

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).

Resistência à corrosão de aços revestidos com zinco submetidos ao teste em câmara de névoa salina

Egnalda Pereira da Silva Pimenta^a, Sandra Goulart-Santos^b

Abstract

In the corrosion process of galvanized steel in dry atmosphere, if the metallic coating is damaged, it corrodes preferentially to the steel substrate forming zinc oxide. In the presence of moisture, this oxide is converted into zinc hydroxide. The zinc hydroxide and zinc oxide react with the carbon dioxide present in the air to form zinc carbonate, which is adherent to the surface, relatively insoluble and responsible for the excellent corrosion protection provided by the galvanized coatings. The presence of chloride ions in the atmosphere affects the zinc carbonate formation, and therefore decreases the anticorrosion performance of the coatings. The salt spray test is very aggressive and scarcely representative of real situations of service, but although this is widely used as materials evaluation criteria. The low representativeness of this test is due the fact of the steel surface remains constantly wet and in contact with a large amount of chloride ions. Under these conditions, soluble salts containing chloride are formed which are easily removed from the surface by the condensed mist. Thus, the protective layer is not formed, and this will be demonstrated in this study using accelerated and non accelerated corrosion tests.

Keywords: galvanized steel, salt spray test, cyclic test, zinc coating, corrosion.

Resumo

No processo de corrosão dos aços galvanizados em atmosfera seca, se o revestimento metálico é danificado, este corrói preferencialmente ao substrato de aço formando o óxido de zinco. Na presença de umidade, este óxido é convertido em hidróxido de zinco que reage com o dióxido de carbono presente no ar para formar o carbonato de zinco, que é aderente a superfície, relativamente insolúvel e o responsável pela excelente proteção anticorrosiva proporcionada pelos revestimentos galvanizados. A presença de íons cloreto na atmosfera prejudica a formação do carbonato de zinco e, por consequência, diminui o desempenho anticorrosivo dos revestimentos. Apesar do teste de névoa salina ser muito agressivo e pouco representativo de situações reais de serviço, é bastante utilizado como critério de avaliação de materiais. A baixa representatividade desse teste se deve ao fato de a superfície do aço permanecer constantemente úmida e em contato com uma grande quantidade de íons cloretos. Nessas condições, sais solúveis contendo cloreto são formados e, em conjunto com a camada protetora do revestimento, são removidos da superfície pela névoa condensada. Porém, esses problemas não são observados em testes de campo e acelerados cíclicos de corrosão, o que será demonstrado nesse trabalho.

Palavras-chaves: aço galvanizado, teste em névoa salina, teste cíclico, revestimento de zinco, corrosão.

^a Mestre em Engenharia Química, Pesquisadora Especialista - USIMINAS

^b Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Pesquisadora Plena - USIMINAS

Introdução

O propósito dos testes acelerados de corrosão é simular, em laboratório, o desempenho em serviço de um material de modo a fornecer informações para que seja possível o desenvolvimento rápido de novos produtos ou processos. O teste acelerado mais antigo é o em névoa salina, utilizado desde 1914 e padronizado pela ASTM em 1939, na norma ASTM B 117 (1,2). O teste consiste na pulverização contínua, sobre as amostras a serem avaliadas, de uma solução de cloreto de sódio (NaCl) a 5% p/v em uma câmara com temperatura a 35°C (1,3). Atualmente, existe um consenso entre o mundo acadêmico e o industrial de que os resultados de exposição a esse teste, frequentemente, apresentam baixa correlação com os obtidos em exposições reais durante a vida em serviço de um equipamento ou estrutura (2,4,5). Na tentativa de melhorar a representatividade do teste em névoa salina, muitas modificações foram feitas ao longo dos anos, como as apresentadas na norma ASTM G85 (6). No entanto, o teste ASTM B 117 é amplamente usado como referência para especificações e propaganda de produtos.

Os revestimentos a base de zinco são, reconhecidamente, um dos meios mais efetivos de proteção dos aços contra a corrosão, sendo largamente aplicados nas indústrias automotivas, de linha branca e de construção civil. Existem, basicamente, três tipos de revestimentos aplicados industrialmente em aços planos, quais sejam: o eletrogalvanizado (EG) e os galvanizados a quente sem (GI) e com tratamento térmico do revestimento (GA). O zinco possui o potencial de oxidação maior do que o ferro e, portanto, é mais propenso a corroer. Essa característica é a base do mecanismo de proteção que ocorre quando o zinco e o aço são colocados em contato em condições propícias à corrosão. Além disso, os revestimentos de zinco oferecem proteção por barreira, evitando que o oxigênio e a água do ambiente entrem em contato com o aço. O tempo de vida desses revestimentos depende, principalmente, da sua massa e do ambiente de trabalho (7). Na construção civil esses aços são muito utilizados sem pintura e, de um modo geral, corroem trinta vezes menos em relação aos aços sem o revestimento (8). Na indústria automotiva, os requisitos de corrosão tornaram-se mais exigentes, motivados, principalmente, pelo aumento da garantia de até 12 anos proposto pelas principais montadoras da Europa em 1998, cujo atendimento só foi possível com o uso desses aços (9).

Metodologia

Amostras de um aço da qualidade ultrabaixo carbono sem revestido (NR) e com revestimentos metálicos (EG, GI e GA), com massa de camada de 60 g/m² por face, foram coletadas nas linhas da Usiminas e Unigal Usiminas. A partir dessas foram produzidos corpos de prova com dimensões de 100 mm x 150 mm. Os corpos de prova foram submetidos aos processos de pré-tratamento (limpeza, fosfatização e passivação) e pintura em uma linha industrial de uma montadora de automóveis brasileira, conforme o fluxograma apresentado na figura 1. Após a pintura, os demais testes e análises foram realizados no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas.

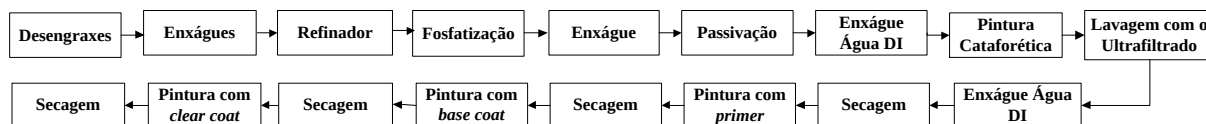


Figura 1 – Diagrama esquemático dos processos de pré-tratamento e pintura

As camadas de fosfato foram avaliadas quanto à massa de camada por área (g/m^2), morfologia dos cristais e fases presentes. Para as determinações dessas massas, três corpos de prova, nas dimensões de 100 mm x 100 mm, foram pesados e, em seguida, imersos em uma solução de CrO_3 0,5% p/v e a 70°C durante cinco minutos para a remoção do fosfato. Na sequência, os corpos de prova foram lavados com água destilada, secos com nitrogênio e pesados novamente. As massas de fosfato por área foram calculadas pelas diferenças nos pesos iniciais e finais divididas pela área dos corpos de prova. As morfologias das camadas de fosfato foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura de efeito de campo (MEV-FEG) e por espectrometria por dispersão de energia (EDS). As fases cristalinas presentes nas camadas de fosfato foram identificadas por difração de raios X (DRX).

A espessura e a aderência da película seca de tinta foram determinadas, conforme as normas NBR 11003 (10), ISO 4624 (11) e ASTM D 4541(12). Foram selecionados corpos de prova com espessuras da tinta similares para a realização dos testes de corrosão. Antes desses testes, a película seca de tinta da face a ser exposta foi danificada mecanicamente com a ponta de uma ferramenta de usinagem de carbeto de tungstênio até atingir o metal base, conforme norma NBR 8754 (13) e as bordas dos corpos de prova foram protegidas com uma camada de tinta adicional.

Os corpos de prova foram submetidos aos seguintes testes de corrosão: (i) em câmara de névoa salina conforme a norma ASTM B 117 (1); (ii) cíclico, conforme a norma GM 14872 (14), cujo ciclo está descrito na figura 2; (iii) de campo com aspersão de solução de NaCl a 3% p/v duas vezes por semana, de acordo com a norma ISO 11474 (15); (iv) em atmosfera marinha e (v) em atmosfera industrial, ambos de acordo com a norma NBR 7011 (16). Os testes de campo com aspersão de solução salina e em atmosfera industrial foram realizados nas estações de corrosão localizadas na planta industrial da Usiminas, em Ipatinga - MG. O teste em atmosfera marinha foi realizado na estação de corrosão atmosférica localizada em uma ilha pertencente à Marinha Brasileira, em Arraial do Cabo - RJ. Os tempos de exposição foram de 1000 h para o teste em névoa salina, 1000 h e 3000 h para o teste cíclico, dois anos para o teste de aspersão de solução salina, sete anos em atmosfera marinha e oito anos em atmosfera industrial.

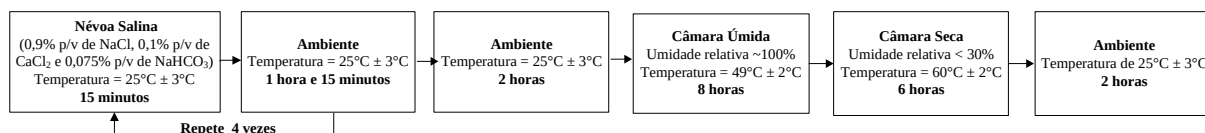


Figura 2 – Diagrama esquemático de um ciclo de 24 horas do teste GM 14872 (15)

Após os testes, foi determinado o avanço total médio da corrosão e/ou do deslocamento da tinta de três corpos de prova para cada tempo de exposição. Esse parâmetro é baseado na norma ASTM D 1654 (13), sendo o somatório do avanço dos dois lados do risco, conforme mostrado na figura 3. Para tanto, a película seca de tinta não aderente na região riscada foi removida com espátula. Em seguida, as medições foram realizadas empregando-se uma

técnica de análise de imagem desenvolvida na Usiminas, que permite obter em torno de 200 medições para cada corpo de prova (17). Após o teste em névoa salina também foram realizadas análises via microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por espectroscopia por dispersão de energia (EDS) nas regiões próximas aos riscos feitos na pintura.

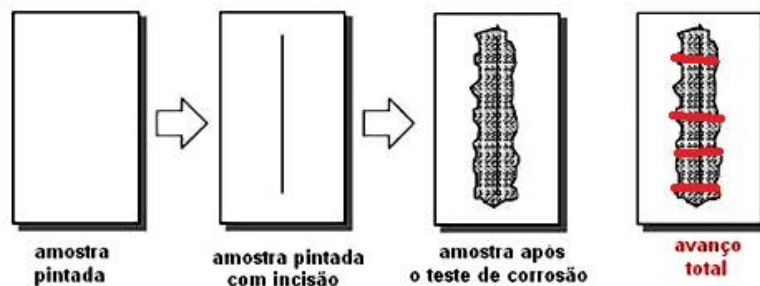


Figura 3 – Representação esquemática do avanço da corrosão e/ou do deslocamento da tinta

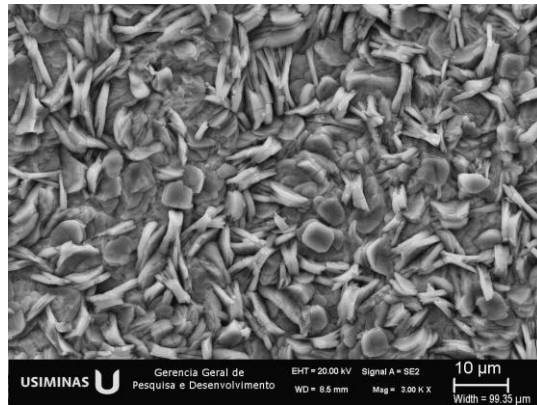
Resultados e discussão

Os resultados das determinações das massas das camadas de fosfato aplicadas na montadora são mostrados na tabela 1. Para os aços revestidos as massas variaram de 4,3 g/m² a 4,6 g/m², e para o não revestido foi de 3,2 g/m², o que classificou essas camadas, segundo a norma ISO 9717 (18), como sendo do tipo III (de 1,5 g/m² a 4,5 g/m²), que é considerado adequado para os produtos destinados à pintura.

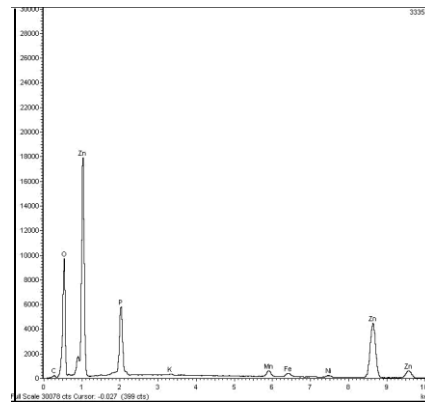
Tabela 1 – Massas das camadas de fosfato

Aços	Massas de fosfato (g/m ²)
EG	4,6 ± 0,3
GI	4,4 ± 0,6
GA	4,3 ± 0,3
NR	3,2 ± 0,2

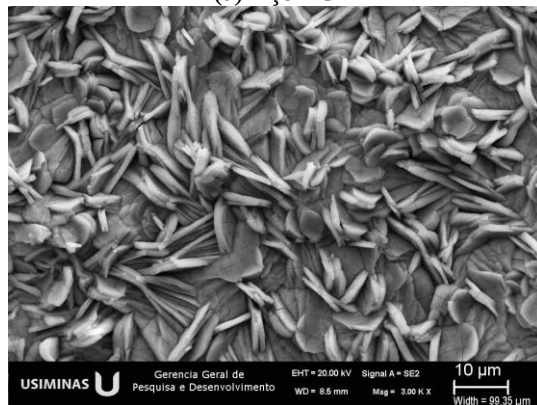
Na figura 4 são apresentados os aspectos das camadas de fosfato e seus respectivos espectros de EDS. As camadas formadas sobre os aços revestidos apresentaram cristais de fosfato uniformes e com formato de pétalas, figuras 4a, 4c e 4e. No caso do aço não revestido, foram obtidos cristais uniformes e no formato de cubos (equiaxiais), figura 4g. Essas diferenças na morfologia dos cristais estão relacionadas às fases formadas que serão discutidas a seguir. Nas análises por EDS, em todas as camadas de fosfato, foi possível detectar os picos dos elementos Ni e/ou Mn, característicos em fosfatos tricatiônicos, conforme as figuras 4b, 4d, 4f e 4h.



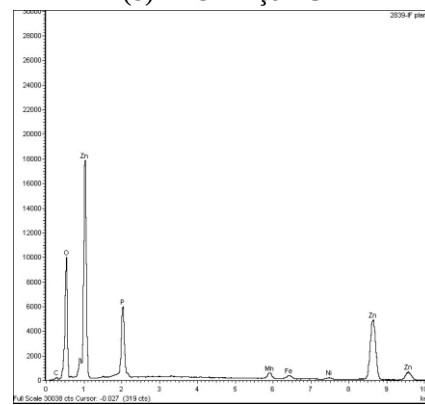
(a) Aço EG



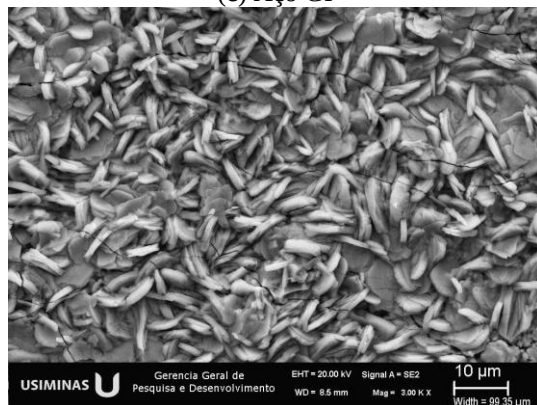
(b) EDS – Aço EG



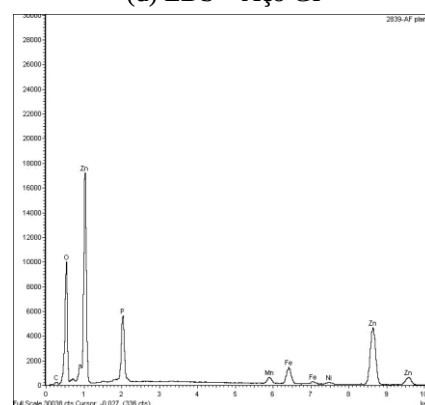
(c) Aço GI



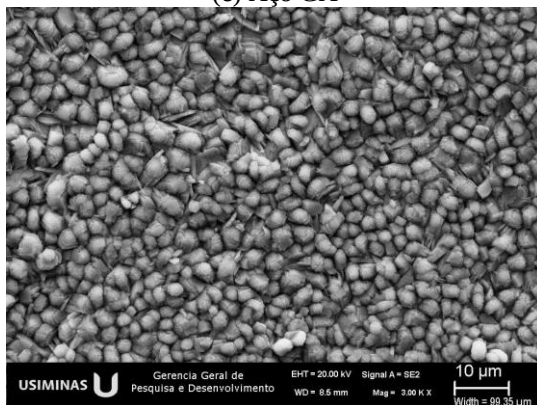
(d) EDS – Aço GI



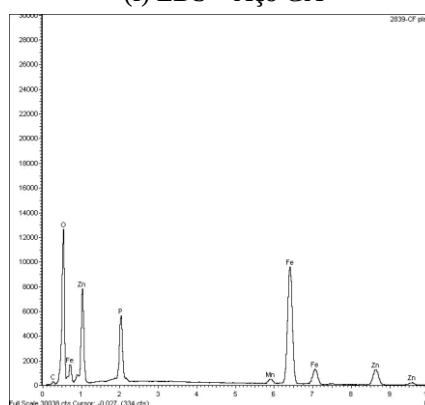
(e) Aço GA



(f) EDS – Aço GA



(g) Aço NR



(h) EDS – Aço NR

Figura 4 – Aspectos representativos, via MEV-FEG, das camadas de fosfato formadas sobre os aços e os espectros de EDS (Ampliação original = 3000 vezes)

Os difratogramas de raios X das camadas de fosfato são apresentados na figura 5. No aço não revestido detectou-se a fase cristalina fosfofilita ($\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) e nos aços galvanizados a hopeíta ($\text{Zn}_2\text{Me}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, onde $\text{Me} = \text{Ni}$ ou Mn). Essas fases são normalmente encontradas em pré-tratamentos praticados pela indústria automotiva e consideradas adequadas para o bom desempenho de esquemas de pintura. A formação de diferentes fases de fosfato foi devido ao tipo de substrato utilizado. Na fosfatização do aço não revestido, em que a solução fosfatizante é a fonte de íons de zinco e o substrato é a fonte de íons ferrosos, obtém-se, principalmente, a fase fosfofilita. Já no caso dos aços galvanizados, a fase formada é a hopeíta, uma vez que tanto o banho quanto o substrato contribuem com íons de zinco (19).

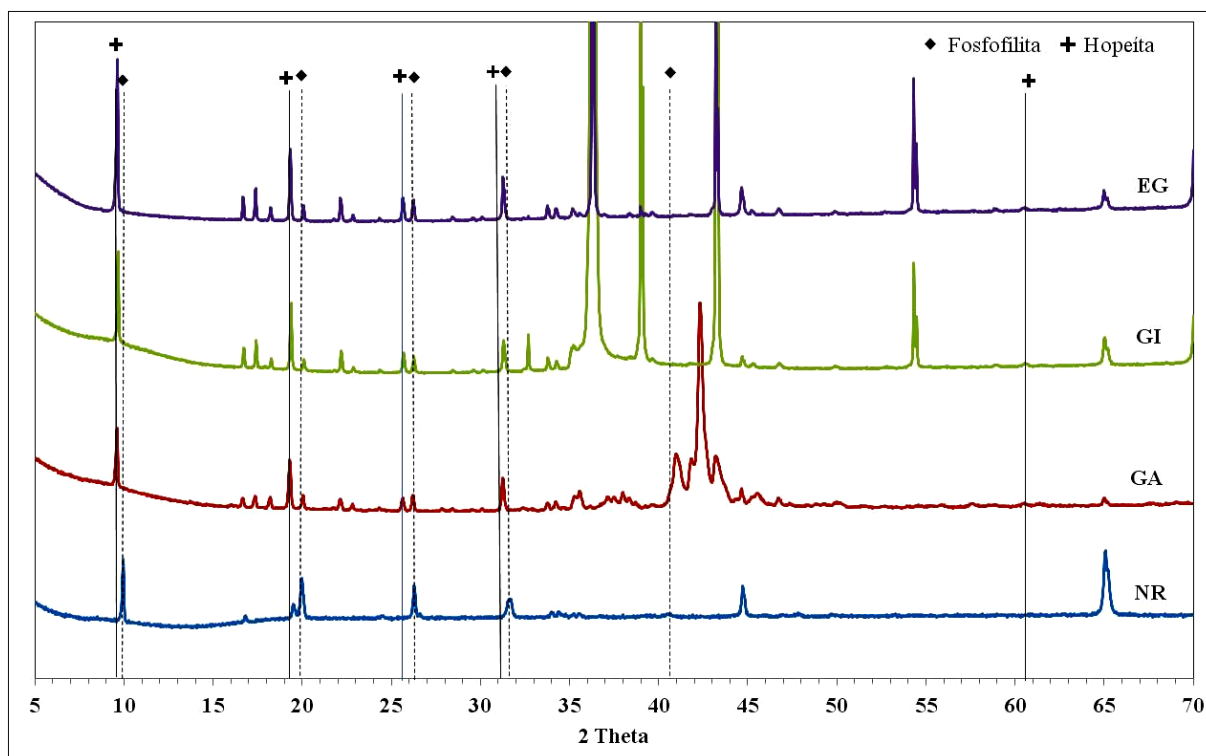


Figura 5 – Difratogramas de raios X das camadas de fosfato

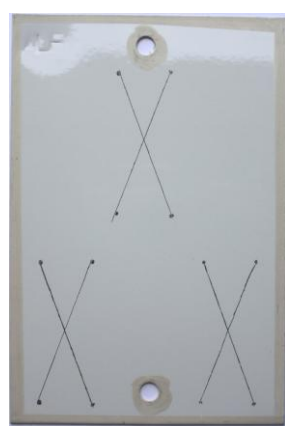
Os resultados das medições de espessura e de aderência da película seca de tinta estão apresentados na tabela 2. Segundo os critérios da norma NBR 11003 (10), a aderência da tinta foi classificada como X0 e Y0, o que significa que não houve nenhum destacamento ao longo das incisões e das interseções, respectivamente, feitas intencionalmente na superfície dos corpos de prova, conforme exemplificado na figura 6a. No teste de aderência utilizando o equipamento Patti, de acordo com a norma ASTM D 4541 (12), também não houve deslocamento da tinta, indicando que não se observaria corrosão em virtude de falta de aderência da película de tinta (figura 6b).

Os valores médios obtidos para o avanço total da corrosão e/ou do deslocamento da tinta são mostrados na tabela 3 e os aspectos dos corpos de prova após a remoção dos produtos de corrosão e/ou da tinta deslocada nas figuras 7 a 11. Após o teste em câmara de névoa salina (ASTM B 117), o avanço da corrosão e/ou do deslocamento da tinta nos aços revestidos foi maior do que no aço sem o revestimento metálico, tabela 3 e figura 7. Esse resultado foi distinto dos observados nos testes acelerados GM 14872 (tabela 3 e figura 8) e ISO 11474 (tabela 3 e figura 9) e não acelerados nas atmosferas marinha (tabela 3 e figura 10) e industrial

(tabela 3 e figura 11), onde os aços galvanizados apresentaram menor avanço de corrosão e/ou deslocamento de tinta. Esses resultados contraditórios entre o teste em névoa salina e os outros testes de corrosão têm sido constantemente observados em estudos conduzidos no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas.

Tabela 2 – Espessuras médias e aderências da película seca de tinta dos corpos de prova usados nos testes de corrosão

Aços	Espessura (μm)	Aderência	
		NBR 11003 (10)	ASTM D 4541 (12)
EG	107 ± 8	X_0 e Y_0	0
GI	101 ± 6	X_0 e Y_0	0
GA	102 ± 4	X_0 e Y_0	0
NR	104 ± 3	X_0 e Y_0	0



(a) NBR 11003



(b) ASTM D4541

Figura 6 – Aspectos representativos das regiões testadas quanto à aderência da tinta

No teste em névoa salina, após 1000 h de exposição, os aços revestidos (EG, GI e GA) apresentaram avanço total médio variando de 3,8 mm a 10,0 mm e o aço não revestido (NR) de 1,7 mm (tabela 3 e figura 7). Enquanto no teste GM 14872, após as mesmas 1000 h de exposição, os aços revestidos não apresentaram qualquer avanço de corrosão e/ou de tinta deslocada e o aço não revestido teve um avanço de 2,1 mm (tabela 3 e figura 8). Quando se passaram 3000 h do teste GM 14872, o avanço de corrosão no aço não revestido foi de 8,8 mm, significativamente maior do que os observados nos aços revestidos, que variaram de 2,6 mm a 4,9 mm.

Os três testes de campo executados confirmaram os resultados obtidos no teste cíclico GM 14872. No teste ISO 11474, o avanço total médio para o aço não revestido alcançou 13,2 mm, enquanto não houve avanço para os aços revestidos, figura 9. No teste em atmosfera marinha, os aços revestidos expostos por sete anos apresentaram avanço de corrosão desprezível (0,9 mm a 1,8 mm). Enquanto o aço sem o revestimento de zinco ficou praticamente destruído (figura 10). Em atmosfera industrial, após oito anos de exposição, não foram observados quaisquer corrosão ou deslocamento da tinta nos aços revestidos EG, GI ou GA (figura 11). Entretanto, o avanço total médio no aço não revestido foi de 23,4 mm.

Outra observação importante é que o revestimento metálico protegeu as bordas de corte dos aços de qualquer avanço de corrosão, como mostrado nas figuras 7 a 11. No caso do aço sem o revestimento metálico, o processo de corrosão também teve início nas bordas, mesmo estas estando protegidas com uma camada extra de tinta.

Tabela 3 – Avanço total médio e desvio padrão da corrosão e/ou do deslocamento da tinta (mm) (13)

Aços	Testes de Corrosão					
	ASTM B 117	GM 14782		ISO 11474	Atm. Marinha	Atm. Industrial
	1000 h	1000 h	3000 h	2 anos	7 anos	8 anos
	Deslocamento da tinta					
EG	3,8 ± 1,9	0,0 ± 0,0	2,6 ± 0,8	0,0 ± 0,0	0,9 ± 0,6	0,0 ± 0,0
GI	10,0 ± 5,0	0,0 ± 0,0	4,9 ± 2,5	0,0 ± 0,0	1,3 ± 0,8	0,0 ± 0,0
GA	4,1 ± 0,2	0,0 ± 0,0	3,0 ± 2,6	0,0 ± 0,0	1,8 ± 1,0	0,0 ± 0,0
Corrosão						
NR	1,7 ± 0,5	2,1 ± 0,7	8,8 ± 2,1	13,2 ± 5,0	66,5 ± 40,0	23,4 ± 11,0

Na figura 12 são apresentadas as análises via MEV e EDS nas regiões próximas aos riscos feitos na pintura. No espectro de EDS na região afastada do risco foram detectados, principalmente, os elementos químicos Zn, O e Cl (figura 12d). O cloro é proveniente da solução de NaCl utilizada nos testes e os demais elementos são provenientes do próprio revestimento e/ou dos seus produtos de corrosão e do fosfato. A presença do zinco com um pico de alta intensidade e a ausência do ferro, indicam que o substrato não foi atingido e que o revestimento exerceu a sua função de proteger o aço impedindo a corrosão. Considerando que as análises via MEV/EDS após os testes em névoa salina foram similares para todos os aços revestidos, pode-se inferir que não houve corrosão do aço e, sim, o deslocamento da película de tinta.

Esses resultados são muito importantes e significativos e não podem ser desprezados quando da seleção de aços para uma determinada aplicação. Um dos motivos para isso é que, nos últimos anos, a exigência de melhoria da resistência à corrosão dos automóveis por parte do mercado consumidor tornou-se uma constante fonte de preocupação das montadoras. Os problemas de corrosão em automóveis devido à utilização de sal para derreter gelo nas estradas, principalmente na Europa e na América do Norte, forçaram a indústria automotiva a melhorar o desempenho de seus produtos frente à corrosão. Sabe-se que a corrosão em carrocerias ocorre, essencialmente, na sua parte inferior em espaços vazios e uniões. Os procedimentos para evitar essa corrosão são diversos e complementares. Entre eles, destacam-se as modificações de projeto para evitar acúmulo de eletrólitos, injeção de ceras, utilização de juntas neutras entre diferentes materiais para evitar a formação de pilhas galvânicas e, principalmente, a utilização de aços revestidos pintados.

As causas para a não correlação entre os resultados de resistência a corrosão obtidos no teste em névoa salina e os obtidos nas exposições naturais ou nos testes cíclicos são várias. Mas, a principal razão é que os mecanismos de degradação envolvidos são diferentes, de modo que o comportamento dos aços galvanizados nesse teste não apresenta uma correlação com os seus desempenhos em serviço (10, 20, 21, 22). De acordo com Hayashi (23), a perda de aderência

da tinta em testes de exposição à atmosfera natural ocorre próximo à região do risco no revestimento e é causada pela formação dos produtos de corrosão e a sua ação mecânica local, devido ao maior volume desses produtos em comparação com o metal. Nos testes em névoa salina a delaminação, ou seja, a perda de aderência entre a tinta e o substrato é causada, geralmente, por processos catódicos que elevam o pH para valores entre 10 e 12. Nessas condições, a camada de fosfato é constantemente dissolvida e a película de tinta se desprende do substrato, como observado nos corpos de prova da figura 7, sendo esse deslocamento mais intenso nos aços galvanizados.

A diferença de comportamento entre as camadas de fosfato formadas sobre os aços não revestidos e os revestidos está relacionada ao tipo de fosfato. Para um banho de fosfatização convencional, nos aços não revestidos a camada de fosfato é formada por uma mistura de, 75% de hopeíta ($\text{Me}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) e 25% de fosfofilita ($\text{Me}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), aproximadamente, e nos aços revestidos é formada majoritariamente por hopeíta, que é menos resistentes a meios alcalinos, como mostrado na figura 13 (24,25). Nos banhos tricatiônicos contendo íons de Zn, Mn e Ni são formadas adicionalmente as fases fosfomagnelita ($\text{Zn}_2\text{Mn}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) e fosfonicolita ($\text{Zn}_2\text{Ni}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), o que torna a camada final mais resistente a meios alcalinos (26). Contudo, a proporção de hopeíta nos aços revestidos continua sendo maior.

Outra razão para a falta de correlação é que em atmosferas naturais é formado um filme de carbonatos e/ou de óxidos de zinco passivo e relativamente estável durante o ciclo de secagem que contribui para o bom desempenho dos revestimentos galvanizados contra a corrosão. A umidade contínua durante o teste em névoa salina não permite que essa formação ocorra porque os produtos de corrosão do zinco, responsáveis pela proteção do substrato metálico, são constantemente lavados.

Assim, o teste em névoa salina somente é válido para avaliar aços revestidos com zinco quando esses não estão pintados e o objetivo é classificar o seu desempenho da seguinte forma:

- Número de horas até o aparecimento do primeiro ponto de corrosão branca;
- Número de horas até que 5% da superfície apresente corrosão branca;
- Número de horas até o aparecimento do primeiro ponto de corrosão vermelha;
- Número de horas até que 5% da superfície apresente corrosão vermelha.

A ocorrência de corrosão branca em aços galvanizados dos tipos EG e GI indica que o zinco foi oxidado, formando produtos de corrosão de coloração esbranquiçada. Por sua vez, a presença de corrosão vermelha significa que o revestimento foi completamente consumido localmente e o substrato de aço começou a ser corroído, formando óxidos de ferro de coloração avermelhada. Contudo, essas observações não são válidas para os revestimentos GA, pois estes são formados por fases Fe-Zn que quando oxidadas, formam produtos de corrosão avermelhados, dificultando distinguir entre a corrosão do revestimento e a do substrato de aço.

Deve ser salientado que a escolha adequada de uma metodologia de teste acelerado de corrosão é de suma importância para o sucesso na especificação de um material ou de seu esquema de pintura. Se o método escolhido for inadequado corre-se o risco de se obter resultados incompatíveis ou mesmo errados. Nesse sentido, os testes cíclicos de corrosão, que

envolvem ciclos de umidade, secagem e aspersão de solução salina, são mais realísticos do que o teste em névoa salina contínua, como demonstrado no presente estudo.

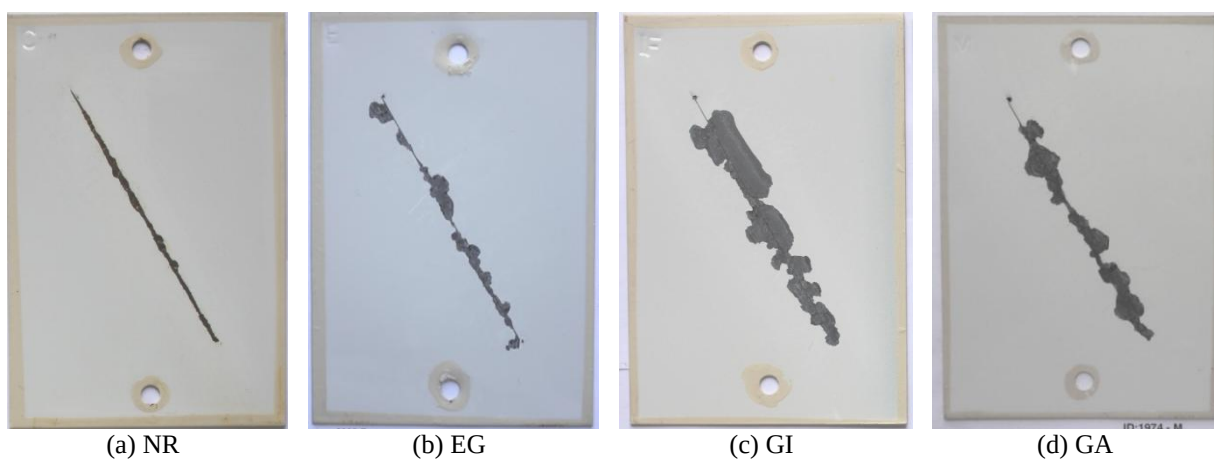


Figura 7 – Aspecto dos corpos de prova após exposição por 1000 h ao teste em névoa salina (1)

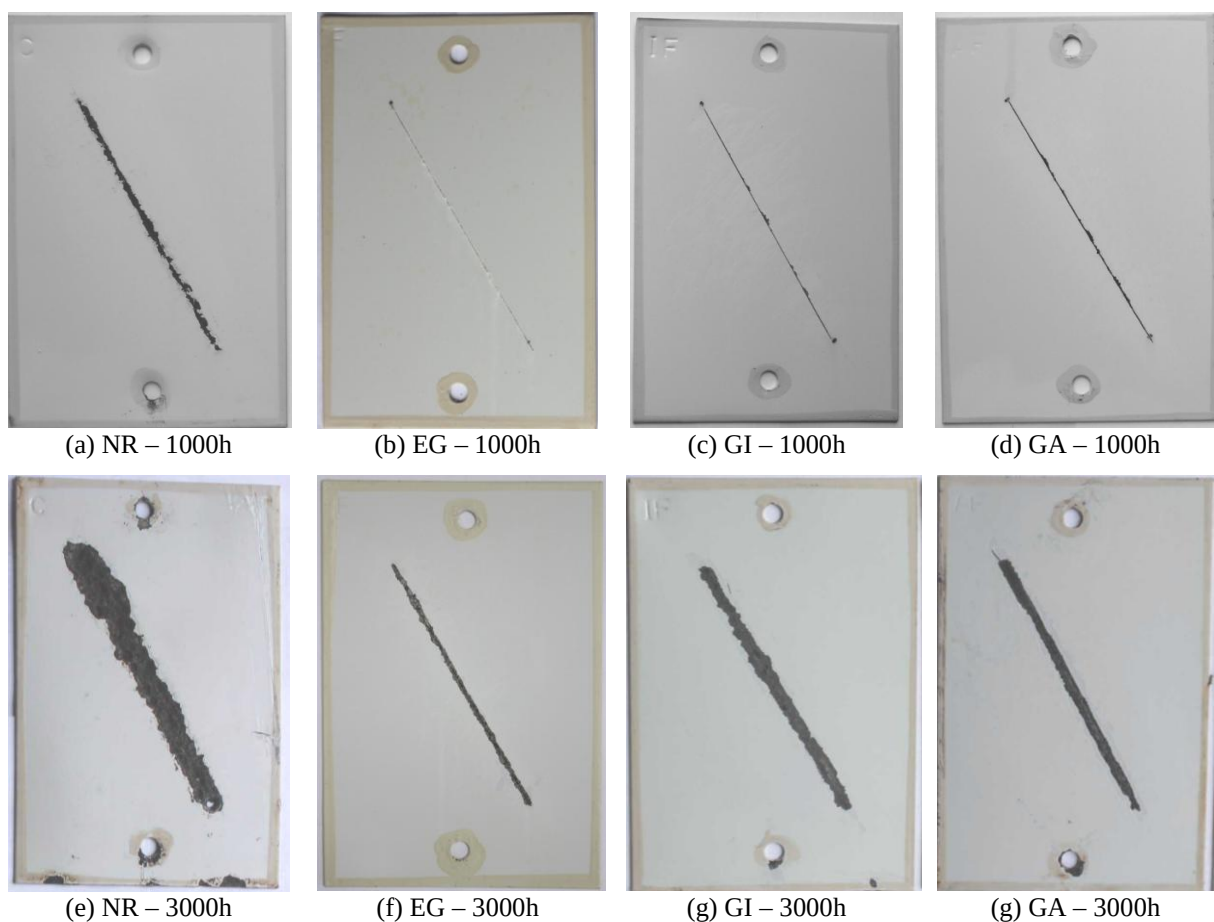


Figura 8 – Aspectos dos corpos de prova após exposição por 1000 horas e 3000 h no teste GM 14872 (14)

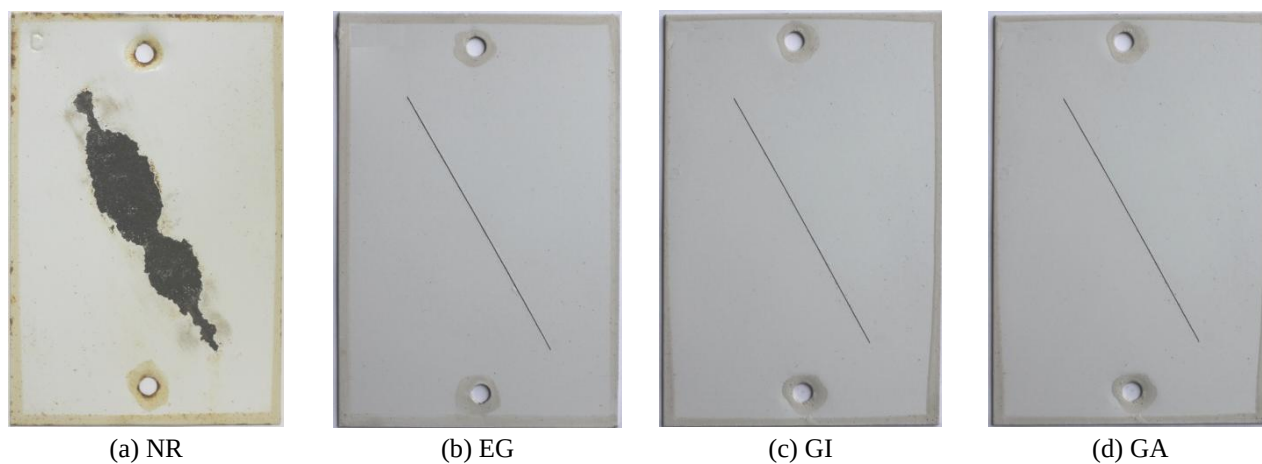


Figura 9 – Aspecto dos corpos de prova após 2 anos de exposição no teste de aspersão de solução salina (15)

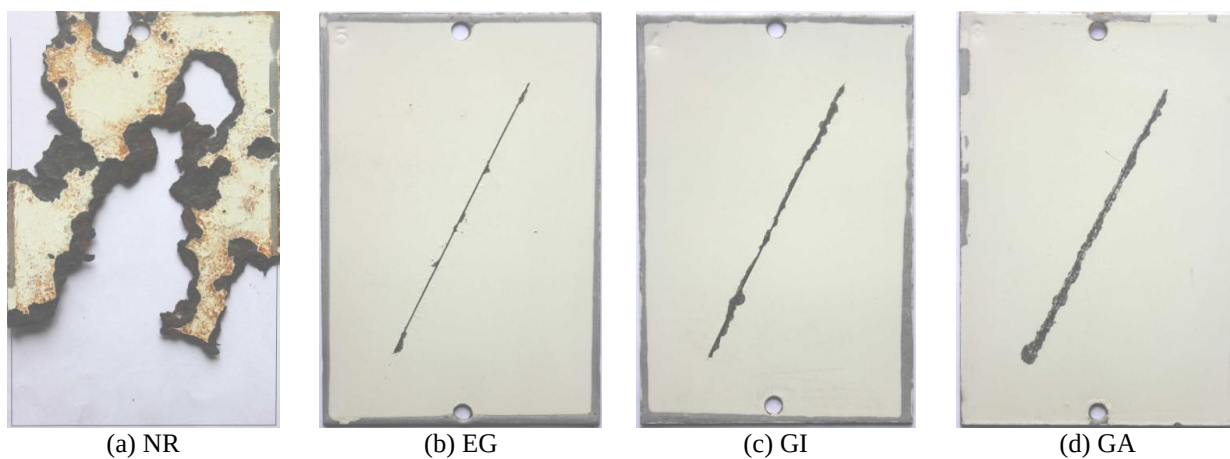


Figura 10 – Aspecto dos corpos de prova após 7 anos de exposição em atmosfera marinha (16)

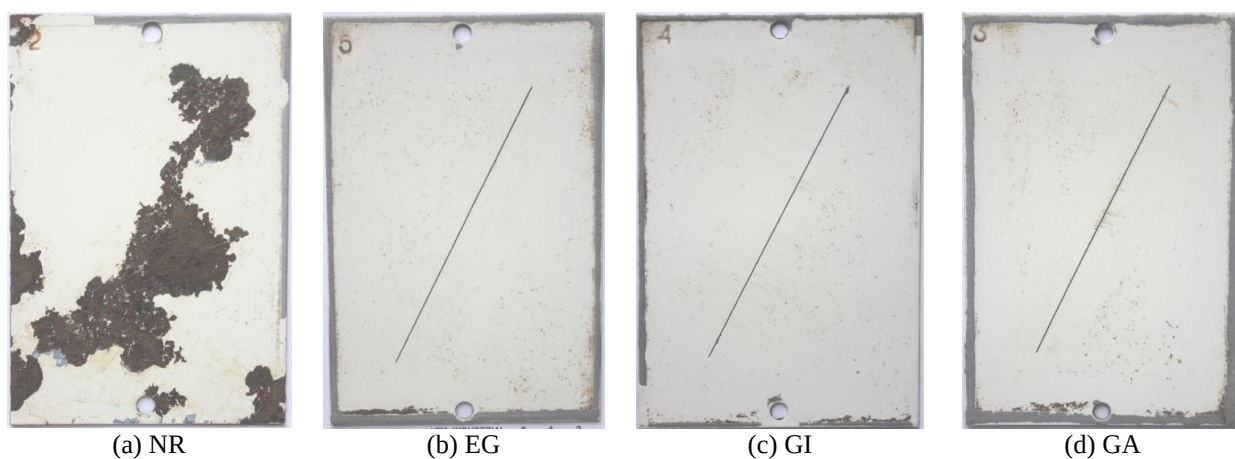


Figura 11 – Aspecto dos corpos de prova após 8 anos de exposição em atmosfera industrial (17)

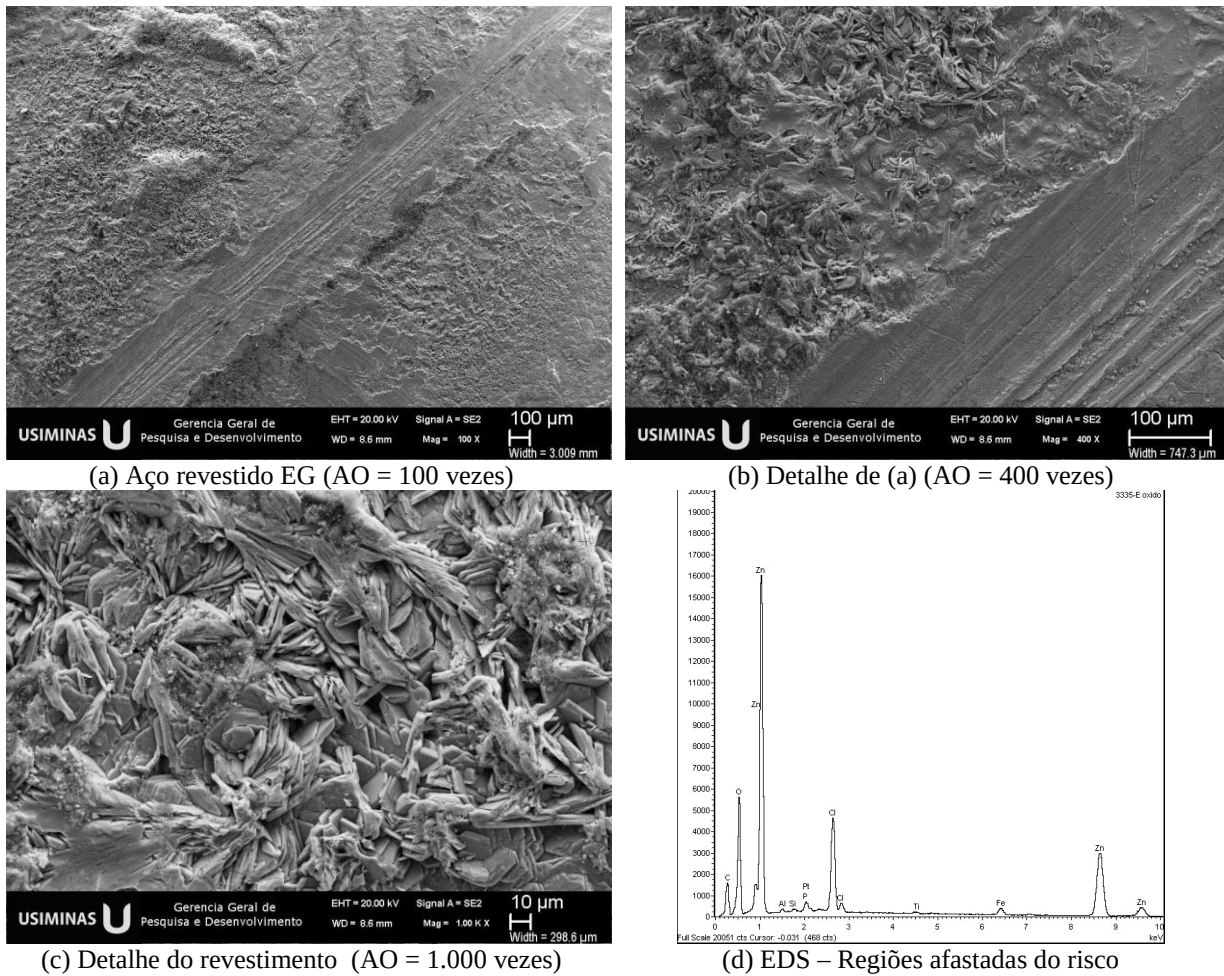


Figura 12 – Aspectos representativos, via MEV, da superfície na região do risco nos aços revestidos após o teste em névoa salina e espectro de EDS (AO = Ampliação original)

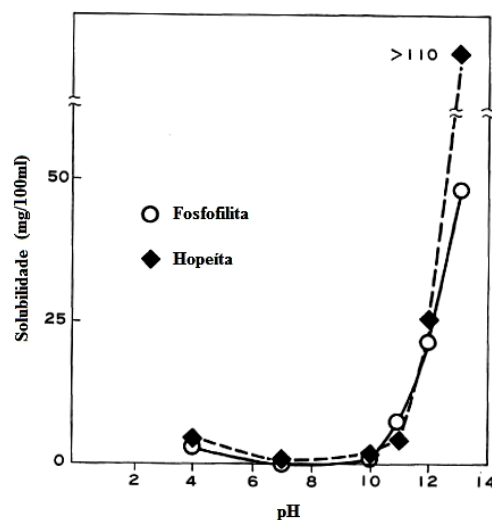


Figura 13 – Efeito do pH na solubilidade da hopeita e fosfofilita (25)

Conclusões

Este estudo comprovou que o teste de corrosão em névoa salina, quando usado para a avaliação de desempenho de aços galvanizados, gera resultados incompatíveis com o desempenho desses materiais em serviço, pois os aços galvanizados EG, GI e GA, quando submetidos a esse teste, apresentaram resistência à corrosão inferior a do aço não revestido, todos na condição fosfatizados e pintados. Sabe-se que a aplicação de revestimentos metálicos como agentes de proteção contra corrosão dos aços é um dos métodos mais efetivos utilizados pela indústria. Assim, a escolha adequada da metodologia de avaliação da resistência à corrosão é muito importante para o sucesso das etapas de especificação de materiais e/ou esquemas de pintura. Ficou evidenciado que os testes cíclicos de corrosão são mais representativos e devem ser privilegiados, sob o risco de se obter resultados incompatíveis ou mesmo errados quando se usa o teste em névoa salina contínua.

Referências bibliográficas

- (1) Norma ASTM B 117 - American society for testing and materials – Standard Test Method of Salt spray (fog) testing, 1995;
- (2) ROBERGE, P. R. What is accelerated in accelerated testing: A framework for definition. Cyclic cabinet corrosion testing, ASTM STP 1238, Gardener S. Haynes, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1995. p.18.
- (3) Norma NBR 8094 - Material metálico revestido e não-revestido - Corrosão por exposição à névoa salina, 1983.
- (4) LYON, S. B.; SCANTLEBURY, J. D.; JOHNSON, J. B. “Realism in cyclic cabinet corrosion testing of coil-coated steel for building applications. Cyclic cabinet corrosion testing, ASTM STP 1238, Gardener S. Haynes, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1995. p.3.
- (5) GROSSMAN, D. More Realistic tests for atmospheric corrosion. New standards for cyclic corrosion tests offer alternatives to continuous salt spray. ASTM Standardization News, April 1996.
- (6) Norma ASTM G 85 - American society for testing and materials – Standard Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing, 2002.
- (7) FUJITA, S.; KAJIYAMA, H.; KATO, C. Assessment and application technologies for automotive materials (Perforation) —Techniques for Corrosion Resistance and Perforation Feedback for Automotive Steel Materials— JFE TECHNICAL REPORT. No. 4 (Nov. 2004).p.9-16.
- (8) Performance of Hot-Dip Galvanized Steel Products. GalvInfo Center. International Zinc Association. Disponível em: <<http://www.galvanizeit.org/education-and-resources/publications/performance-of-hot-dip-galvanized-steel-products>>. Acesso em: 29 jan. 2016.
- (9) KATUNDI, D. A. et al. Corrosion behaviour of the welded steel sheets used in automotive industry, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 38/2 (2010) 146-153.
- (10) Norma NBR 11003 - Tintas – Determinação da aderência. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, abril/1990

-
- (11) Norma ISO 4624 - Paints and varnishes - Pull off test for adhesion. International Organization for Standardization. 2002.
 - (12) Norma ASTM D 4541 - Test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers ASTM - The American Society for Testing and Materials. 2009.
 - (13) Norma ASTM D 1654 – Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments, - The American Society for Testing and Materials, 2008.
 - (14) Norma GM 14872 – General motors engineering standards materials and processes procedures accelerated corrosion test - Method B. July 2010
 - (15) Norma ISO 11474 – Corrosion of metals and alloys - Corrosion tests in artificial atmosphere - Accelerated outdoor test by intermittent spraying of salt solution. International Organization for Standardization, 1993.
 - (16) Norma NBR 7011 – Materiais metálicos revestidos por pintura - Ensaio não acelerado de corrosão - Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, dezembro/1981.
 - (17) GONÇALVES, M. M. F.; CRUZAT, G. R.; PINTO, J. A. Q. Valuation of corrosion damage in metals by laser technique. Technical Contribution to NACE – Brasil (CORROSION'99), São Paulo, 1999.
 - (18) Norma BS EM ISO 9717 - Metallic and other inorganic coatings: Phosphate conversion coating of metals, 2013
 - (19) FREEMAN, D. B. 1988. Phosphating and metal pre-treatment. 1st Ed. New York: Industrial Press, 229p.
 - (20) SATOH, H. et al. Analysis of perforation corrosion of cold-rolled and galvanized steel sheets by extreme-value statistics. 1986. 99 p., 1986.
 - (21) HOWARD, R. L.; S. B. LYON; SCANTLEBURY, J. D. Accelerated tests for the prediction of cut-edge corrosion of coil-coated architectural cladding. Part I: Cyclic cabinet salt spray. Progress in Organic Coatings. Elsevier. P.91-99, 1999.
 - (22) CLEARY, H. J. The microstructure and corrosion resistance of 55%Al-Zn coatings on sheet steel,” in Corrosion, Microstructure and Metallography, D. O. Northwood, Ed., vol. 12 of Microstructure Science, pp. 103–113, ASM International, 1994.
 - (23) HAYASHI, K. The cosmetic corrosion mechanism and corrosion resistance of zinc alloy coated steel sheet. Int. J. of Materials and Product Technology, v.6, n.1, 1991. P.9.
 - (24) OOIJ, W. J. V.; SABATA, A. Chemical stability of phosphate conversion coatings on cold-rolled and electrogalvanized steels. Surface and Coatings Technology, 39/40 (1989) 667-674
 - (25) MIYOSHI, y.; OKA, J.; MAEDA, S. Fundamental research on corrosion resistance of precoated steel sheets for automobiles. Transactions ISIJ, Vol. 23, 1983 (975)
 - (26) DEBNATH, N. C. Importance of Surface preparation for corrosion protection of automobiles. Journal of surface engineered materials and advanced technology, 2013, 3, 94-105 <http://dx.doi.org/10.4236/jsemat.2013.31A014> Published Online February 2013 (<http://www.scirp.org/journal/jsemat>)