

DESEMPENHO DOS AÇOS DA USIMINAS RESISTENTES À CORROSÃO ATMOSFÉRICA EXPOSTOS EM AMBIENTES INDUSTRIAL E MARINHO¹

Adão Vieira de Faria²
Geralda Cristina Durães de Godoy³
José Geraldo de Sousa⁴
Rogério Augusto Carneiro⁵

Resumo

Foi realizada uma avaliação comparativa do desempenho quanto à corrosão atmosférica do tradicional aço patinável da Usiminas USI-SAC-41 e do novo aço com baixo teor de cobre, USI-SAC-300. Amostras desses aços laminados a quente foram expostas por até três anos em ensaio não acelerado de corrosão em atmosferas marinha e industrial. Utilizando-se ensaios de perda de massa e técnicas de análise por luz polarizada e difração de raios-X, foi possível concluir que o novo aço da Usiminas, o USI-SAC-300, com baixo teor de cobre, apresenta melhor desempenho contra a corrosão atmosférica que o aço USI-SAC-41.

Palavras-chave: Aço patinável; Corrosão atmosférica.

PERFORMANCE OF USIMINAS ATMOSPHERIC CORROSION RESISTANT STEELS EXPOSED IN MARINE AND INDUSTRIAL ENVIRONMENTS

Abstract

A comparative evaluation of the atmospheric corrosion resistance of the new weathering steels USI-SAC-300, with low Cu addition, with the traditional Usiminas USI-SAC-41 was carried out in marine and industrial environments. After testing for up to 3 years the hot rolled samples of both steels were evaluated in laboratory including corrosion weight loss measurements and polarized light and X-ray diffraction analyses. The results of the laboratory evaluations allowed to conclude that the new weathering steel USI-SAC-300 showed better performance than the traditional USI-SAC-41 steel.

Key words: Weathering steel; Atmospheric corrosion.

¹ Contribuição técnica ao 44º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 16 a 19 de outubro de 2007, Campos do Jordão – SP, Brasil.

² Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Mestrando em Engenharia, CQE/CQA, Superintendência de Metalurgia e Garantia da Qualidade da Usiminas; Ipatinga, MG.

³ Membro da ABM, Engenheira Metalurgista, Dra., Professora do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG; Belo Horizonte, MG.

⁴ Membro da ABM, Engenheiro Químico, M.Sc., Superintendência de Metalurgia e Garantia da Qualidade da Usiminas; Ipatinga, MG.

⁵ Membro da ABM, Engenheiro Químico, M.Sc, Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas; Ipatinga, MG.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação do aço na construção civil é bastante difundida em países desenvolvidos por suas vantagens sobre o concreto, como, por exemplo, maior versatilidade, menor prazo para conclusão da obra, vãos livres maiores, melhor organização do canteiro de obras e mais soluções arquitetônicas.⁽¹⁾

Na Inglaterra as obras metálicas já se equiparam, em volume, às de concreto, com um consumo de aço em torno de 15 kg/ano/hab; enquanto no Japão a aplicação do aço é ainda maior, atingindo 30 kg/ano/hab. No Brasil o consumo de aço na construção civil ainda encontra-se abaixo de 2 kg/ano/hab.⁽¹⁾

A corrosão é um dos maiores problemas que ocorre com os aços carbono. Dentre as medidas para sua prevenção, estão o emprego de revestimentos metálicos e/ou esquemas de pintura. A utilização de aços carbono resistentes à corrosão atmosférica, conhecidos como aços patináveis ou aclimáveis (*weathering steels*), é também uma forma de reduzir as taxas de corrosão e otimizar o desempenho dos revestimentos, pois estes aços apresentam boa resistência à corrosão atmosféricas devido à adição de elementos de liga, tais como cobre, cromo, níquel, silício e fósforo.⁽¹⁾

O fósforo adicionado ao aço em conjunto com o cobre melhora as suas propriedades de resistência à corrosão. Na prática, teores de fósforo de 0,06% parecem melhorar de uma maneira considerável a resistência à corrosão sem afetar as propriedades mecânicas do material, porém teores acima de 0,1% afetam as propriedades mecânicas.⁽¹⁾

O cobre, mesmo em teor de 0,03%, tem um efeito significativo na redução da taxa de corrosão atmosférica dos aços de baixa liga. O mecanismo da ação do cobre na resistência à corrosão atmosférica de chapas de aço fosfatizadas e pintadas é de natureza eletroquímica e se deve à ação conjunta da menor taxa de corrosão do aço e da melhor característica protetora da camada de óxido formada.⁽²⁾

O silício, que sozinho tem um pequeno efeito na resistência à corrosão dos aços, pode ser bastante benéfico quando adicionado juntamente com o cobre, cromo e fósforo, fato confirmado pelas equações que definem o índice de corrosão descrito da norma ASTM G 101.⁽³⁾

Uma atualização permanente, buscando em especial agregar mais valor ao aço, é uma constante dos produtores de aço em todo mundo. Os tradicionais aços aclimáveis USI-SAC-41 e USI-SAC-50 da Usiminas têm agora novas versões, USI-SAC-300 e USI-SAC-350, respectivamente, ambos com pedido de patente.⁽¹⁾

Estas novas versões foram idealizadas não só para desenvolver resistência extra à corrosão atmosférica quando comparadas aos aços tradicionais, mas também com o objetivo de obter melhor desempenho durante sua fabricação. Embora os aços USI-SAC-300 e USI-SAC-350 contenham maiores teores de silício e fósforo e menores teores de carbono, cobre e cromo, sua soldabilidade não é prejudicada.⁽¹⁾

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho frente à corrosão atmosférica do tradicional aço patinável da Usiminas USI-SAC-41 e do novo aço USI-SAC-300, em atmosferas industrial e marinha. Nessa avaliação foram usados o método de perda de massa de corpos-de-prova expostos por até três anos em ensaio não-acelerado de corrosão atmosférica, bem como as técnicas de luz polarizada e difração de raios-X para caracterizar as camadas de óxidos protetora formadas na superfície dos aços.⁽⁴⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

A composição química das amostras referente aos aços USI-SAC-300 (SiP) e USI-SAC-41 (CuCr) e carbono comum (CC) estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química típica das amostras dos aços USI-SAC-300 (SiP) e USI-SAC-41 (CuCr) e carbono comum.

Aço	Composição química (% em massa)					
	C	P	Si	Cu	Cr	Ni
SiP	0,08	0,035	1,13	0,07	0,20	0,06
CuCr	0,08	0,017	0,34	0,32	0,54	0,02
CC	0,04	0,015	0,090	0,01	0,02	0,06

Para avaliação da corrosão foram utilizados os métodos de luz polarizada, difração de raios-X e perda de massa por corrosão.

2.1 Perda de Massa

O ensaio não-acelerado de perda de massa por corrosão foi executado de acordo com a norma NBR 6209⁽⁵⁾. Para a realização desse ensaio utilizou-se as estações de corrosão atmosférica da Usiminas localizadas em Arraial do Cabo-RJ (atmosfera marinha) e de Ipatinga-MG (atmosfera industrial). Os corpos-de-prova ficaram expostos nestas duas estações por até três anos, no período compreendido entre dezembro de 2002 e dezembro de 2005.

A estação de corrosão atmosférica industrial fica dentro da área interna da Usiminas, em Ipatinga, na latitude 19°29'38"S, longitude 42°33'12"O e a 47,0 m acima do nível da planta industrial e a estação de corrosão atmosférica marinha está localizada na latitude 23°00'49"S e longitude 42°00'56"O, a 48,7 m de altitude em relação ao nível do mar na ilha de Cabo Frio, em Arraial do Cabo.⁽⁶⁾

O período de superfície úmida (tempo em que a umidade relativa do ar é superior a 80%, permitindo a formação de um filme de água muito fino sobre a superfície metálica o qual funciona como eletrólito) desses testes foi de 50%⁽⁷⁾ e a corrosividade, conforme a norma ISO9223,⁽⁷⁾ para o aço carbono comum foi classificada como média (C3) para a atmosfera industrial e muito alta (>C5) para a atmosfera marinha.⁽⁶⁾

Os corpos-de-prova foram preparados a partir de bobinas laminados a quente dos aços SiP, CuCr e CC, com dimensões de 100 mm x 150 mm e espessuras nominais de 4,90 mm, 3,16 mm e 4,90 mm, respectivamente. A exposição dos corpos-de-prova nas estações de corrosão atmosféricas foi feita de acordo com a norma NBR6209.⁽⁵⁾ A perda de massa foi determinada conforme a norma NBR6210.⁽⁸⁾

2.2 Difractometria de Raios-X

As análises da camada de óxidos foram dos tipos qualitativa (caracterização dos tipos de óxidos) e semiquantitativa (quantidade relativa de cada tipo de óxido presente). Essa análise foi realizada em óxidos raspados⁽¹¹⁾ e triturados provenientes de amostras expostas durante 24 meses nas estações de corrosão,

industrial e marinha já descritas anteriormente. Foi utilizado o equipamento Rigaku, equipado com tubo de Cu ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$), velocidade de varrimento de $1^\circ/\text{min}$, tensão 40 kV e corrente 20 mA.

2.3 Luz Polarizada

Esta avaliação, visando identificar e registrar em fotos as regiões ativas e estabilizadas na camada de óxidos, foi realizada somente em corpos-de-prova expostos durante 24 meses nas estações de Arraial do Cabo e de Ipatanga. Foram preparadas 2 seções metalográficas (cortes transversal e longitudinal) para cada uma das combinações aço/atmosfera nas quais foram realizadas fotos com luz transmitida polarizada claro/escuro. Estas fotos foram realizadas com uma câmara fotográfica Axio Mot 35 mm, acoplada ao microscópico AxioPhot Pol. Esses equipamentos são do fabricante ZEISS.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Perda de Massa

Para o cálculo da perda de massa foram utilizados 3 corpos-de-prova para o primeiro ano e terceiro ano e somente 2 corpos-de-prova para o segundo ano de ensaio. Os valores das taxas médias de corrosão para cada tempo de ensaio foram calculados adotando-se o intervalo de confiança de 95%. Em seguida foi testada a hipótese de igualdade entre as médias da taxa de corrosão para cada tempo de ensaio.

Na Tabela 2, são mostrados para cada tipo de aço os valores médios estimados das taxas de corrosão⁽⁹⁾ com intervalo de confiança das médias de 95%, para os corpos-de-prova expostos em atmosferas industrial e marinha relativo aos períodos de 1, 2 e 3 anos de exposição. O aço SiP apresentou, em todos os casos, menores médias de taxas de corrosão que os aços CuCr e CC (Figuras 1 e 2).

Tabela 2 – Taxa média de corrosão por perda de massa para exposição durante 1, 2 e 3 anos em atmosferas marinha e industrial.

Atmosfera	Aço	Taxa de Corrosão (mm/ano) ^(a)		
		1 ano	2 anos	3 anos
marinha	SiP	0,094 (+/-0,007)	0,077 (+/-0,025)	0,066 (+/-0,016)
	CuCr	0,103 (+/-0,009)	0,086 (+/-0,057)	0,082 (+/-0,027)
	CC	0,214 (+/-0,005)	0,630 (+/-0,578)	0,792 (+/-0,070)
industrial	SiP	0,053 (+/-0,007)	0,037 (+/-0,019)	0,033 (+/-0,003)
	CuCr	0,062 (+/-0,010)	0,044 (+/-0,006)	0,039 (+/-0,001)
	CC	0,066 (+/-0,005)	0,050 (+/-0,006)	0,043 (+/-0,014)

(a) Intervalo de confiança, 5% significância, da média da população para amostra pequena "t-Student"

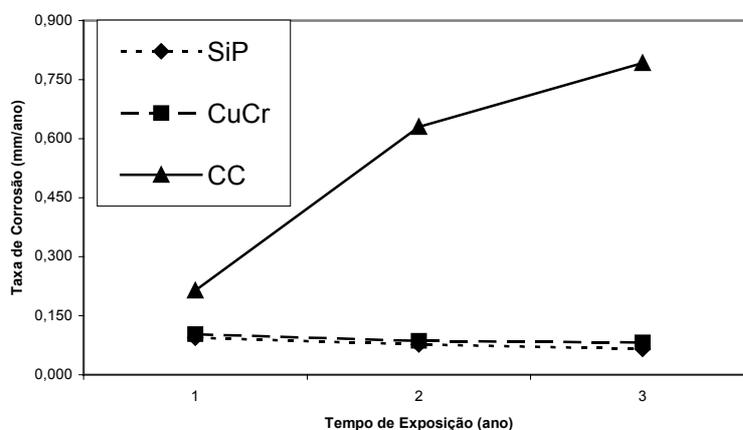


Figura 1 - Taxa de corrosão para tempos de exposição de 1, 2 e 3 anos em atmosfera marinha (Arraial do Cabo).

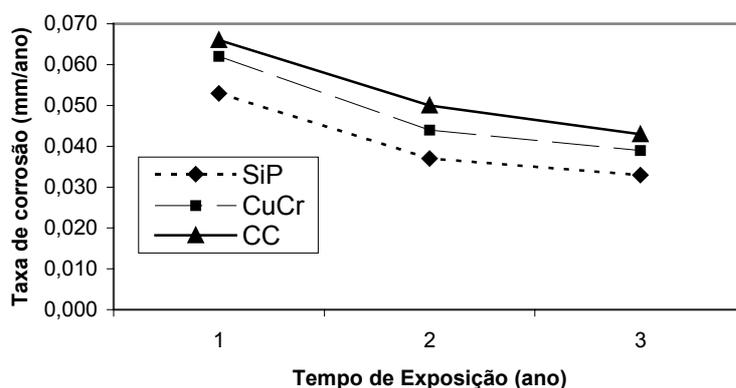


Figura 2 - Taxa de corrosão para tempos de exposição de 1, 2 e 3 anos em atmosfera industrial (Ipatinga-MG).

Foi realizado teste de hipótese de igualdade entre as médias da taxa de corrosão nas duas atmosferas, do primeiro ano e segundo ano, do segundo ano e terceiro ano e do primeiro ano e terceiro ano. Nesse teste foi usado a técnica estatística “t-Student” para amostras pequenas. A hipótese de igualdade entre as médias foi aceita ou rejeitada para o intervalo de confiança de 95%. Foi confirmado no referido teste que as médias do primeiro e terceiro ano não são iguais, logo o desempenho dos aços é diferente. Não foi confirmado se existe diferença em algumas comparações de médias da taxa de corrosão do primeiro ano para o segundo ano e desse para o terceiro ano.

Em atmosfera marinha, do primeiro para o segundo ano, o aço SiP apresentou uma redução na taxa de corrosão de 18,0% e o CuCr de 16,6%. Do

segundo para o terceiro ano esta redução foi de 14,0% e 4,7%, respectivamente. A taxa de corrosão do aço CC, ao contrário dos outros dois, aumentou em 195,0% do primeiro para o segundo ano e 25,5% do segundo para o terceiro ano, atingindo o valor de 0,792 mm/ano no terceiro ano, o que é bastante elevado (Figura 1).

A redução na taxa de corrosão em atmosfera marinha ao longo do tempo só não ocorreu para o aço CC, porque seus óxidos formados na presença dos íons Cl^- não são suficientemente compactos e aderentes para reduzir o avanço da corrosão. Foi mostrado por Yamashita et al.⁽¹⁰⁾ que teores mais elevados de íons Cl^- comprometem a eficiência da camada protetora de óxidos, inclusive para os aços aclimáveis. Esse resultado está de acordo com outro estudo realizado na estação de Arraial do Cabo (atmosfera marinha) o que mostra que a taxa de corrosão do aço carbono comum é de 1533,5 g/(m².ano) cuja corrosividade foi classificada como >C5, ou seja, muito alta.⁽⁶⁾

Em atmosfera industrial, os três aços mostraram redução na taxa de corrosão, tanto do primeiro para o segundo ano, como do segundo para o terceiro ano. As reduções foram de 30,0% para os aços SiP e CuCr e de 24,2% para o aço CC do primeiro para o segundo ano e 10,8% para o aço SiP, 11,3% para o CuCr e 14,0% para o CC do segundo para o terceiro ano (Figura 2).

Com o desenvolvimento da camada de óxidos ao longo do tempo, como mostrado por Yamashita et al.,⁽¹¹⁾ a taxa de corrosão apresentou reduções no caso do ensaio em atmosfera industrial. Essa redução é considerada normal e pode ser creditada à barreira mecânica proporcionada pela camada de óxidos, que dificulta o contato entre o ferro do substrato metálico e o oxigênio, a umidade e os agentes corrosivos do meio ambiente. Na estação de Ipatinga (atmosfera industrial) a taxa de corrosão do aço carbono comum foi de 327,7 g/(m².ano), classificada como C3 ou seja de corrosividade média.⁽⁶⁾

3.2 Difratometria de Raios-X

Os resultados obtidos por difratometria de raios-X, da camada de óxidos protetora dos aços SiP, CuCr e CC, expostos por 24 meses em atmosferas marinha e industrial, estão na Figura 3. Nessa figura estão mostrados os resultados da análise qualitativa e a da determinação da quantidade relativa de cada fase presente nas amostras analisadas.

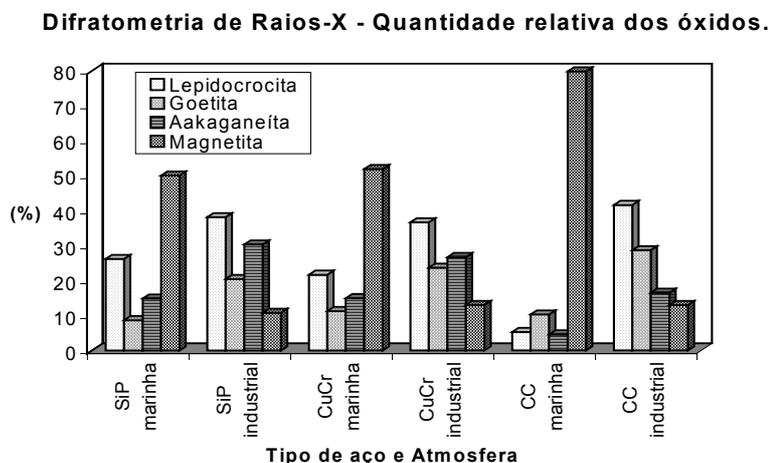


Figura 3 – Análise da camada de óxidos obtida por difratometria dos raios-X

A goetita (α -FeOOH) formada na camada mais interna dos óxidos do aço carbono comum possui diâmetro bem maior, com até 100 nm, enquanto que nos aços patináveis esse diâmetro fica abaixo de 10 nm. Os cristais de lepidocrocita (γ -FeOOH) da camada externa de óxidos dos aços patináveis, bem como aquelas formadas nos aços carbono comuns, são também bem maiores que as nanopartículas de goetita (α -FeOOH) dos aços patináveis. Enquanto os aços patináveis apresentam uma camada interna de óxidos rica em goetita ultrafina e compacta, resistente à corrosão, os aços comuns apresentam uma mistura de partículas grosseiras de lepidocrocita e goetita contendo vazios e trincas que reduzem sua resistência contra a corrosão.⁽¹¹⁾

A literatura menciona que os aços patináveis e comuns apresentam aproximadamente a mesma área superficial específica (m^2/g) para a camada de óxidos. O volume total e as dimensões dos microporos da camada de óxidos dos aços patináveis é cerca da metade do observado na camada de óxidos dos aços carbono comuns, o que contribui para aumentar a resistência contra a corrosão, uma vez que a difusão de água e dos agentes corrosivos através da camada de óxidos fica dificultada.⁽¹⁰⁻¹³⁾

Pode ser observado que na atmosfera marinha as proporções dos óxidos nos aços SiP e CuCr são similares. Comparativamente a esses dois aços, o aço CC apresenta menores quantidades de lepidocrocita e akaganeíta (β -FeOOH) e maior quantidade de magnetita (Fe_3O_4). Isso está de acordo com o mencionado na literatura.^(10,12,13)

Em atmosfera industrial houve uma acentuada queda na proporção de magnetita (Fe_3O_4), comparativamente à atmosfera marinha para todos os aços. No caso dos aços SiP e CuCr os pontos percentuais dessa queda foram distribuídos quase que equitativamente entre os demais óxidos. Já no caso do aço CC o aumento na quantidade de lepidocrocita foi bem mais acentuado do que nas quantidades de goetita e akaganeíta.

A presença significativa de akaganeíta na atmosfera industrial para todos os três aços, inclusive maior que a observada em atmosfera marinha, não era esperada, uma vez que tal óxido forma-se principalmente em atmosferas com presença de íons cloreto.^(10,14)

3.3 Microscopia Óptica por Luz Polarizada

Foram obtidas fotos das seções metalográficas com luz polarizada de corpos-de-prova dos aços SiP, CuCr e CC expostos em atmosfera industrial e marinha por dois anos. A figura 4 apresenta como referência as fotos com luz polarizada do aço SiP onde podem ser visualizadas camadas de óxidos de cor escura ou não polarizadas (goetita e óxidos amorfos) e as camadas de cor clara ou polarizadas (lepidocrocita e akaganeíta),^(4,14,15) bem como a estratificação destas fases e a espessura da camada de óxidos.

Para melhor entendimento dos resultados das fotos com luz polarizada foram avaliadas semiquantitativamente para os três aços expostos nas duas atmosferas a quantidade de área com polarização, o grau de estratificação das fases com e sem polarização e a espessura da camada de óxidos (Tabela 3).

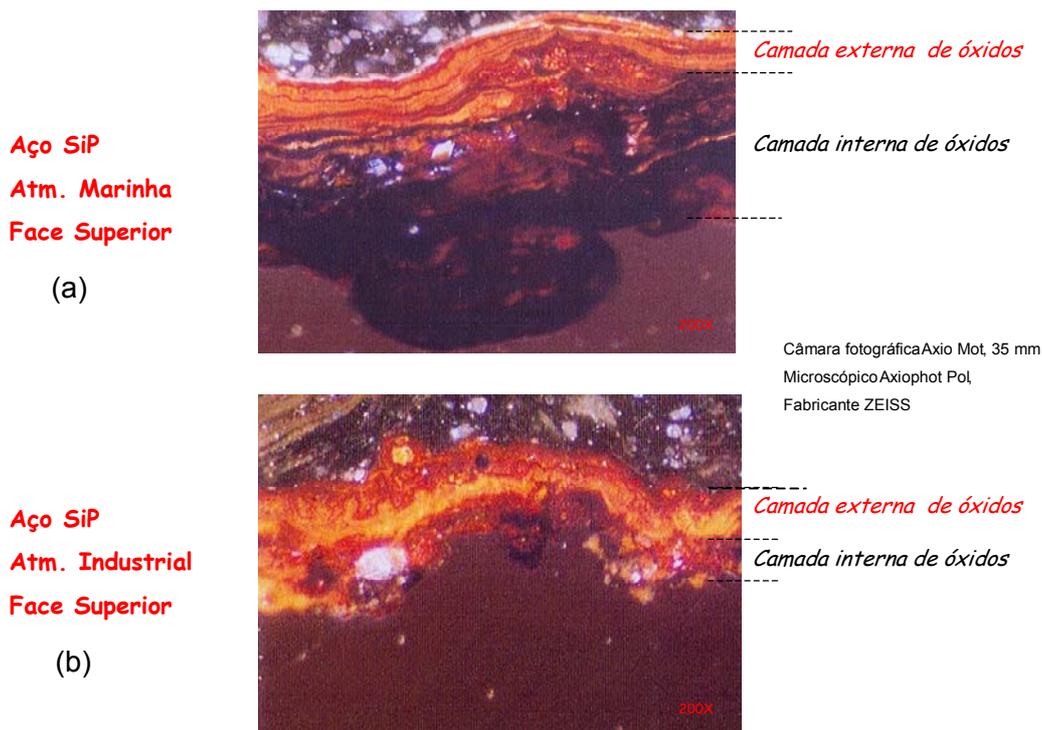


Figura 4 – Fotos com luz polarizada da seção da face superior dos corpos-de-prova expostos em atmosferas marinha (a) e industrial (b).

Nas áreas das fotos com coloração marrom escuro, predominam os óxidos não polarizados como a goetita e os óxidos amorfos e nas áreas com coloração clara, vermelho ou alaranjado, predominam a lepidocrocita e a akaganeíta^(4,14,15) óxidos polarizados. Para os aços SiP e CuCr é maior a quantidade de área escura para exposição em atmosfera marinha. Nessa mesma atmosfera a estratificação das fases com e sem polarização é também maior para os três aços.^(4,15) O aço CC teve desprendimento da camada de óxidos no manuseio, o que pode ter comprometido seus resultados (Tabela 3).

Para atmosfera marinha, o predomínio de uma maior estratificação das fases polarizadas e não polarizadas e uma forte presença de área escura nas fotos dos três aços, não está em acordo com o observado por Yamashita⁽¹¹⁾ e Kashima⁽¹⁵⁾ e nem com os resultados da difratometria de raios-X (Figura 3). A forte presença de magnetita encontrada pela difratometria de raios-X nas camadas de óxidos destes três aços está em acordo com Miranda⁽⁴⁾ e pode explicar o observado nestas fotos. Nessa atmosfera também não foram observadas diferenças significativas entre os três aços no que diz respeito ao resultado da análise semi quantitativa das fotos com luz polarizada.

Para atmosfera industrial, o predomínio da fase polarizada (lepidocrocita) observada nas fotos dos três aços, SiP, CuCr e CC está em acordo com o observado por Yamashita⁽¹¹⁾ e Kashima⁽¹⁵⁾ e com os resultados (da difratometria de raios-X), figura 3. Devido ao pequeno período de exposição na atmosfera industrial, não foi possível distinguir diferenças significativas entre os três aços no que diz respeito à análise semi quantitativa das fotos com luz polarizada (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultado da análise semi quantitativa das áreas com polarização das fases da camada de óxidos, de amostras dos aços SiP, CuCr, e CC, com dois anos de exposição em atmosfera marinha e industrial

Tipo de aço	Atmosfera	Quantidade de área com Polarização das Fases ^(a)		Estratificação das fases com e sem polarização ^(a)		Espessura da camada de óxidos ^(a)	
		Sup ^(b)	Inf ^(b)	Sup	Inf	Sup	Inf
SiP	Marinha						
	Industrial						
CuCr	Marinha						
	Industrial						
CC	Marinha					(c)	(c)
	Industrial						

(a) Baixa; Média; Alta; (b) = Face superior (Sup) e Inferior (Inf) do corpo-de-prova; (c) Houve perda da camada de óxidos durante o manuseio.

A espessura da camada de óxidos observada nas fotos do aço SiP é menor ou igual a do aço CuCr, tanto para atmosfera marinha como para a industrial, tabela 3, o que está coerente com os resultados de taxa de corrosão, figuras 1 e 2, confirmando a superioridade do aço SiP quanto à perda de massa por corrosão. O aço CC apresenta espessura de camada de óxidos em atmosfera industrial próxima a do aço CuCr o que está coerente com os resultados de taxa de corrosão, figura 2.

4 CONCLUSÕES

Nos testes de perda de massa em atmosferas marinha e industrial, o aço SiP apresentou desempenho superior ao CuCr no que diz respeito a resistência a corrosão (Tabela 4).

Tabela 4 – Resistência à corrosão atmosféricas dos aços USI-SAC-300 (SiP), USI-SAC-41 (CuCr) e carbono comum (CC) após exposição em atmosferas industrial e marinha.

Tipo de Teste	Tipo de Aço	Resistência à Corrosão ^(a)	
		Atmosfera Marinha	Atmosfera Industrial
Perda de massa	SiP		
	CuCr		
	CC		
Luz Polarizada	SiP		
	CuCr		
	CC		
Difração de Raios-X	SiP		
	CuCr		
	CC		

(a) inferior; médio melhor; melhor; muito melhor.

Com a luz polarizada, devido ao pequeno tempo de exposição das amostras (dois anos somente), a única distinção detectável está na forma da camada de óxidos formada nesse período nas duas atmosferas, marinha e industrial. O aço SiP apresentou uma camada de óxido com aspecto mais regular que o CuCr e o CC. Como esperado, foi observada uma tendência dos óxidos se estratificarem, estando

os óxidos não polarizados concentrados mais junto à interface substrato/camada de óxidos e os óxidos polarizados localizados mais acima (Tabela 4).

Com difratometria de raios-X foi possível detectar os constituintes normalmente encontrados nas camadas de óxidos, goetita, lepidocrocita, akaganeíta e magnetita, e a quantidade relativa presente destes constituintes. O baixo tempo de exposição das amostras em atmosferas marinha e industrial, a não avaliação da porção amorfa e do tamanho dos cristais das camadas de óxidos, impediram uma melhor caracterização desses óxidos (Tabela 4).

REFERÊNCIAS

- 1 FARIA, V. A. - Avaliação do Desempenho Frente à corrosão Atmosférica dos Aços USI-SAC-41 E USI-SAC-300 em Atmosferas Industrial e Marinha. Dissertação de Mestrado Universidade federal de Minas Gerais, Março/2007.
- 2 MIRANDA, F. J. F., SOUSA, J. G., PINTO, J. A. Q. - Mecanismo da ação do cobre na melhoria da resistência à corrosão de chapas de aço revestidas – Anais do XXXIX Congresso Anual da ABM, 39, Belo Horizonte, MG, p.419-434, (1984).
- 3 ASTM G 101 - *Standard Guide for Estimating the Atmospheric Corrosion Resistance of Low-Alloy Steels* AMERICAN STANDARDS FOR TESTING MATERIALS, Vol. 03.02, (2004).
- 4 MIRANDA, L. R. – *Les Aspects Electrochimiques de la Corrosion Atmosphérique des Aciers Patinables*, CEBELCOR, RT. 221, vol. 125, (1974)
- 5 NBR6209 – Materiais Metálicos Não-revestidos Ensaio Não Acelerado de Corrosão Atmosférica. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, outubro, (1986).
- 6 ALVARENGA, E., BUONO, V. - Influência do Substrato Metálico na Resistência à Corrosão de Aços Eletro galvanizados Fosfatizados e Pintados (1995). Anais do LX Congresso Anual da ABM, 60, Belo Horizonte, MG, p. 038-046, (1984).
- 7 NORMA ISO 9223 - *Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of Atmospheres - Classification*. ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – (1992).
- 8 NBR6210 – Preparo, Limpeza e Avaliação da Taxa de corrosão de Corpos-de-prova em ensaios de corrosão – Procedimento. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, maio, (1987).
- 9 NBR8278 - Grandezas e Unidades Aplicadas à Corrosão uniforme – Padronização. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, novembro, (1983).
- 10 YAMASHITA, M., ASAMI, K., ISHIKAWA, T., OHTSUKA, T., TAMURA, H., MISAWA, T. - *Characterization of Rust Layers on Weathering Steel Exposed to the Atmosphere for 17 years*. CORROSION ENGINEERING v. 50, pp 733-750, (2001).
- 11 YAMASHITA, M., MIYUKI, H., MATSUDA, Y., NAGANO, H., MISAWA, T. – *The long term growth of the protective rust layer formed on weathering steel by atmospheric corrosion during a quarter of a century*. CORROSION SCIENCE, vol. 36, nº 2, pp.283-299, (1994).
- 12 YAMASHITA, M., NAGANO, H., MISAWA, T., TOWNSEND, H. E. – *Structure of Protective Rust Layers Formed on Weathering Steels by Long-term Exposure in the Industrial Atmospheres of Japan and North America*. ISIJ International, vol.38, Nº 3, pp. 285-290, (1998).

- 13 YAMASHITA, M., MISAWA, T. – *Long-Term Phase Change of Rust Layer on Weathering Steel with Respect to Cr-substituted Ultra-Fine Goethite. CORROSION ENGINEERING, vol. 49, pp. 159-163, (2000).*
- 14 SHIOTANI, K., TANIMOTO, W., MAEDA, C., KAWABATA, F., AMANO, K. – *Structural Analysis of the Rust Layer on a Bare Weathering Steel Bridge Exposed in a Coastal Industrial Zone for 27 Years. CORROSION ENGINEERING, vol. 49, pp. 99-109, (2000).*
- 15 KASHIMA, K., HARA, S., KISHIKAWA, H., MIYUKI, H. – *Evaluation of Protective Ability of Rust Layers on Weathering Steels by Potential Measurement. CORROSION ENGINEERING, vol. 49, pp. 25-37, (2000).*