas pequenas, próximas à incisão. Em relação à COSIPA, a corrosão sob o revestimento foi menos acentuada. O desempenho do sistema de pintura não foi satisfatório nesta estação.

Os corpos-de-prova expostos na estação Paula Souza apresentaram uma pequena quantidade de produtos de corrosão na incisão. Não foi constatada a presença de bolhas. O sistema de pintura, entre as três atmosferas de teste, teve melhor desempenho na estação Paula Souza. Sua baixa agressividade, evidenciada pelos valores de índice de desempenho global (tabela 2) e pela avaliação visual dos corpos-de-prova (figura 1), é diretamente responsável por este fato.

Os corpos-de-prova submetidos ao ensaio acelerado UVCON/Névoa Salina apresentaram uma elevada concentração de produtos de corrosão solúveis ou pouco aderentes, na região da incisão. Não foi constatada a presença de bolhas de dimensões significativas ou de corrosão filiforme, ao final do ensaio. A evolução do processo de degradação é mostrada na figura 2. Nota-se a elevada degradação do revestimento, decorrente, sobretudo, da agressividade do ensaio de Névoa Salina. No caso do ensaio UVCON/Prohesion, foram observados produtos de corrosão solúveis ou pouco aderentes, na região da incisão, porém em quantidade muito inferior à formada no caso do ensaio UVCON/Névoa Salina. Não foi constatada a presença de bolhas, até o final do ensaio. A degradação do sistema não foi severa. A evolução do processo de degradação é mostrada na figura 3.

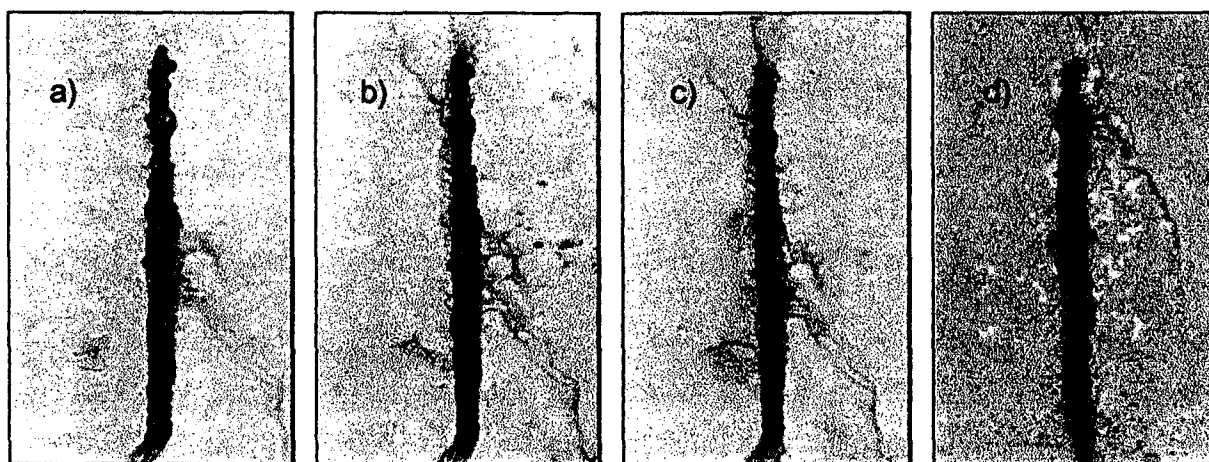


Figura 2 - Corpos-de-prova após: (a) 168h UVCON + 168h Névoa Salina, (b) 336h UVCON + 336h Névoa Salina, (c) 504h UVCON + 504h Névoa Salina, (d) 676h UVCON + 676h Névoa Salina.

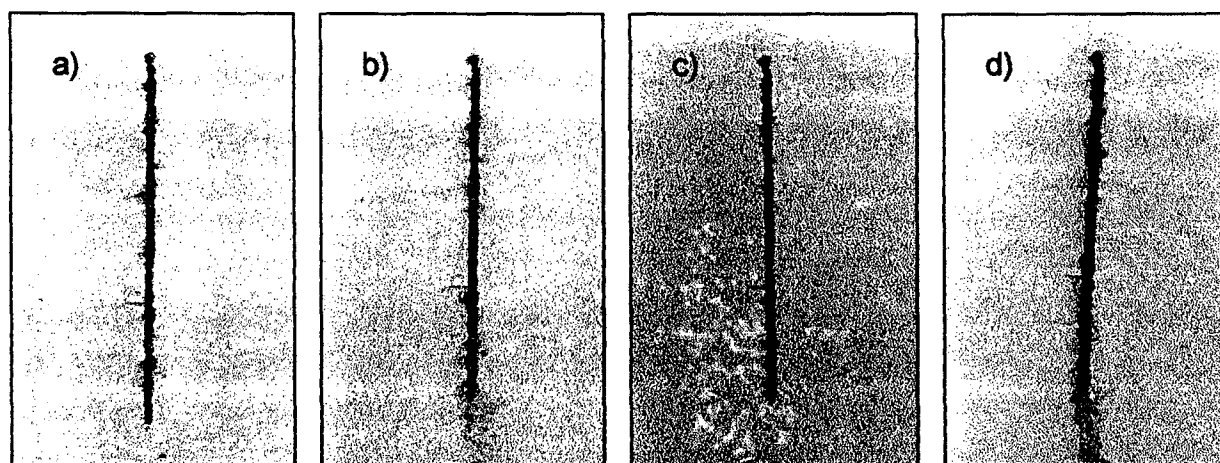


Figura 3 - Corpos-de-prova após: (a) 168h UVCON + 168h Prohesion, (b) 336h UVCON + 336h Prohesion, (c) 504h UVCON + 504h Prohesion, (d) 676h UVCON + 676h Prohesion.

Um fator importante para a proteção anticorrosiva proporcionada por sistemas de revestimentos é o efeito barreira da camada de tinta. Por isto, a espessura desta camada pode conferir maior ou menor proteção ao substrato metálico. Levando este fator em consideração, neste trabalho, a

espessura de camada seca do sistema poliuretânico foi de 70 a 80 micrometros. Esse valor pode ser considerado baixo para uma aplicação em ambientes agressivos. Este deve ser o motivo principal do mau desempenho do sistema, nas atmosferas mais agressivas. Seguiu-se, no entanto, recomendação da ficha técnica do fabricante, em relação à espessura da camada de tinta aplicada. Fragata et al.<sup>9</sup>, trabalhando com diversos sistemas de revestimentos, entre eles um constituído de epóxi (fundo) e poliuretano alifático (acabamento), obtiveram resultados semelhantes, em relação à resistência à corrosão do sistema poliuretânico. A baixa resistência à corrosão na incisão foi explicada como uma característica intrínseca deste tipo de revestimento. Neste trabalho, essa tendência foi confirmada.

Outro ponto a ser considerado, em relação ao sistema poliuretânico é que a formação da película de revestimento é gerada pela reação de grupos isocianato com grupos hidroxila. Quanto maior o número de grupos hidroxila existentes no polioli (grupo molecular da resina poliuretânica), que constitui o endurecedor, maior é o grau de reticulação, podendo levar à formação de películas pouco flexíveis<sup>10</sup>. Morcillo e Simancas<sup>11</sup> também avaliaram um sistema poliuretânico, sob condições de exposição a atmosferas rural, urbana e industrial, tendo verificado baixo desempenho para o sistema, em todos os ambientes de ensaio.

### **Conclusões**

---

O sistema poliuretânico não apresentou bom desempenho nos testes realizados neste trabalho, tanto em laboratório quanto em campo. Nas atmosferas mais agressivas houve elevada concentração de produtos de corrosão na região da incisão e também de pequenas bolhas. Mesmo nos ensaios menos agressivos (ensaio de campo na estação Paula Souza e ensaio acelerado UVCON alternado com Prohesion) houve degradação do revestimento, próximo à região da incisão.

Apesar da baixa resistência à corrosão na região de incisão, é preciso ser criterioso na escolha de um determinado sistema de pintura. Deve-se considerar as qualidades do sistema poliuretânico em relação a fatores como resistência à abrasão e resistência química ao ambiente de trabalho. Para determinadas aplicações, estas características podem ser mais relevantes do que a resistência à degradação na incisão, o que não inviabilizaria o uso do sistema poliuretânico. No caso específico deste trabalho, é preciso, ainda, considerar a espessura do sistema, a qual pode ter contribuído para seu desempenho insatisfatório.

### **Agradecimentos**

---

Os autores agradecem à FAPESP pelo auxílio financeiro proporcionado para a execução deste trabalho (Processo n°. 2000/07091-1).

### **Referências**

---

1. American Society for Testing and Materials, Standard Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals, Aug. 27, 1976. (ASTM G50-76). In: 2001 Annual Book of ASTM Standards. pp. 206-210.
2. American Society for Testing and Materials, ASTM 5894-96
3. American Society for Testing and Materials, Methods of Salt Spray (Fog) Testing, March 29, 1973, (ASTM B-117). In: 1973 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.02, pp. 1-12.
4. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces, Sept. 15, 1995. (ASTM D 610-95). In: 2001 Annual Book of ASTM Standards, pp. 13-15.

5. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints, May 29, 1987. (ASTM D 714-87). In: 2001 Annual Book of ASTM Standards, pp. 63-67.
6. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments, Oct. 15, 1992. (ASTM D 1654-92). In: 2001 Annual Book of ASTM Standards, pp. 202-204.
7. C. H. Simpson, C. J. Ray and B. S. Skerry, Journal of Protective Coatings & Linings, Vol. 8, No. 5, pp.27-36, 1991.
8. Assis, S. L., São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen - SP), 2000.
9. Fragata F., Almeida E., Herrera F., Corvo F., Simancas J., Rivero, S. and Rincon, O., 14th International Corrosion Congress (ICC). Cape Town, South Africa 26 Sept.-1 Oct. 1999.
10. Dulcínea Santos e Elisabete Almeida; Corr. e Proteção de Mat.; vol. 16, nº1, pp. 23-32, 1997.
11. Morcillo, M. and Simancas, J., Journal of Protective Coatings and Linings, Vol. 14, No. 9, pp. 40-52, 1997.