

Copyright 2010, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.

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

Resistência à Corrosão de Aços para Edificações Residenciais e Comerciais

Evandro de Azevedo Alvarenga¹

Abstract

This paper evaluates the atmospheric corrosion resistance of unpainted steel used in residential and commercial buildings. Among these steels are included the electrogalvanized steel and hot dip galvanized steels with and without a heat treated zinc layer. One possible application of these steels is in the manufacture of steel frames. To evaluate the atmospheric corrosion resistance, drywall and cement board boxes were fabricated in order to simulate the residential and commercial building's walls, within which the test specimens were exposed. These boxes were sheltered in Testing House (simulating the building itself) located at two Usiminas' corrosion stations: one in the industrial area in Ipatinga-MG (industrial atmosphere) and other in Arraial do Cabo-RJ (marine atmosphere), both located in Brazil. As a result, it was observed after five years of testing that only the carbon-manganese steel showed significant corrosion weight loss. The coated steels did not show corrosion weight loss or it was less than $0.1 \text{ g/m}^2 \cdot \text{year}$, meaning life of more than 100 years.

Resumo

Neste trabalho avalia-se a resistência à corrosão atmosférica de aços não pintados utilizados na fabricação de edificações residenciais e comerciais. Dentre esses aços destacam-se os eletro galvanizados e os galvanizados por imersão a quente com e sem tratamento térmico da camada de zinco. Uma das possíveis aplicações desses aços é na fabricação de perfis estruturais leves conformados a frio (*steel frame*). Para avaliar a resistência à corrosão atmosférica foram confeccionadas caixas de gesso acartonado e de placa cimentícia, de modo a simular paredes de edificações residenciais e comerciais, dentro das quais os corpos-de-prova foram expostos. Essas caixas ficaram abrigadas em Casas de Testes (que representam as próprias edificações) situadas em duas estações de corrosão da Usiminas: uma localizada em área industrial em Ipatinga-MG (atmosfera industrial) e a outra em Arraial do Cabo-RJ (atmosfera marinha). Como resultado após cinco anos de teste, apenas o aço carbono-manganês sem revestimento metálico apresentou perda de massa significativa por oxidação. Os demais aços com revestimentos metálicos não apresentaram perda de massa ou, então, foi inferior a $0,1 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}$, significando vida útil de mais de 100 anos.

Palavras-chave: revestimento metálico; zinco; ligas de zinco; teste de corrosão; construção civil; *steel frame*.

¹ Engenheiro Químico, Dr., Pesquisador Especialista da Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG

Introdução

Em 2008, o consumo aparente de produtos siderúrgicos cresceu 9%, atingindo a marca recorde de 24 milhões de toneladas⁽¹⁾. Dentre os setores consumidores finais, o destaque foi o da construção civil, com 21,3% superior ao observado em 2007. Esse setor ampliou sua participação no consumo aparente de 30,0% em 2007 para 33,4% em 2008, cuja distribuição está na Figura 1. Contribuíram para isso o resultado recorde do segmento imobiliário, que demanda predominantemente sistemas convencionais, assim como, o bom desempenho da construção em aço.

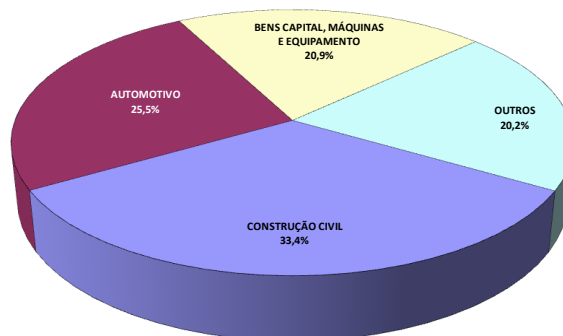


FIGURA 1 – Distribuição setorial do consumo aparente de aços no Brasil em 2008⁽¹⁾.

No entanto, no Brasil o emprego de aços na fabricação de edificações ainda é pouco expressivo. Segundo o Instituto Aço Brasil⁽²⁾, o percentual é em torno de 15% contra 85% da construção em concreto; havendo, portanto, muita oportunidade para a aplicação de aço. Em países como os Estados Unidos e Reino Unido essa participação é de 50% e 70%, respectivamente.

Os aços revestidos com zinco como os eletrogalvanizados ou galvanizados por imersão a quente, utilizados na fabricação de estruturas residenciais, apresentam muitas vantagens sobre outros materiais comumente empregados pela indústria da construção civil, como o cimento e a madeira. Os aços têm maior resistência mecânica por peso do que qualquer outro material destinado à construção civil e são 100% recicláveis. Contrariamente à madeira, o aço não queima e, portanto, não contribui como combustível para espalhar o fogo. Além disso, o aço não apodrece, não empena e não racha. O aço é dimensionalmente estável e não se expande e nem se contrai com a umidade ambiental. O fato do aço apresentar composição química sempre consistente e qualidade dimensional, permite a fabricação de estruturas sempre de acordo com normas nacionais ou internacionais, aplicáveis à indústria da construção civil.

Dados disponíveis na literatura sobre a resistência à corrosão de aços com revestimentos metálicos utilizados pela indústria da construção civil em edificações residenciais são muito promissores. Estudos conduzidos pela *British Steel* (atualmente *Corus* subsidiária da *Tata Steel*) no Reino Unido mostraram que a durabilidade de um revestimento metálico típico de perfis estruturais leves, com massa mínima de zinco de 150 g/m², seria de pelo menos 100 anos^(3,4). Patrocinados pela *International Lead Zinc Research*, os resultados da *American Iron and Steel Institute/Steel Framing Alliance*⁽⁵⁾, a partir de dados de perda de massa máxima de corpos-de-prova planos de aços galvanizados por imersão a quente (206 g/m² e 273 g/m²), foram ainda melhores. Após sete anos de exposição na *Florida, Maryland, New Jersey* e *Ontario*, a vida útil estimada para esses aços variou de 123 anos a 460 anos.

Neste trabalho, avaliou-se a resistência à corrosão de aços planos empregados pelo setor da construção civil na fabricação de perfis estruturais leves para edificações, mediante testes não-acelerados de corrosão atmosférica, em ambiente industrial e marinho. Os resultados apresentados a seguir referem-se a cinco anos de exposição.

Metodologia

Cortados a partir de bobinas industriais, os corpos-de-prova com dimensões de 100 mm x 300 mm foram identificados individualmente, desengraxados e pesados. Os aços estudados foram os seguintes:

- aço carbono-manganês sem revestimento metálico (doravante referenciado como carbono-manganês);
- aço eletrogalvanizado (Usigalve) com camada de revestimento metálico de 60/60 g/m²;
- aço eletrogalvanizado/pré-fosfatizado (Usigalve/Pré-fosfatizado) com camada de revestimento metálico de 60/60 g/m²;
- aço galvanizado por imersão a quente/pré-passivado com solução de cromo (Usigal-GI/Passivado), sem tratamento térmico do revestimento metálico e com camadas de 60/60 g/m², 100/100 g/m² e 130/130 g/m² e
- aço galvanizado por imersão a quente com tratamento térmico do revestimento metálico (Usigal-GA) e massa de camada de 90/90 g/m².

Na Figura 2 tem-se os aspectos de corpos-de-prova antes de testes de corrosão atmosférica. Observa-se que todos apresentam superfície limpa e isenta de defeitos e oxidação.

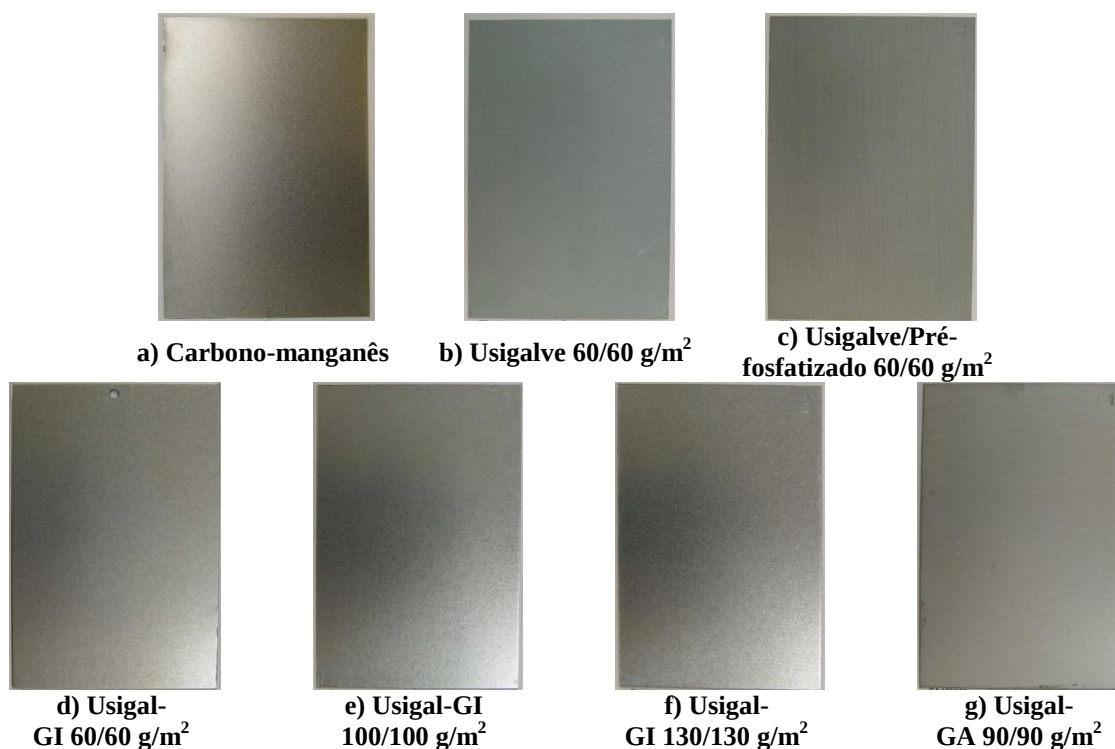


FIGURA 2 – Aspecto de corpos-de-prova antes dos testes de corrosão atmosférica

TESTES NÃO-ACELERADOS DE CORROSÃO ATMOSFÉRICA

Os testes não-acelerados de corrosão atmosférica consistiram na exposição de corpos-de-prova dentro de caixas propostas pelo *Kozai Club*⁽⁶⁾ do Japão, que por sua vez ficam abrigadas em ambientes industrial (Ipatinga-MG) e marinho (Arraial do Cabo-RJ) com cobertura. Essas caixas permitem simular processos de corrosão atmosférica e ciclos de umidificação e secagem naturais, nos quais sistemas construtivos fabricados a partir de perfis leves estruturais conformados a frio (*steel frame*) ficam expostos dentro de paredes de unidades residenciais e comerciais.

As caixas foram confeccionadas com gesso acartonado e placa cimentícia. O primeiro é aplicado em ambientes de pouca umidade e o segundo em paredes externas e ambientes úmidos como, por exemplo, banheiros, lavabos, cozinhas. Na Figura 3 mostra-se a configuração básica das referidas caixas, a disposição de corpos-de-prova no seu interior e o sensor de temperatura e umidade (*data logger Testostor 171/3 da Testo AG*).

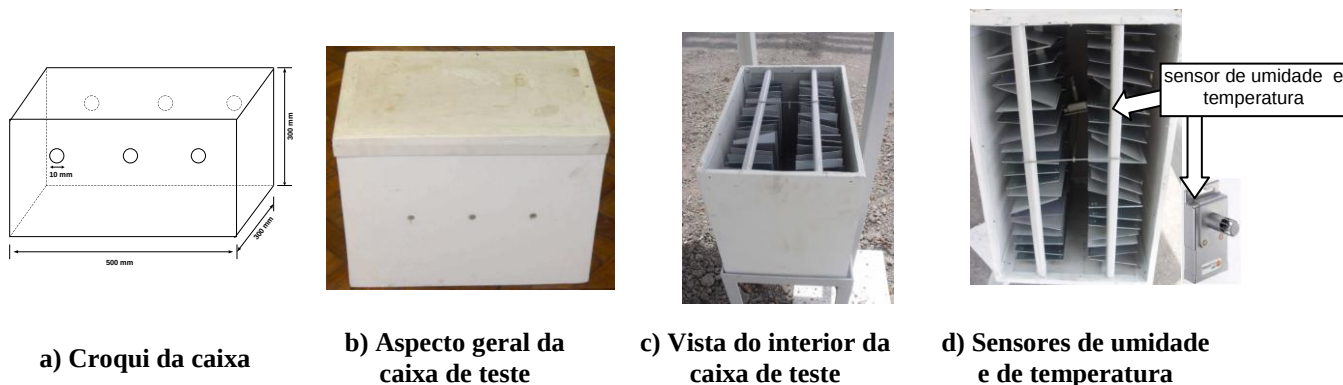


FIGURA 3 – Caixa de teste de corrosão para avaliação de resistência à corrosão atmosférica de aços para sistemas construtivos fabricados a partir de perfis estruturais leves conformados a frio (*steel frame*), destinados à indústria da construção civil.

Os testes não-acelerados de corrosão atmosférica foram programados para ter duração de vinte anos, com retirada anual nos três primeiros anos e depois bianual de cinco corpos-de-prova de cada aço estudado.

a) Casa de Testes de Corrosão - simulação de edificações residenciais e comerciais

Para simular edificações residenciais e comerciais, foram construídas duas Casas de Testes, com cobertura que permite avaliar os aços sem que fiquem expostos diretamente à radiação solar ou ao sereno e chuvas, conforme ilustrado na figura 4.



a) Aspecto geral



b) Detalhes do interior da Casa de Testes

FIGURA 4 – Casa de Testes de Corrosão da Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas.

Como o teto da Casa de Testes é revestido com isolante térmico, os aços não ficam sujeitos a aquecimentos exagerados, permanecendo à temperatura ambiente. Nessa condição simula-se o ambiente interno de construções residenciais e industriais. A parte superior da Casa de Testes representa as paredes internas e por isso utiliza-se caixas de gesso acartonado, e a parte inferior as paredes externas e, portanto, emprega-se caixas de placa cimentícia. As caixas de gesso acartonado ficam posicionadas a distância de 1600 mm do nível do solo e as de placa cimentícia a 500 mm desse mesmo nível.

b) Teste de exposição em atmosfera industrial

Uma das Casas de Testes foi instalada na Miniestação de Corrosão Atmosférica Industrial da Usiminas em Ipatinga-MG. Localizada dentro da área da usina, a Miniestação fica no mesmo nível da planta industrial, na altitude 247 m, latitude 19°29'09"S e longitude 42°32'01"O, Figura 5.



a) Miniestação de Ipatinga-MG



b) Detalhe da Casa de Testes

FIGURA 5 – Miniestação de Corrosão Atmosférica Industrial da Superintendência de Pesquisas e Desenvolvimento da Usiminas, em Ipatinga-MG.

As principais características atmosféricas da Miniestação de Corrosão são: presença de poluentes de origem industrial e pós de natureza orgânica e inorgânica; tendo como principais agentes corrosivos a umidade, compostos de enxofre, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono. A reação desses agentes corrosivos com água pode formar compostos ácidos.

O período de superfície úmida da Miniestação de Corrosão é de 50%, de acordo com a norma ISO 9223⁽⁷⁾. Ainda segundo essa norma, a Miniestação é considerada como sendo de baixa a média agressividade (C2 a C3), com corrosividade em torno de 0,3 kg Fe/m².ano.

c) Teste de exposição em atmosfera marinha

A segunda Casa de Testes foi instalada na Estação de Corrosão Atmosférica Marinha da Usiminas em Arraial do Cabo-RJ. Essa estação fica em área mais alta — a 48,7 m de altitude a partir do nível do mar, na latitude 23°00'49"S e na longitude 42°00'56"O — de uma ilha pertencente à Marinha do Brasil (Figura 6).

A atmosfera da Estação de Corrosão Atmosférica Marinha é caracterizada pela existência de sais à base de cloreto, umidade e respingos de água, sendo o nível de contaminação salina fortemente afetado pelas correntes de ar.

Com período de superfície úmida de 50% e corrosividade média de 0,6 kg Fe/m².ano, a Estação de Corrosão Atmosférica Marinha é classificada como de alta agressividade (C4)⁽⁷⁾.



a) Estação de corrosão atmosférica de Arraial do Cabo-RJ



b) Detalhe da Casa de Testes

FIGURA 6 – Estação de Corrosão Atmosférica Marinha da Usiminas, localizada em Arraial do Cabo-RJ.

d) Avaliação de corpos-de-prova após testes de corrosão atmosférica

Os parâmetros utilizados para avaliar os corpos-de-prova dos testes de corrosão foram perda de massa por oxidação e ocorrência de manchamento.

O procedimento para determinar a perda de massa por oxidação foi o seguinte:

- como mencionado anteriormente, antes dos testes de corrosão atmosférica pesou-se individualmente os corpos-de-prova em balança analítica com precisão de 0,1 mg;
- após o término de cada período de teste de corrosão removeu-se os produtos de corrosão de cinco corpos-de-prova imergindo-os em soluções químicas apropriadas, ou seja:
 - | aço carbono-manganês – solução de HCl a 50% v/v mais 3,5 g de hexametilenotetramina, durante 10 minutos a temperatura ambiente;
 - | aço revestido com zinco hexagonal (Usigalve e Usigal-GI) – solução de CrO₃ a 20% p/v, durante 1 minuto a 80°C;
 - | aço revestido com soluções sólidas intermetálicas intermediárias de zinco-ferro (Usigal-GA) – solução de CrO₃ a 20% p/v, durante 1 minuto a 80°C;
- a seguir, os corpos-de-prova foram lavados com água destilada, secos com nitrogênio e pesados individualmente em balança analítica com precisão de 0,1 mg;

- a taxa de perda de massa por oxidação foi calculada de acordo com a equação (1):

$$\Delta M_{\text{oxidação}(i)} = \frac{P_{\text{inicial}(i)} - P_{\text{final}(i)}}{A_{(i)} \cdot t} \quad (1)$$

onde:

$\Delta M_{\text{oxidação}(i)}$ = taxa de perda de massa por oxidação do corpo-de-prova (i) [g/m².ano];

$P_{\text{inicial}(i)}$ e $P_{\text{final}(i)}$ = massas inicial e final do corpo-de-prova (i) [g];

$A_{(i)}$ = área do corpo-de-prova (i) [m²] e

t = tempo de exposição [ano].

A presença de manchamento foi avaliada visualmente, anotando-se as diferenças observadas em relação aos corpos-de-prova de referência apresentados na figura 2.

Resultados e Discussão

MONITORAMENTO DE TEMPERATURA E UMIDADE

Os resultados de monitoramento de temperatura e de umidade nas Casas de Teste e dentro das caixas de gesso e de placa cimentícia encontram-se nas Tabelas I e II e na Figura 7.

TABELA I - Resultados de monitoramento da Casa de Testes e de caixas de gesso acartonado e de placa cimentícia da Miniestação de Corrosão Atmosférica Industrial de Ipatinga-MG, durante dezembro/2004 a julho/2009.

LOCAL DO TESTE DE CORROSÃO	TEMPERATURA (°C)			UMIDADE RELATIVA (%)			
	média	mínima	máxima	média	mínima	máxima	≥ 80%
Casa de Testes	24,9	10,5	42,6	82,7	17,1	100,0	62,9
Caixa de gesso acartonado	25,2	10,9	43,7	75,3	17,3	100,0	46,9
Caixa de placa cimentícia	24,9	10,4	41,5	75,9	24,6	100,0	45,9

TABELA II - Resultados de monitoramento da Casa de Testes e de caixas de gesso acartonado e de placa cimentícia da Estação de Corrosão Atmosférica Marinha de Arraial do Cabo-RJ, durante dezembro/2004 a julho/2009.

LOCAL DO TESTE DE CORROSÃO	TEMPERATURA (°C)			UMIDADE RELATIVA (%)			
	média	mínima	máxima	média	mínima	máxima	≥ 80%
Casa de Testes	23,9	13,9	44,1	90,4	22,1	100,0	78,8
Caixa de gesso acartonado	24,1	13,9	42,6	92,7	7,8	100,0	85,9
Caixa de placa cimentícia	23,8	11,9	41,2	92,6	15,0	100,0	86,3

Pelos resultados de monitoramento das condições ambientais constatou-se que os valores médios, mínimos e máximos de temperatura e de umidade relativa referentes à Miniestação de Corrosão e à Estação de Arraial do Cabo foram praticamente semelhantes nos três locais analisados: Casa de Testes (meio ambiente), caixa de gesso acartonado e caixa de placa cimentícia.

Outro resultado importante mostrado nas Tabelas I e II é o de percentagem de dados de umidade relativa acima de 80%; pois, para haver corrosão é preciso que a superfície esteja coberta por fina camada de água, o que acontece quando a umidade relativa está acima de 80%⁽⁷⁾. Segundo as referidas tabelas, houve condições para ocorrência de algum tipo de processo corrosivo entre 46% e 62% do tempo de exposição em atmosfera industrial e entre 78% e 86% em atmosfera marinha. Esses resultados confirmam a influência da brisa marinha nos processos corrosivos que ocorrem na Estação de Corrosão de Atmosférica de Arraial do Cabo e, portanto, sua maior agressividade.

Pelas análises dos dados, em atmosfera industrial 60% em média dos períodos em que a umidade relativa ficou acima de 80% foi à noite. Em atmosfera marinha essa média foi de 55%. Devido a queda de temperatura no período noturno os dados são consistentes.

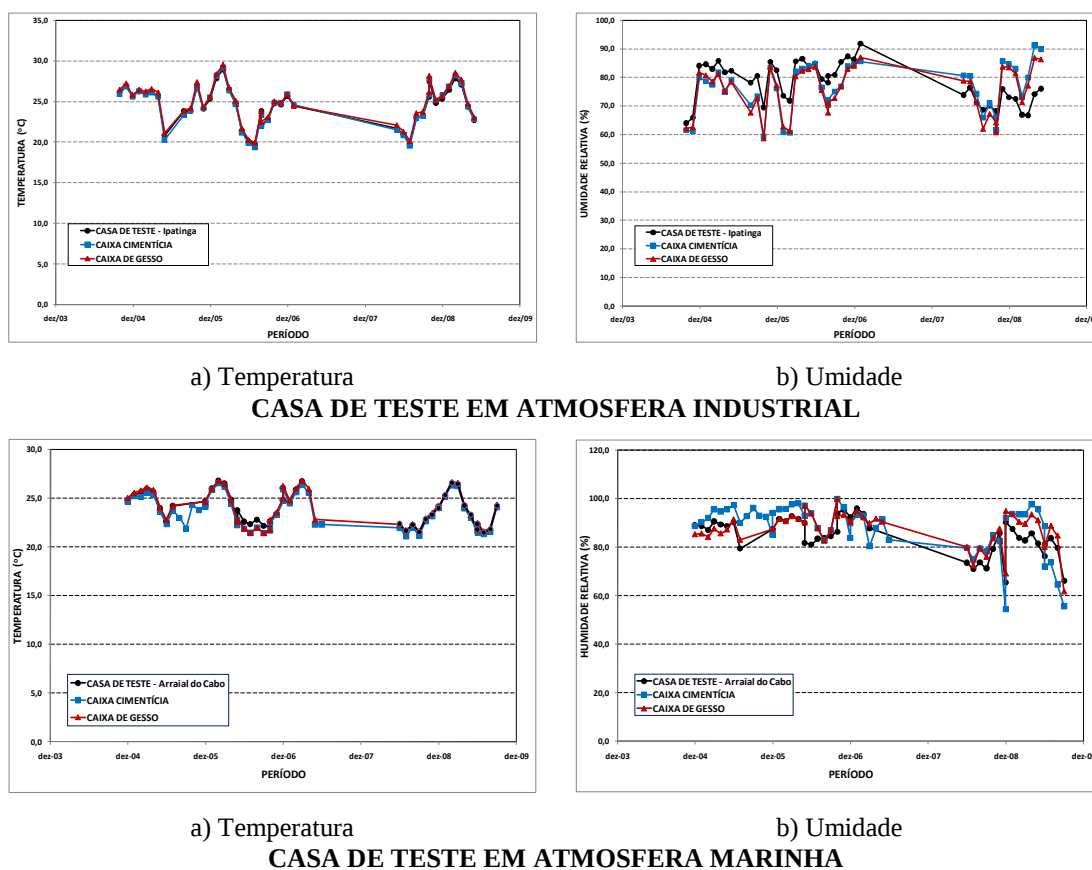


FIGURA 7 – Temperatura e umidade relativa da Casa de Teste e das caixa de gesso acartonado e placa cimentícia, durante o período de dezembro/2004 a julho/2009.

RESULTADOS DE TESTES DE CORROSÃO ATMOSFÉRICA

a) Teste de Resistência à Corrosão em Atmosfera Industrial

No teste de exposição em atmosfera industrial somente o aço carbono-manganês apresentou perda de massa mensurável após cada período de exposição, conforme indicado na Tabela III. Nos demais aços, a taxa de perda de massa por oxidação ou foi nula ou inferior a $0,1 \text{ g/m}^2\cdot\text{ano}$. Esses resultados são muito bons, mostrando que abrigados e sem contato direto com a água os aços metalicamente revestidos apresentam boa resistência à corrosão atmosférica.

O fato da taxa de perda de massa do aço carbono-manganês ter variado ao longo de cinco anos de exposição é normal nesse tipo de estudo. Provavelmente, deve-se à proteção por barreira proporcionada pelos produtos de corrosão do aço, à medida que são formados, apesar de não serem muito eficientes. Como a superfície do aço nem sempre é uniforme do ponto de vista termodinâmico, formam-se diferentes tipos de produtos de corrosão (hidróxidos e óxidos) de região para região, resultando em proteções contra corrosão desiguais de corpo-de-prova para corpo-de-prova.

TABELA III – Resultados do teste de corrosão realizado na Casa de Testes da Miniestação de Corrosão Atmosférica Industrial de Ipatinga-MG.

TIPOS DE AÇO	TAXA DE CORROSÃO (g/m².ano)								AVALIAÇÃO VISUAL DOS CORPOS-DE-PROVA APÓS O QUINTO ANO DE EXPOSIÇÃO
	CAIXA DE GESSO ACARTONADO				CAIXA DE PLACA CIMENTÍCIA				
	1 ano	2 anos	3 anos	5 anos	1 ano	2 anos	3 anos	5 anos	
Carbono-manganês	0,29 ± 0,07	0,27 ± 0,03	0,10 ± 0,04	0,40 ± 0,13	1,68 ± 0,15	6,56 ± 4,07	3,78 ± 0,65	3,21 ± 1,33	Gesso acartonado – poucos pontos de corrosão vermelha. Placa cimentícia – muitos pontos de corrosão vermelha distribuídos quase uniformemente.
Usigalve 60/60	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Gesso acartonado – pequena perda de brilho nas bordas. Placa cimentícia – presença de manchas em algumas regiões do corpo-de-prova.
Usigalve/Pré-fosfatizado 60/60	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Nenhuma alteração superficial, mudança de coloração, manchas, dentre outros.
Usigal-GI 60/60 passivado	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Usigal-GI 100/100 passivado	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Usigal-GI 130/130 passivado	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Usigal-GA 90/90	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Gesso acartonado – presença de manchas de tonalidade leve. Não houve evolução de ano para ano. Placa cimentícia – ocorrência de manchas de intensidade e tonalidade mais acentuadas que nas caixas de gesso, mas não houve evolução de ano para ano.

Pelo aspecto dos corpos-de-prova após cinco anos de exposição em atmosfera industrial, observou-se que apenas o aço carbono-manganês apresentou processo corrosivo, sendo mais intenso na caixa de placa cimentícia, Tabela III e Figuras 8a e 9a. Houve nesse aço nítida evolução da corrosão de ano para ano.

A maior incidência de corrosão nos corpos-de-prova expostos na caixa de placa cimentícia era esperada, pois sua posição mais próxima ao nível do chão (500 mm) tem maior contato com a umidade e respingos de água de chuva, apesar de protegida pela Casa de Teste. A placa cimentícia é para aplicações em locais de umidade alta, como por exemplo, banheiros, cozinha e tapamentos laterais de edificações.

Os aços Usigalve e Usigalve/Pré-fosfatizado expostos dentro da caixa de gesso acartonado (condição de melhor cobertura) não apresentaram nenhuma alteração substancial em suas superfícies, apenas o aço Usigalve teve perda de brilho nas bordas, Tabela III e figuras 8b e 8c. Por outro lado, em condições mais severas (caixa de placa cimentícia) o aço Usigalve apresentou algumas manchas escuras, que não comprometem seu desempenho, Tabela III e Figuras 9b e 9c.

Os aços Usigal-GI não apresentaram alterações visíveis em sua superfície, Tabela III e Figuras 8d a 8f, 9d a 9f. O pré-tratamento industrial de passivação aplicado nesses aços provavelmente contribuiu para esse bom desempenho.

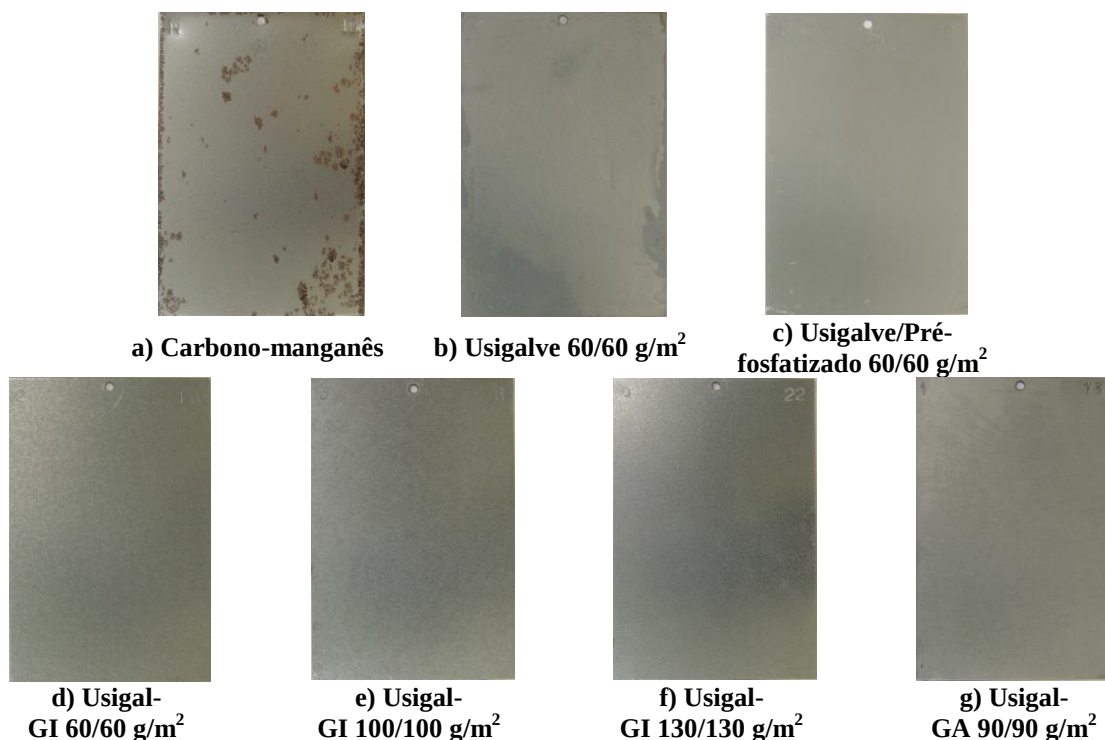


FIGURA 8 – Aspecto de corpos-de-prova após cinco anos de exposição dentro da caixa de gesso acartonado e na Casa de Testes em atmosfera industrial.

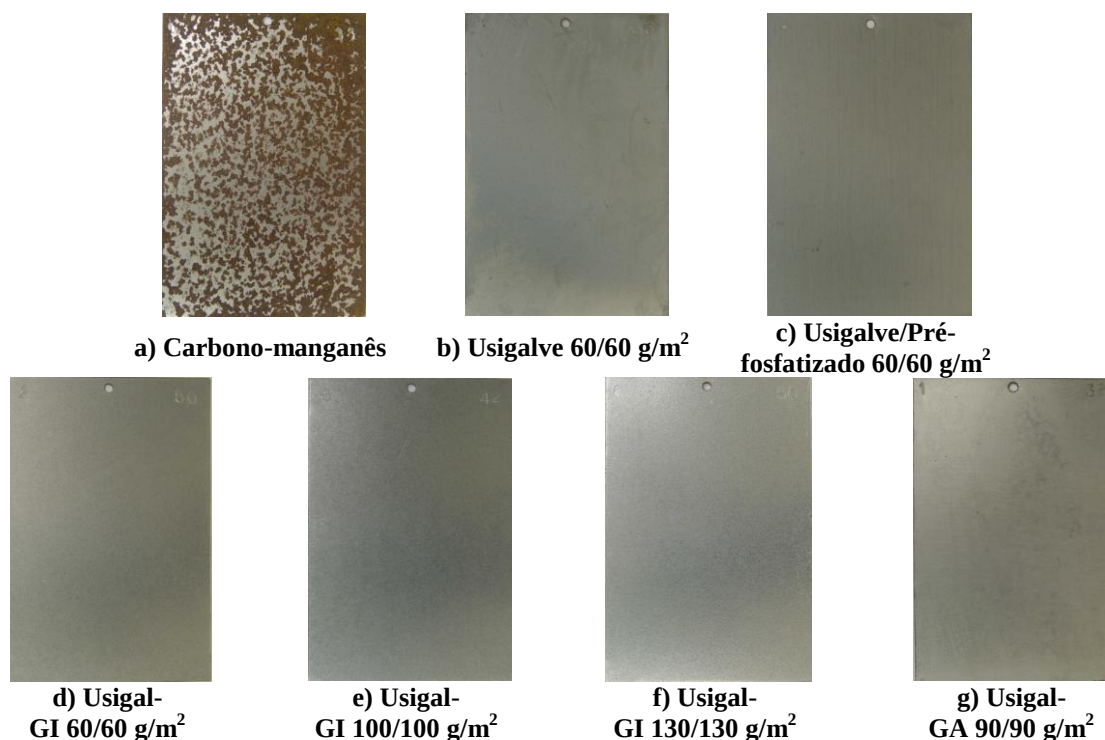


FIGURA 9 – Aspecto de corpos-de-prova após cinco anos de exposição dentro da caixa de placa cimentícia e na Casa de Testes em atmosfera industrial.

O aço Usigal-GA apresentou algumas manchas que variaram de tonalidade leve a acentuada, Tabela III e Figuras 8g e 9g. Essas manchas já estavam presentes desde o primeiro ano de exposição e, grosso modo, não houve ano a ano evolução marcante de seu tamanho e coloração. É comum aos aços com revestimento do tipo *galvannealed* (GA) apresentar algumas manchas superficiais quando ficam em contato durante muito tempo com a umidade ambiental. O escurecimento da superfície é ocasionado pela presença de ferro no revestimento metálico desses aços, constituído de soluções sólidas intermetálicas intermediárias de zinco e ferro formadas durante seu processo de produção. Essas manchas, compostas por delgada camada de óxido, são tão superficiais (da ordem de angströms) que sua remoção não foi detectada pela balança analítica utilizada para medir a perda de massa dos corpos-de-prova, cuja precisão era de 0,1 mg. A aplicação de pré-tratamento (fosfatização, passivação, silanização, nanocerâmica) seria suficiente para minimizar a formação de manchas, caso necessário.

b) Teste de Resistência à Corrosão em Atmosférica Marinha

Similarmente ao ocorrido em atmosfera industrial, apenas o aço carbono-mangânês apresentou perda significativa de massa por oxidação, conforme mostrado na Tabela IV. Para os demais aços metalicamente revestidos, a perda de massa foi menor que 0,1 g/m².ano. Novamente, trata-se de resultados muito bons, demonstrando que na condição abrigados e sem contato direto com a água, os aços com revestimentos metálicos apresentam boa resistência à corrosão atmosférica.

TABELA IV – Resultados do teste de corrosão realizado na Casa de Testes da Estação de Corrosão Atmosférica Marinha da Usiminas em Arraial do Cabo-RJ.

TIPOS DE AÇO	TAXA DE CORROSÃO (g/m².ano)								AVALIAÇÃO VISUAL NO QUINTO ANO DE EXPOSIÇÃO
	CAIXA DE GESSO ACARTONADO				CAIXA DE PLACA CIMENTÍCIA				
	1 ano	2 anos	3 anos	5 anos	1 ano	2 anos	3 anos	5 anos	
Carbono-mangânês	0,53 ± 0,05	0,66 ± 0,04	0,66 ± 0,34	1,35 ± 0,26	1,91 ± 0,13	1,77 ± 0,73	3,59 ± 1,57	4,43 ± 1,36	Gesso acartonado – pontos de corrosão vermelha com baixa intensidade. Placa cimentícia – muitos pontos de oxidação vermelha e de intensidade mais alta, tendendo para generalizada.
Usigalve 60/60	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Gesso acartonado – não apresentaram nenhuma alteração. Placa cimentícia – perda de coloração e presença de manchas de coloração escura
Usigalve/Pré-fosfatizado 60/60	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Nenhuma alteração superficial, mudança de coloração, manchas, dentre outros.
Usigal-GI 60/60 passivado	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Usigal-GI 100/100 passivado	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Usigal-GI 130/130 passivado	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Usigal-GA 90/90	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Gesso acartonado – não apresentaram nenhuma alteração. Placa cimentícia – manchas escuras de tonalidade intensa.

Os desvios de taxa de perda de massa observados para o aço carbono-manganês durante os cinco anos de exposição foram grandes, principalmente os da caixa cimentícia. No entanto, esses dados foram, grosso modo, menores que os de testes em atmosfera industrial. Em atmosfera marinha, as condições ambientais são mais severas por causa da presença de agentes corrosivos muito agressivos e, por isso, os produtos de corrosão do aço carbono-manganês não conseguem protegê-lo por barreira como provavelmente o fizeram no caso da exposição em atmosfera industrial. A correção desses desvios passa por maior tempo de exposição.

Após cinco anos de exposição em atmosfera marinha e dentro de caixa de gesso acartonado, o aço carbono-manganês apresentou alguns pontos de oxidação vermelha, localizados próximos à sua borda, Tabela IV e figura 10a. Dentro de caixa de placa cimentícia a intensidade de processos corrosivos foi bem maior, tendendo para corrosão generalizada, Figura 11a. A diferença foi propiciada pela posição das caixas na Casa de Testes, conforme explicado anteriormente.

Estando mais protegido, o aço Usigalve não apresentou nenhuma alteração em seu aspecto superficial, como é o caso da caixa de gesso acartonado, Tabela IV e Figura 10b. Em condições de maior exposição às condições ambientais (caixa de placa cimentícia) apresentou perda de coloração e manchas escuras, Figura 11b.

Os aços Usigalve/Pré-fosfatizado e Usigal-GI não apresentaram alterações visíveis a olho nu no aspecto superficial quando expostos sob cobertura em atmosfera marinha, independentemente se estavam dentro de caixas de gesso ou de placa cimentícia, Tabela IV e

Figuras 10c a 10f e 11c a 11f. Contribuíram para essa melhor condição os pré-tratamentos industriais aplicados aos aços: fosfatização e passivação, respectivamente.

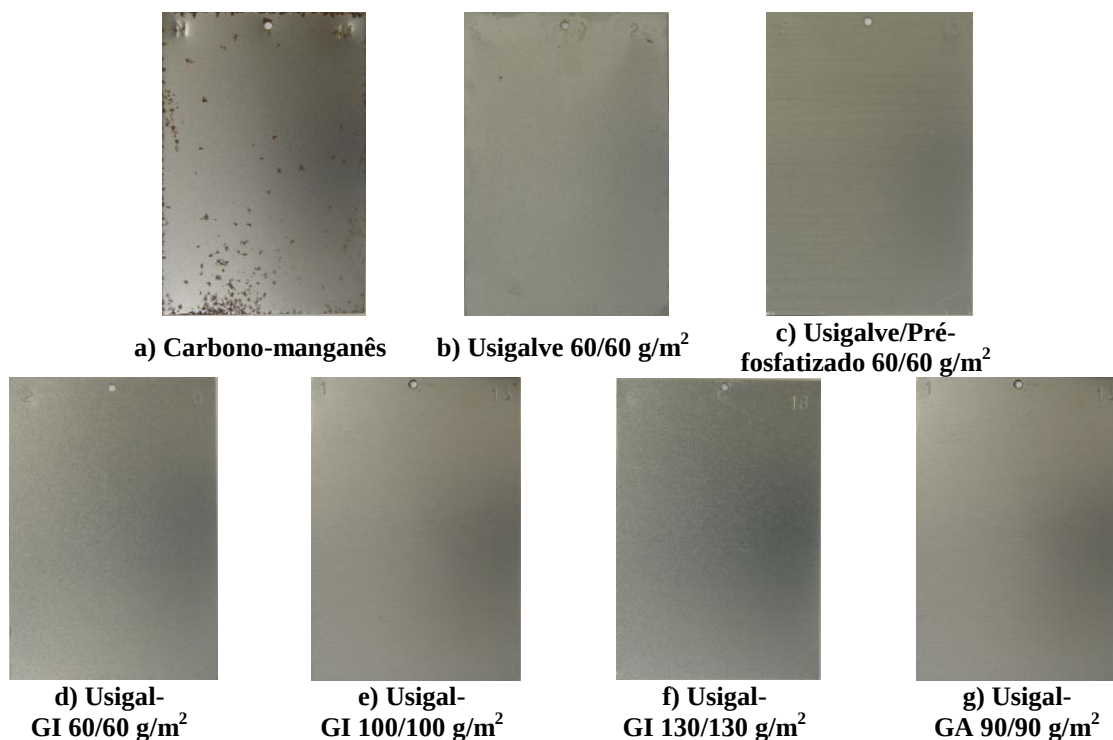


FIGURA 10 – Aspecto de corpos-de-prova após cinco anos de exposição dentro da caixa de gesso acartonado e na Casa de Testes em atmosférica marinha.

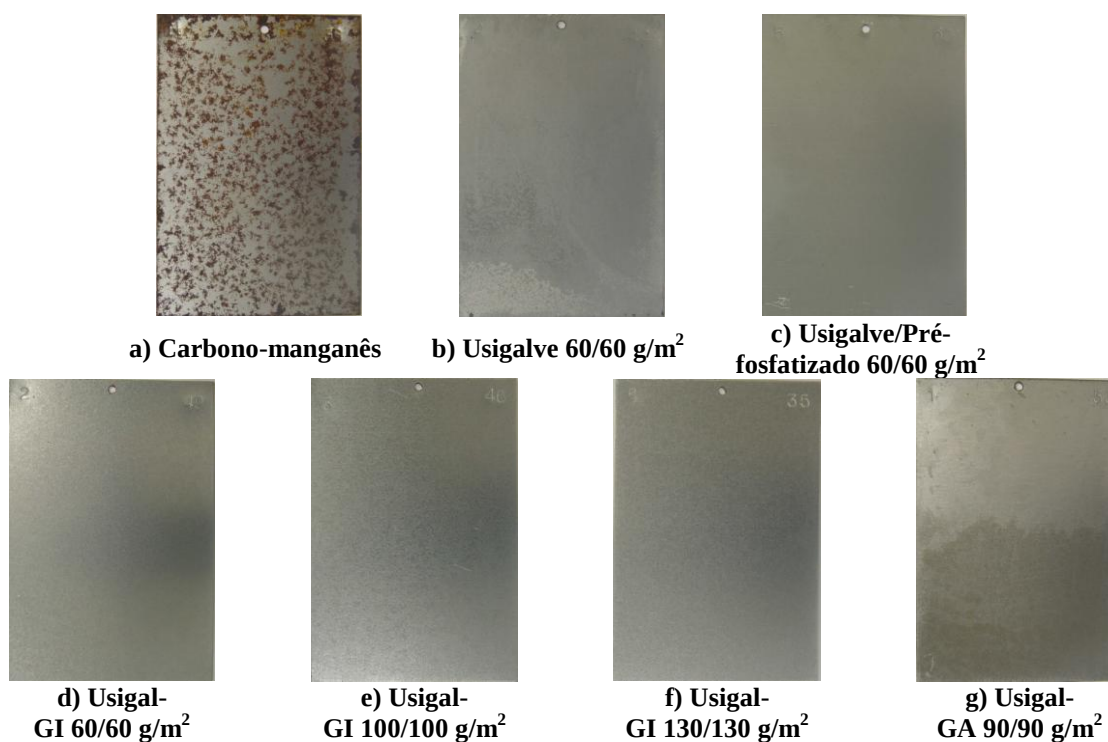


FIGURA 11 – Aspecto de corpos-de-prova após cinco anos de exposição dentro da caixa de placa cimentícia e na Casa de Testes em atmosférica marinha.

Em atmosfera marinha e depois de cinco anos de exposição, os aços Usigal-GA não apresentaram alterações no aspecto superficial quando estavam dentro de caixa de gesso acartonado, mas dentro de caixa de placa cimentícia exibiram manchas de tonalidade escura, Tabela IV e Figuras 10g e 11g. Como já dito, as condições ambientais relativas à caixa de placa cimentícia são mais severas comparativamente às de gesso acartonado e manchas escuras devido à umidade são comuns de ocorrer em aços com revestimento do tipo *galvannealed*. Como as manchas são muito finas, não trarão nenhum problema de perda substancial de massa de revestimento metálico.

Conclusões

Dos resultados de testes de corrosão atmosférica, em ambiente industrial e marinho, somente o aço carbono-manganês sem revestimento metálico apresentou perda significativa de massa devido a processos corrosivos. Os demais aços, eletro galvanizados e galvanizados por imersão a quente, não apresentaram taxas de perda de massa mensuráveis ($< 0,1 \text{ g/m}^2\text{.ano}$). Apenas em alguns dos aços houve formação de manchas, as quais não chegam a comprometer suas qualidades.

O bom desempenho dos aços avaliados neste estudo — eletro galvanizados e galvanizados por imersão a quente — quanto a resistência à corrosão atmosférica foi similar a de outros estudos descritos na literatura⁽³⁻⁵⁾, os quais estimam a durabilidade desses aços em mais de 100 anos, quando aplicados na fabricação de perfis estruturais leves conformados a frio (*steel frame*).

A validação dos dados obtidos no presente estudo, passa pela exposição dos referidos perfis estruturais em edificações residenciais ou industriais, motivo de novos estudos.

Referências bibliográficas

- 1 IBS – Mercado Brasileiro de Aço. Análise Setorial e Regional. IBS - INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA (atualmente Instituto Aço Brasil). Rio de Janeiro, maio/2009.
- 2 CBCA – Construção em Aço: Aço nas Estatísticas. CBCA - CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO. Dez./2009.
- 3 AISI – Durability of Cold-Formed Steel Framing Members. AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE, Oct./1996.
- 4 V. John. – Durability of Galvanized Steel Building Components in Domestic Housing. BRITISH STEEL TECHNICAL – WELSH LABORATORIES, 1991.
- 5 NATIONAL ASSOCIATION OF HOMEBUILDER (NAHB) RESEARCH CENTER, INC. Galvanized Steel Framing for Residential Buildings. Research Report RPO6-1 ILZRO RESEARCH PROGRAM ZC-4. AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE, STEEL FRAMING ALLIANCE, Marc/2006.
- 6 NOMURA, H.; MATSUMOTO, M.; TOZAKI, H.; YAMAMOTO, M.; TSUJIKAWA, S. – Corrosion Resistance of Zinc and Zinc-aluminum Alloy Coated Steel Sheets used for Steel-Framed House. PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ZINC AND ZINC ALLOY COATED STEEL SHEET - GALVATECH'98, pp. 399-403. Chiba, 1998.
- 7 NORMA ISO 9223:1992 (E) – Corrosion of Metals and alloys - Corrosivity of Atmospheres - Classification. ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 1992.