

DESEMPENHO QUANTO À CORROSÃO DE AÇOS COM REVESTIMENTOS METÁLICOS A BASE DE ZINCO E SUAS LIGAS¹

Evandro de Azevedo Alvarenga²

Resumo

A resistência à corrosão de aços eletrolgalvanizados, galvanizados a quente (*hot dip galvanized*) e galvanizados a quente com tratamento térmico do revestimento metálico (*galvannealed*), fosfatizados e pintados na indústria automobilística, foi avaliada mediante testes acelerados e não-acelerados de corrosão. Os parâmetros medidos foram o avanço médio e a penetração máxima da corrosão, empregando-se técnicas de análise de imagem. Pelos resultados deste estudo, verificou-se que tanto a massa como o tipo de revestimento metálico exercem influência na resistência à corrosão atmosférica desses aços. Nesse caso, destaca-se o bom desempenho dos aços galvanizados a quente com tratamento térmico da camada de zinco, cujo avanço médio da corrosão foi bem menor do que aqueles dos demais aços avaliados. Além disso, verificou-se também boa correspondência entre os testes acelerados e não-acelerados de corrosão, mostrando que com critério pode-se utilizar um ou outro na avaliação da resistência à corrosão dos aços.

Palavras-chave: Resistência à corrosão; Massa e tipo de revestimento metálico; Pintura.

CORROSION PERFORMANCE OF ZINC AND ZINC ALLOY COATED STEEL SHEET

Abstract

The corrosion resistance of electrogalvanized, hot dip galvanized and galvannealed steel sheets, phosphatized and painted in the automobile industry, was evaluated by means of accelerated and non-accelerated corrosion tests. The parameters measured were the scribe creepback and maximum penetration, using image analysis techniques. The results show that both the mass and type of the metallic coating influence the atmospheric corrosion resistance of the steel sheets. Worth noting is the good performance of the galvannealed steels whose scribe creepback was smaller than for the other coated steels evaluated. Moreover, there was also a good correlation between the accelerated and the non-accelerated corrosion tests, showing that, when used with discretion, either one can be used in evaluating the corrosion resistance of steels.

Key words: Corrosion resistance; metallic coated mass and type; painting.

¹ Contribuição técnica ao 64^o Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Dr., Engenheiro Químico, CQE/ASQ, Superintendência do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da aplicação de aços revestidos com zinco e suas ligas na fabricação de bens duráveis, principalmente de veículos automotores, proporcionou aos consumidores bens de maior durabilidade. Esse aumento, no entanto, provocou modificações na caracterização e na compreensão do comportamento dos aços, em relação à conformação, à soldagem e ao processo de pintura.

A avaliação da resistência à corrosão de aços fosfatizados e pintados antes de sua aplicação na fabricação de bens duráveis é necessária, pois traz para o fabricante e consumidor a garantia de um bom produto.

Os melhores testes de corrosão são aqueles que simulam as condições reais em serviço de determinado bem. Portanto, o acompanhamento em tempo real é a condição que melhor simula a vida útil do produto. No entanto, é impraticável na maioria dos casos, devido a custos, a problemas de rastreamento e ao tempo demandado. Por isso, os fabricantes de aços e de bens duráveis fazem uso de testes de corrosão.

Grosso modo, existem dois tipos de testes de corrosão: os acelerados, realizados em escala de laboratório ou em estações de corrosão com aplicação de soluções salinas, e os não-acelerados, utilizando-se estações para estudos sobre corrosão atmosférica.

O tempo de duração dos testes não-acelerados de corrosão é, normalmente, longo. Entretanto, seus resultados são mais confiáveis, pois representam melhor o mecanismo de corrosão que ocorre em serviço, tanto nos aços pintados como nos não pintados.

Os testes acelerados de corrosão são os mais utilizados para avaliar materiais e/ou esquema de pintura, pois sua execução é fácil e demanda um tempo relativamente curto. A reprodutibilidade dos resultados depende dos equipamentos de teste e a estimativa da vida útil dos aços é também mais difícil, apesar de ser a mais importante.

Apresenta-se neste estudo os resultados de testes acelerados e não-acelerados de corrosão realizados com aços revestidos com zinco e suas ligas, fosfatizados e pintados na indústria automobilística.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos-de-prova empregados neste estudo foram preparados a partir de bobinas de aços carbono-manganês (CC), eletrogalvanizado (Usigalve — EG40 e EG60), galvanizado a quente (Usigal-GI — GI40 e GI60) e galvanizado a quente com tratamento térmico do revestimento metálico (Usigal-GA — GA40 e GA60), produzidas pela Usiminas. As massas dos revestimentos foi em média de 40/40 g/m² e de 60/60 g/m² e as dimensões dos corpos-de-prova de 100 mm x 150 mm.

A fosfatização e a pintura dos aços foram feitas na indústria automobilística. Como fosfato empregou-se o do tipo tricatiônico e como películas de tinta aplicou-se para a pintura eletroforética uma resina epóxi e para as demais camadas resinas a base de poliéster/poliuretano, poliéster/melamina e acrílica/melamina. A espessura e a aderência da película seca de tinta foram determinadas de acordo com as normas NBR 10443⁽¹⁾ e NBR 11003.⁽²⁾

A espessura média da película seca de tinta variou de 125,0 µm a 133,6 µm, com desvio padrão de 4,4 µm. O resultado do teste de aderência pelo método de grade⁽²⁾ foi de "grau 0" para todos os aços, ou seja, não houve destacamento de tinta.

Antes de cada teste de corrosão a película seca de tinta, relativa à face superior do corpo-de-prova, foi danificada mecanicamente com uma ferramenta de usinagem com ponta de carbeto de tungstênio até atingir o metal base, conforme norma NBR 8754.⁽³⁾

Os testes acelerados de corrosão realizados foram os seguintes: os cíclicos Ciclado I e GM 9540P/B e o de campo com aspersão de solução salina.

O teste Ciclado I foi desenvolvido pela Usiminas e consiste na exposição de corpos-de-prova em câmara para testes acelerados cíclicos de corrosão. Nessa câmara os corpos-de-prova recebem no primeiro dia a aspersão de solução salina de NaCl a 5% p/v e à temperatura de $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante 24 h. Do segundo ao quinto dias os corpos-de-prova ficam expostos durante 8 h em ambiente com umidade relativa maior do que 95% e à temperatura de $40^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$. Em seguida a câmara de teste é desligada e aberta, permanecendo os corpos-de-prova na condição ambiente durante 16 h. Nos sexto e sétimo dias os corpos-de-prova voltam a ficar expostos em ambiente de laboratório com a câmara desligada e aberta. A duração do teste foi de 5.710 h, sendo expostos dez corpos-de-prova de cada condição de aço estudado.

O teste GM 9540P/B⁽⁴⁾ consiste nas etapas seguintes: i) aplicação de névoa salina mista (0,9% p/v de NaCl, 0,1% p/v de CaCl_2 e 0,25% p/v de NaHCO_3) durante 15 minutos, seguida de intervalos de 75 minutos câmara com umidade relativa entre 40% a 50%, à $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Essa etapa deve ser repetida quatro vezes antes de passar para a seguinte; ii) 2 h em câmara com umidade relativa entre 40% a 50%, à $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; iii) 8 h em câmara úmida com umidade relativa entre 95% e 100%, à $49^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; iv) 8 h de câmara seca com umidade relativa menor que 30%, à $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. O teste teve duração de 5760h e foram expostos dez corpos-de-prova para cada tipo de aço.

O teste de campo com aspersão de solução salina (atmosfera industrial) foi realizado de acordo com a norma ISO 11474.⁽⁵⁾ Vinte e cinco corpos-de-prova foram expostos em uma estação de corrosão atmosférica industrial⁽⁶⁾ e receberam aspersão de solução salina de cloreto de sódio (NaCl) a 5%p/v duas vezes por semana. As avaliações foram anuais durante quatro anos.

O teste não-acelerado de corrosão foi realizado com exposição de trinta corpos-de-prova de cada aço em atmosfera marinha (Arraial do Cabo-RJ), seguindo-se a norma NBR 7011.⁽⁷⁾ As avaliações foram feitas anualmente durante 6 anos.

A resistência à corrosão foi avaliada medindo-se o avanço médio e a penetração máxima da corrosão.⁽³⁾ No primeiro caso empregou-se técnica de análise de imagem, utilizando-se de câmara CCD (*couple charge device*) monocromática, placa para aquisição de imagem modelo PCI 1407, com software de aquisição e processamento desenvolvido pela Usiminas, fazendo-se o uso da linguagem de programação LabVIEW 6.1 da National Instrument. No segundo caso, a penetração máxima da corrosão foi determinada em dez seções ao longo do risco e no sentido da espessura, utilizando-se técnica metalográfica e o analisador de imagens Quantimet 600 HR da Leica Cambridge Ltd.⁽⁶⁾

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Corrosividade dos Testes de Corrosão

Para efeito comparativo, apresenta-se na Tabela 0 a corrosividade dos testes de corrosão,⁽⁸⁾ em termos da perda de massa média de cinco corpos-de-prova de aço

carbono-mangânês não pintados, expostos nos seus respectivos testes juntamente com os aços em estudo.

Tabela 1 - Corrosividade dos testes acelerados e não-acelerados de corrosão durante o período de sua realização

Tipo de Teste	Tipo de Solução Salina	Período de Superfície Úmida ⁽⁶⁾ (%)	Taxa de Corrosão (kg Fe/m ² .ano)
Ciclado I	5% p/v NaCl	33	10,9
GM 9540P/B	0,9% p/v de NaCl + 0,1% p/v de CaCl ₂ + 0,25% p/v de NaHCO ₃	37	12,0
Campo com aspersão de solução salina	5% p/v NaCl	50	4,3
Atmosfera marinha	não tem	50	0,6

As taxas de corrosão mostradas na Tabela 1 indicam a maior agressividade dos testes acelerados cíclicos de corrosão. Em seguida tem-se o teste acelerado de campo com aspersão de solução salina duas vezes por semana, que é cerca de três vezes menos agressivo que os testes cíclicos de corrosão. O teste não-acelerado com exposição em atmosfera marinha foi o menos agressivo dentre os testes empregados; porém, é considerado pela norma ISO 9223⁽⁸⁾ como um teste severo por ser de exposição ao intemperismo natural.

3.2 Testes Acelerados de Corrosão Ciclado I e GM 9540P e de Campo com Aspersão de Solução Salina

Conforme apresentado nas Figuras 0 a 0 e Tabela 0, a resistência à corrosão dos aços estudados pode ser dividida em três grupos.

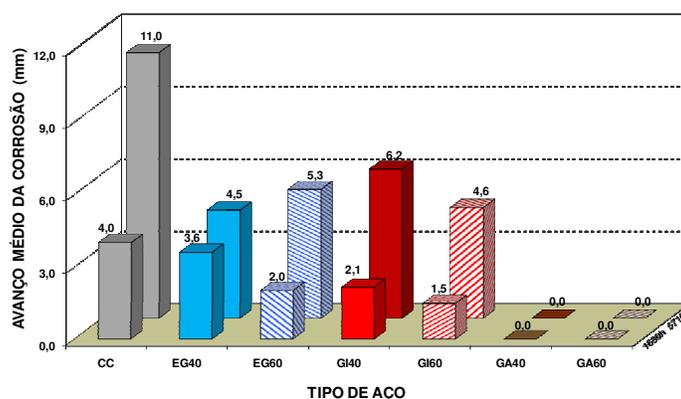


Figura 1 - Avanço médio da corrosão do teste acelerado cíclico de corrosão Ciclado I, após 1.680 horas e 5.710 horas.

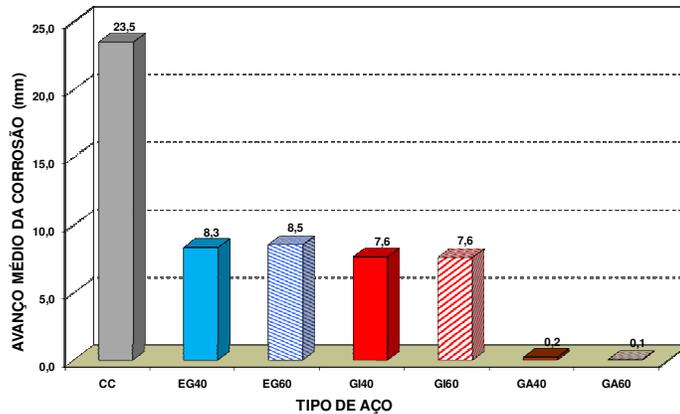


Figura 2 - Avanço médio da corrosão após 5.760 h de teste acelerado cíclico de corrosão GM 9540P.

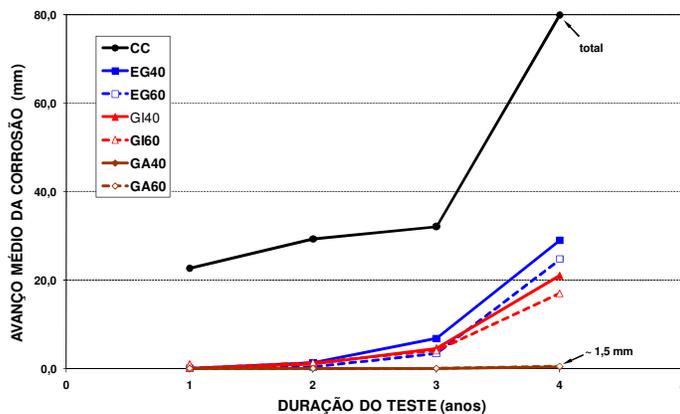


Figura 3 - Avanço médio da corrosão do teste de campo com aspersão de solução salina de NaCl a 5% p/v duas vezes por semana.

Tabela 2 - Resultados de penetração máxima da corrosão dos testes acelerados de corrosão realizados com corpos-de-prova fosfatizados e pintados na indústria automobilística

Tipo de Aço		Massa de Zinco (g/m ²)	Resultados de Penetração Máxima da Corrosão (mm)		
			Ciclado I 5710h	GM 9540P 5760h	Aspersão 3 anos
Carbono-manganês	CC	0,0	0,67	furou	furou
Eletrogalvanizado	EG40	42,3	0,19	0,17	furou
	EG60	51,7	< 0,10	0,11	0,20
Galvanizado a quente	GI40	52,1	< 0,10	0,11	0,25
	GI60	65,6	< 0,10	< 0,10	0,19
Galvanizado a quente/tratamento térmico revestimento	GA40	54,8	< 0,10	< 0,10	< 0,10
	GA60	64,2	< 0,10	< 0,10	< 0,10

No primeiro grupo, estão os aços galvanizados a quente com tratamento térmico do revestimento metálico (GA), cuja resistência à corrosão foi a melhor, tanto do ponto de vista do avanço médio como da penetração máxima da corrosão. Em

seguida, tem-se os aços sem tratamento térmico do revestimento metálico, representado pelos aços eletrolgalvanizados (EG) e galvanizados a quente (GI), com boa resistência à corrosão mas menor que a dos aços Usigal-GA. Por último, o aço carbono-manganês sem revestimento metálico, cujos avanço médio e a penetração máxima da corrosão foram superiores aos dos demais.

Além do tipo, a massa de revestimento metálico também influenciou nos resultados dos testes acelerados de corrosão. Com o acréscimo da massa, a resistência à corrosão aumentou, principalmente, quando se analisa a penetração máxima da corrosão dos aços carbono-manganês, Usigalve e Usigal-GA, Tabela 0 e Figura 0. Com quatro anos de teste de campo com aspersão de solução salina, o aço carbono-manganês foi totalmente destruído pelo processo corrosivo, evidenciando a importância do revestimento metálico na resistência à corrosão dos aços.

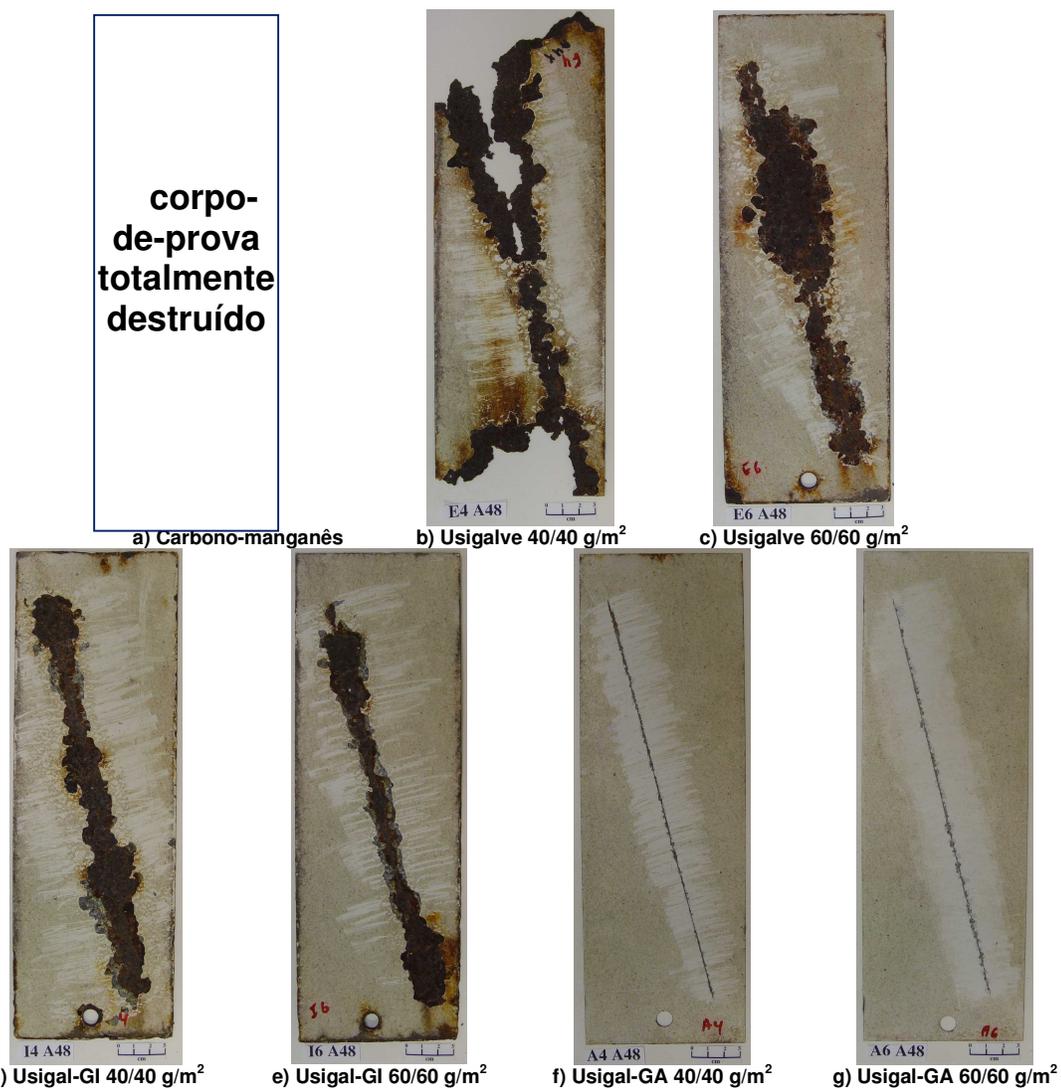


Figura 4 - Aspectos dos corpos-de-prova após quatro anos de testes de campo com aspersão de solução salina de NaCl a 5% p/v duas vezes por semana.

3.3 Teste Não-acelerado de Corrosão em Atmosfera Marinha

Observa-se na figura 0 que os avanços médios da corrosão dos aços no teste não-acelerado foram, qualitativamente, similares aos dos testes acelerados.

O aço galvanizado a quente com tratamento térmico do revestimento metálico (GA) apresentou a melhor resistência à corrosão. Os aços eletro galvanizados (EG) e galvanizados a quente (GI) tiveram desempenho intermediário dentre os aços avaliados; porém seus resultados de avanço médio da corrosão (~ 3,5 mm) são considerados muito bons para aplicações industriais. Da mesma forma que nos testes acelerados, o aço carbono-manganês sem revestimento metálico apresentou o maior avanço médio da corrosão.

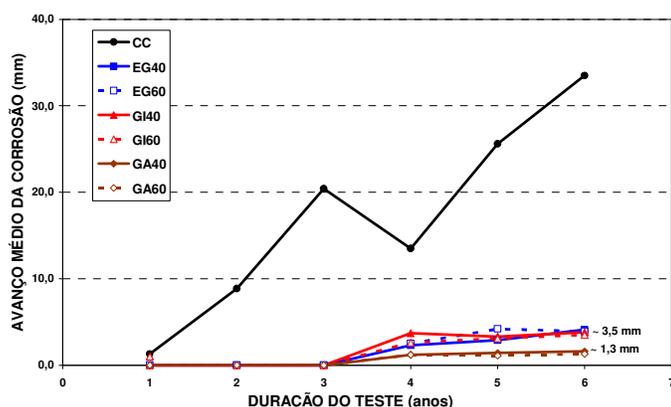


Figura 5 - Avanço médio da corrosão do teste não-acelerado de corrosão com exposição em atmosfera marinha.

Em relação à penetração máxima da corrosão, os resultados dos aços com revestimento metálico foram bons, menores que 0,05 mm, significando que levariam mais de quinze anos para perfurar. Por outro lado, o aço carbono-manganês apresentou perfuração total com apenas dois anos de exposição.

Os aspectos dos corpos-de-prova após seis anos de teste não-acelerado de corrosão em atmosfera marinha podem ser vistos na Figura 0.

Observa-se que o melhor aspecto, inclusive na região de danificação mecânica, foi o do aço Usigal-GA. O aço carbono-manganês apresentou destruição elevada, tanto na região do risco como nas bordas, perdendo cerca de 40% de sua massa. Os aços Usigalve e Usigal-GI apresentaram mesmos aspectos, sendo ambos adequados para aplicação industrial.

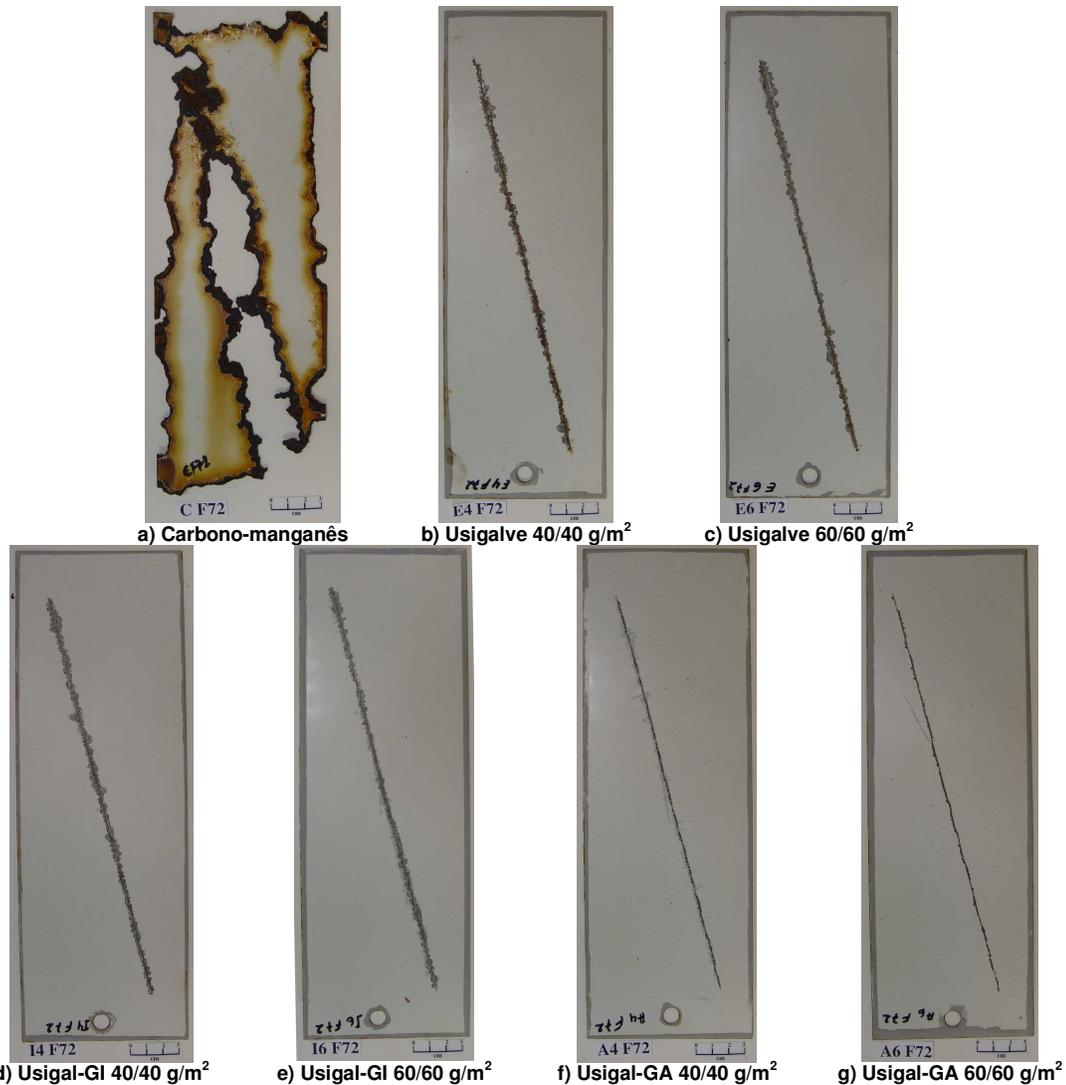


Figura 6 - Aspectos dos corpos-de-prova após seis anos de testes não-acelerado de corrosão em atmosfera marinha.

4 CONCLUSÃO

O tratamento térmico recebido pelo revestimento metálico dos aços galvanizados a quente, para formação de soluções sólidas intermetálicas intermediárias, como é o caso do aço Usigal-GA, aumentou na resistência à corrosão desses aços, fosfatizados e pintados. Verificou-se, também, que a resistência à corrosão dos aços eletro galvanizados e galvanizados a quente (Usigalve e Usigal-GI), fosfatizados e pintados, foi também muito boa para aplicações na indústria automobilística.

A evidência da importância do revestimento metálico na resistência à corrosão dos aços fica clara quando se analisa o avanço médio e a penetração máxima da corrosão apresentados pelo aço carbono-manganês (aço sem revestimento metálico) nos testes acelerados e não-acelerados de corrosão, cujos valores foram os mais altos dentre os aços avaliados. Nos demais aços, a resistência à corrosão aumentou com a massa de revestimento metálico.

Exceto pelos valores absolutos, os resultados de avanço médio da corrosão foram qualitativamente similares nos testes acelerados e não-acelerados de corrosão,

permitindo obter a mesma classificação de resistência à corrosão para os aços avaliados, ou seja: o melhor resultado foi o do aço galvanizado a quente com tratamento térmico da camada de zinco, seguido dos aços eletro galvanizados e galvanizados a quente e, por último, o aço carbono-manganês. Dessa forma, os testes acelerados de corrosão empregados neste trabalho podem ser utilizados na avaliação de desempenho quanto à corrosão de aços fosfatizados e pintados.

REFERÊNCIAS

- 1 NORMA NBR 10443 - Tintas - Determinação da Espessura da Película Seca - Método de Ensaio. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, agosto/1988.
- 2 NORMA NBR 11003 - Tintas - Determinação da Aderência. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, abril/1990.
- 3 NORMA NBR 8754 - Corpos-de-prova Revestidos e Expostos a Ambientes Corrosivo - Método de Avaliação. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, fevereiro/1985.
- 4 STANDARD GM 9540P - ACCELERATED CORROSION TEST. GENERAL MOTORS ENGINEERING STANDARDS, Dec./1997.
- 5 STANDARD ISO 11474 - Corrosion of metals and Alloys - Corrosion Tests in Artificial Atmosphere - Accelerated Outdoor Test by Intermittent Spraying of Salt Solution (Scab Test). ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, March/1998.
- 6 ALVARENGA, E. A. - Influência do Substrato Metálico e da Camada de Zinco na Resistência à Corrosão de Aços Eletro galvanizados Fosfatizados e Pintados. In: TESE DE DOUTORADO APRESENTADA AO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MINAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Belo Horizonte, fev./2007.
- 7 NORMA NBR 7011 - Materiais Metálicos Revestidos por Pintura - Ensaio Não-acelerado de Corrosão Atmosférica - Método de Ensaio. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, dezembro/1981.
- 8 NORMA ISO 9223 - Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of Atmospheres - Classification. ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 1992.