



AÇO ESTRUTURAL DE ELEVADAS RESISTÊNCIAS MECÂNICAS E A CORROSÃO ATMOSFÉRICA MARINHA¹

Rogério Augusto Carneiro²
Evandro de Azevedo Alvarenga³

Resumo

Foi desenvolvido, em escala piloto, aço estrutural Ni-Si-Mo com limite de escoamento acima de 480 MPa e alta resistência à corrosão atmosférica marinha. A elevada resistência mecânica possibilita reduzir a espessura de componentes metálicos e, conseqüentemente, o peso final de toda a estrutura, tanto da parte metálica quanto de alvenaria. A resistência à corrosão foi medida por meio de teste acelerado de corrosão atmosférica com aspersão intermitente de solução salina a 3% p/v de NaCl três vezes por semana (norma ISO 11474), durante três anos, e de teste não-acelerado de corrosão com exposição em atmosfera marinha (norma NBR 6209), durante seis anos, comparativamente a aços USI-SAC-300 (patinável) e SAE 1006. O desempenho do aço Ni-Si-Mo foi muito superior, com taxas de corrosão menores e ausência de deslocamento de camada de óxidos. O melhor desempenho anticorrosivo, atribuído à formação de camada de óxidos mais compacta e protetora, permite não utilizar proteção por pintura na maioria de situações em que esta é necessária para os aços patináveis tradicionais. Desta forma, são eliminados os custos diretos da pintura inicial e da sua manutenção, bem como os indiretos devido a eventuais necessidades de paradas operacionais, além de problemas relacionados com dificuldades de acesso ou contaminações.

Palavras-chave: Aço estrutural patinável; Resistência à corrosão atmosférica; Resistência mecânica.

STRUCTURAL STEEL WITH HIGH MECHANICAL STRENGTH AND ATMOSPHERIC CORROSION RESISTANCES

Abstract

A Ni-Si-Mo structural steel was developed with yield strength above 480 MPa and high atmospheric corrosion resistance. The high yield strength enables the thickness reduction of metallic components and, consequently, the weight of the whole structure, including masonry. The corrosion resistance was measured by field tests with intermittent sprinkling of 3% w/v NaCl salt solution three times a week (ISO 11474) during three years and exposure to marine atmosphere (NBR 6209) during six years, compared with USI-SAC-300 (weathering steel) and SAE 1006 steels. The Ni-Si-Mo steel showed the best performance and its oxide layer did not scale off. According to these results, it is possible to recommend the use of the unpainted Ni-Si-Mo steel in environments where the traditional weathering steel usually requires painting. In this way, all costs involved with maintenance, repair and eventual shutdowns can be eliminated, as well as occasional problems such as contamination and poor access to the site.

Key words: Structural weathering steel; Atmospheric corrosion resistance; Mechanical strength.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheiro Químico, M.Sc., Pesquisador Especialista da Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG.

³ Engenheiro Químico, Dr., CQE/ASQ, Pesquisador Especialista da Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG.



1 INTRODUÇÃO

A corrosão geralmente é problema para estruturas de aços carbono e tem como principais causas a umidade e os íons cloreto e/ou compostos de enxofre em concentrações suficientemente altas na atmosfera. Dentre as medidas para sua prevenção estão a aplicação de revestimentos metálicos e/ou esquemas de pintura. A utilização de aços carbono com resistência à corrosão atmosférica, como os de normas ASTM A588,⁽¹⁾ conhecidos como aços patináveis ou aclimáveis (*weathering steel*), pois formam camadas de óxidos resistentes à corrosão atmosférica que possibilitam muitas vezes que sejam utilizados sem nenhum tipo de proteção, e ASTM A606,⁽²⁾ é também uma forma de reduzir as taxas de corrosão e otimizar o desempenho nesse quesito.

Entretanto, mesmo esses aços estão sujeitos a processos corrosivos intensos; eventualmente com corrosão anômala, em que a camada de óxidos se desprende em lamelas, quando expostos a ambientes marinhos de elevada concentração de íons cloreto. Nessa situação, a proteção anticorrosiva é necessária e acarreta, além dos custos iniciais de aplicação de pintura, outros decorrentes de manutenções periódicas desta pintura. Deve-se considerar, ainda, as dificuldades de acesso que podem inviabilizar a manutenção e, até mesmo, o emprego de aço em determinada estrutura.

Com relação à presença de íons cloreto na atmosfera, alguns países exigem a proteção de estruturas por pintura quando a taxa de deposição desses íons supera determinados valores, que variam em função de métodos de análise ou da fonte destes íons.⁽³⁾ No Japão, onde o mar é a principal fonte, a pintura deve ser feita quando a taxa de deposição, determinada pelo método de gaze seca (JIS Z 2382⁽⁴⁾), é superior a 5 mg Cl⁻/m².dia. Nos Estados Unidos, onde o sal utilizado no degelo de estradas é o principal gerador de íons cloreto e o método de análise é o de vela úmida (ASTM Test G140⁽⁵⁾), cerca de duas vezes mais eficiente na coleta desses íons da atmosfera, a pintura é exigida quando a taxa de deposição é maior do que 50 mg Cl⁻/m².dia. Na Inglaterra, que também utiliza o método de vela úmida, mas a origem de íons cloreto é o mar, a pintura deve ser feita quando a taxa de deposição supera 10 mg Cl⁻/m².dia. No Brasil não há normas ou recomendações de quando se deve pintar uma estrutura, sendo a pintura feita por análise subjetiva ou por motivos estéticos.

Assim, embora os aços apresentem vantagens sobre o concreto, como menor peso, possibilidade de vãos livres maiores, variedade de soluções arquitetônicas, rapidez de construção, menores perdas de material e canteiros de obra mais limpos, os custos relacionados à eventual pintura inicial da estrutura e também àqueles decorrentes de sua manutenção ao longo da vida útil, são fatores que contribuem para a perda de competitividade do aço e para inibir sua maior utilização, principalmente junto à orla marinha.

Com o propósito de agregar valor ao aço e ampliar a participação no setor de construção civil, a Usiminas desenvolveu um aço carbono de alta resistência mecânica, doravante Ni-Si-Mo, para aplicação sem pintura em estruturas destinadas a ambientes onde a taxa de deposição de íons cloreto pode atingir valores da ordem de 100 mg/m².dia. Essas características foram obtidas por meio de adições de elementos químicos de liga Ni, Si e Mo ao aço carbono.

O objetivo deste trabalho é avaliar a resistência à corrosão atmosférica do aço Ni-Si-Mo comparativamente aos aços SAE 1006 e USI-SAC-300, sendo esse último versão de melhor resistência à corrosão atmosférica do tradicional aço patinável

USI-SAC-41. As taxas de corrosão foram determinadas ao longo de três anos em teste acelerado de corrosão atmosférica com aspersão intermitente de solução salina e de seis anos em teste não-acelerado de corrosão atmosférica marinha.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais e Preparação de Superfície

Além do novo aço estrutural Ni-Si-Mo, foram utilizados os aços USI-SAC-300 (SAC-300) e SAE 1006. O primeiro foi obtido a partir de chapa laminada a quente produzida em escala piloto, com espessura nominal de 5,5 mm, enquanto os dois últimos foram provenientes de bobinas industriais laminadas a quente, com espessuras nominais de 5,0 mm. Na Tabela 1 são apresentadas as composições químicas e na Tabela 2 as propriedades mecânicas desses aços. A preparação da superfície para os testes de corrosão constou de jateamento com granalha de aço até ao padrão Sa 3 (metal branco) da norma SIS 05 5900.⁽⁶⁾

Tabela 1 – Composição química típica dos aços Ni-Si-Mo, USI-SAC-300 e SAE 1006

Aço	Composição química típica (% p/p)								C _{eq} ^(a)	P _{CM} ^(b)
	C	Mn	P	Ni	Cu	Mo	Si	Cr		
Ni-Si-Mo	0,10	0,70	0,015	≤ 3,5	0,08	≤ 0,50	≤ 1,50	sem adição	0,40	0,23
SAC-300	0,048	0,24	0,032	0,014	0,090	sem adição	≤ 1,50	sem adição	0,10	0,10
SAE 1006	0,029	0,47	0,017	0,018	0,012	sem adição	0,20	0,025	0,12	0,06

a) $C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ (valores típicos); b) $P_{CM} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + (Mo + V)/15 + 5B$ (valores típicos)

Tabela 2 – Propriedades mecânicas dos aços Ni-Si-Mo, USI-SAC-300 e SAE 1006

Aço	Propriedades mecânicas			
	LE (MPa)	LR (MPa)	Alongamento (%)	Dureza HV (2kg)
Ni-Si-Mo ^(a)	505	746	21,2 (BM ^(c) = 80 mm)	241
SAC-300 ^(b)	≥ 300	≥ 402	≥ 19 (BM = 200 mm)	153
SAE 1006 ^(b)	≥ 250	400 a 500	≥ 18 (BM = 200 mm)	115

a) tração: ASTM-A-370, sub-size; b) para os aços SAC-300 e SAE1006 os valores são típicos; c) BM: base de medida

2.2 Testes de Corrosão

2.2.1 Teste acelerado de corrosão com aspersão intermitente de solução salina

Este teste é realizado de acordo com a norma ISO 11474.⁽⁷⁾ Os corpos-de-prova ficam expostos ao intemperismo natural, sujeitos diariamente a umidade, insolação, efeitos de ventos e carga de agentes corrosivos característicos do local de exposição e recebem aspersão de solução salina. Portanto, é uma combinação de testes acelerado e não-acelerado de corrosão. No presente caso, aspergiu-se solução salina a 3% p/v de NaCl três vezes por semana.

A estação de corrosão escolhida para o teste foi a Miniestação de Corrosão Atmosférica Industrial da Usiminas, figura 1. Localizada dentro e no mesmo nível da planta industrial de Ipatinga (MG), na altitude 247 m, latitude 19°29'09"S e longitude 42°32'01"O. O período de superfície úmida dessa Miniestação é de 50% e a sua agressividade é considerada como sendo de baixa a média (C2 a C3), de acordo

com a norma ISO 9223.⁽⁸⁾ Normalmente, a taxa de corrosão do ferro nessa Miniestação é em torno de 0,3 kg Fe/m².ano, porém, a aspersão de solução salina aumenta esta taxa para um valor em torno de 4,6 kg Fe/m².ano, o que corresponde a uma agressividade muito alta (C5).

O período de exposição foi de 3 anos com avaliações após 1 ano, 1,5 ano, 2 anos e 3 anos. As dimensões de corpos-de-prova foram 100 mm x 150 mm e espessura de 5,5 mm para o aço Ni-Si-Mo e 5,0 mm para os aços SAC-300 e SAE 1006.



Figura 1 – Miniestação de Corrosão Atmosférica Industrial da Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, em Ipatinga-MG.

2.2.2 Teste não-acelerado de corrosão com exposição em atmosfera marinha

Este teste é realizado de acordo com a norma NBR 6209.⁽⁹⁾ Consiste na exposição de corpos-de-prova ao intemperismo natural em ambiente marinho, no qual os agentes corrosivos característicos são sais à base de cloreto, com o nível de contaminação salina fortemente afetado pelas correntes de ar.

A estação utilizada foi a Estação de Corrosão Atmosférica Marinha da Usiminas, localizada na ilha de Cabo Frio, em Arraial do Cabo (RJ), a 48,7 m de altitude em relação ao nível do mar, na latitude 23°00'49"S e longitude 42°00'56"O. Essa estação apresenta taxa de deposição de íons cloreto de 102 mg Cl⁻/m².ano, determinada pelo método de vela úmida, período de superfície úmida de 50% e corrosividade média de 0,6 kg Fe/m².ano, sendo classificada como de alta agressividade (C4), de acordo com a norma ISO 9223⁽⁸⁾. Na figura 2 tem-se uma vista geral desta estação de corrosão.



Figura 2 – Estação de Corrosão Atmosférica Marinha da Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Arraial do Cabo-RJ.

Os corpos-de-prova tinham as mesmas dimensões daqueles utilizados no teste acelerado de corrosão com aspersão intermitente de solução salina. O período de exposição foi de seis anos, com avaliações anuais.

2.2.3 Determinação de taxas de corrosão

As taxas de corrosão dos testes realizados neste estudo foram determinadas de acordo com a norma NBR 6210,⁽¹⁰⁾ conforme equação (1):

$$T_{\text{corrosão}} = (k.w)/(A.t.d) \quad (1)$$

onde: $T_{\text{corrosão}}$ = taxa de corrosão; k = constante (depende da unidade desejada para a taxa de corrosão); w = perda de massa; A = área do corpo-de-prova; t = tempo de exposição; d = densidade do aço.

Após determinadas as taxas de corrosão, estimou-se, para o período de até 30 anos, quais seriam as perdas de espessura que os aços avaliados sofreriam, utilizando metodologia desenvolvida por Pourbaix.⁽¹¹⁾

Pourbaix⁽¹¹⁾ utilizou a lei bilogarítmica para corrosão atmosférica para descrever a taxa de corrosão ou a perda de espessura de aços em base matemática, utilizando um gráfico — \log_{10} (taxa ou penetração da corrosão, mm/ano ou mm) versus \log_{10} (tempo, anos). Embora nem todas as combinações entre ligas e atmosfera sigam essa lei, ela geralmente produz bons resultados para combinações envolvendo atmosferas marinha, rural e industrial e ligas como as de aços carbono, patinável, galvanizados e aluminizados. Essa lei pode ser expressa pelas equações (2) ou (3):

$$P_{\text{corrosão}} = A.t^B \quad \text{ou} \quad (2)$$

$$\log_{10}(P_{\text{corrosão}}) = A' + B.\log_{10}t \quad (3)$$

onde $P_{\text{corrosão}}$ é a penetração da corrosão e t o tempo de exposição.

Em termos de taxa de corrosão tem-se:

$$P_{\text{corrosão}}/t = A.t^{(B-1)} \quad \text{ou} \quad (4)$$

$$\log_{10}(T_{\text{corrosão}}) = A' + (B-1).\log_{10}t \quad (5)$$

sendo $T_{\text{corrosão}}$ a taxa de corrosão e t o tempo de exposição.

O parâmetro A corresponde à taxa ou à penetração da corrosão no primeiro ano de exposição e o B reflete as características protetoras da camada de óxidos. Se $B = 0,5$, a penetração de corrosão segue lei parabólica, com o processo de corrosão sendo controlado pela difusão através de produtos de corrosão. Valores de B abaixo de 0,5 indicam que a camada de óxido tem características protetoras e valores acima indicam que ela é pouco protetora, apresentando-se porosa e/ou com aderência deficiente. Com base em dados coletados em um período mínimo de quatro anos, é possível, utilizando a equação linear obtida a partir de correlação bilogarítmica, prever as taxas de corrosão em prazos de até trinta anos, desde que as condições de exposição não sejam alteradas significativamente com o tempo e a equação apresente boa correlação com os dados.⁽¹¹⁾ Programas de avaliação da corrosividade, como o ISO CORRAG, estão utilizando esse modelo.⁽¹²⁾

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Taxas de Corrosão

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios de taxas de corrosão dos aços, obtidos nos testes de campo com aspersão intermitente de solução salina e não-acelerado de corrosão atmosférica marinha.

Tabela 3 – Taxas de corrosão em testes de corrosão com aspersão intermitente de solução salina e não-acelerado em atmosfera marinha

Aço	Aspersão				Atmosfera marinha					
	Taxa de corrosão (mm/ano)				Taxa de corrosão (mm/ano)					
	1	1,5	2	3	1	2	3	4	5	6
Ni-Si-Mo	0,046	0,035	0,037	0,028	0,037	0,027	0,020	0,017	0,014	0,013
SAC-300	0,125	0,214	0,252	0,362	0,047	0,036	0,033	0,040	0,057	0,066
SAE 1006	0,425	0,547	0,583	0,637	0,055	0,118	0,159	0,184	0,216	0,208

Observa-se, após três anos de teste de campo com aspersão de solução salina, que a taxa de corrosão do aço Ni-Si-Mo foi cerca de treze vezes menor que a do aço SAC-300 e de vinte e três vezes menor que a do aço SAE 1006. Os corpos-de-prova do aço SAC-300 já apresentavam comprometimento estrutural, pois a perda de massa média era equivalente a 49% de seu valor inicial. Nesse mesmo período, os corpos-de-prova do aço SAE 1006 já estavam destruídos, pois a perda de massa chegou a 88% da inicial. Ambos sofreram corrosão anômala, em que camadas de produtos de corrosão se deslocam em lamelas. Por outro lado, os corpos-de-prova do aço Ni-Si-Mo permaneceram estruturalmente íntegros, com perda de massa média de apenas 3,3% de seu valor inicial e sem ocorrência de corrosão anômala.

Ao final de seis anos de teste de exposição em atmosfera marinha, a taxa de corrosão do aço Ni-Si-Mo foi cerca de cinco vezes menor do que a do aço SAC-300 e dezesseis vezes menor que a do aço SAE 1006. Os corpos-de-prova do aço SAC-300 apresentavam corrosão anômala principalmente na face inferior, voltada para o solo, e perda de massa média de 17,9% de seu valor inicial; enquanto os do aço SAE 1006 ficaram destruídos, com corrosão anômala nas duas faces e perda média de massa equivalente a 56,3% do valor inicial. Por sua vez, os corpos-de-prova do aço Ni-Si-Mo apresentaram corrosão uniforme e perda de massa média de apenas 3%. Na Figura 3 são mostrados os aspectos representativos de corpos-de-prova após seis anos de teste de exposição em atmosfera marinha.

Como se percebe a partir dos resultados, as taxas de corrosão variaram com o tempo, uma vez que o crescimento da camada de óxidos de ferro funciona como barreira física que protege o substrato de aço. Entretanto, as características protetoras dessas camadas mudam com o ambiente de exposição e com os elementos químicos de liga presentes no aço. Em geral, as camadas de óxidos possuem trincas e algum tipo de permeabilidade iônica ou eletrônica que afetam sua capacidade protetora. Com o tempo, essas camadas podem se destacar e, com isso, a taxa de corrosão do aço voltar a aumentar até que o crescimento da camada de óxidos venha reduzi-la novamente e ocorra outro deslocamento, em um processo cíclico que provoca a destruição total do aço.

As taxas de corrosão de testes de corrosão com aspersão intermitente de solução salina e não-acelerado em atmosfera marinha, com os correspondentes gráficos bilogartmos, são mostrados na Figura 4. Nessa figura, a inclinação de cada reta bilogartmica corresponde ao valor de (B – 1) para a combinação ambiente/aço em



questão, o que permite obter o valor de B das equações (2) e (4). Como o parâmetro A nas equações (2) e (4) corresponde à taxa de corrosão do primeiro ano de exposição do aço, a equação para a perda de espessura, $P_{\text{corrosão}} = A.t^B$ de cada um dos aços fica determinada e pode-se estimar tais perdas para até 30 anos. As estimativas de perdas de espessura de cada aço a partir de resultados dos testes de corrosão com aspersão intermitente de solução salina e não-acelerado em atmosfera marinha são mostradas nas Tabelas 4 e 8, respectivamente.

<p>Ni-Si-Mo – face superior</p>	<p>Ni-Si-Mo – face inferior</p>
<p>USI-SAC-300 – face superior</p>	<p>USI-SAC-300 – face inferior</p>



SAE 1006 – face superior

SAE 1006 – face inferior

Figura 3 – Aspectos representativos dos corpos-de-prova após 6 anos de teste não acelerado de corrosão em atmosfera marinha.

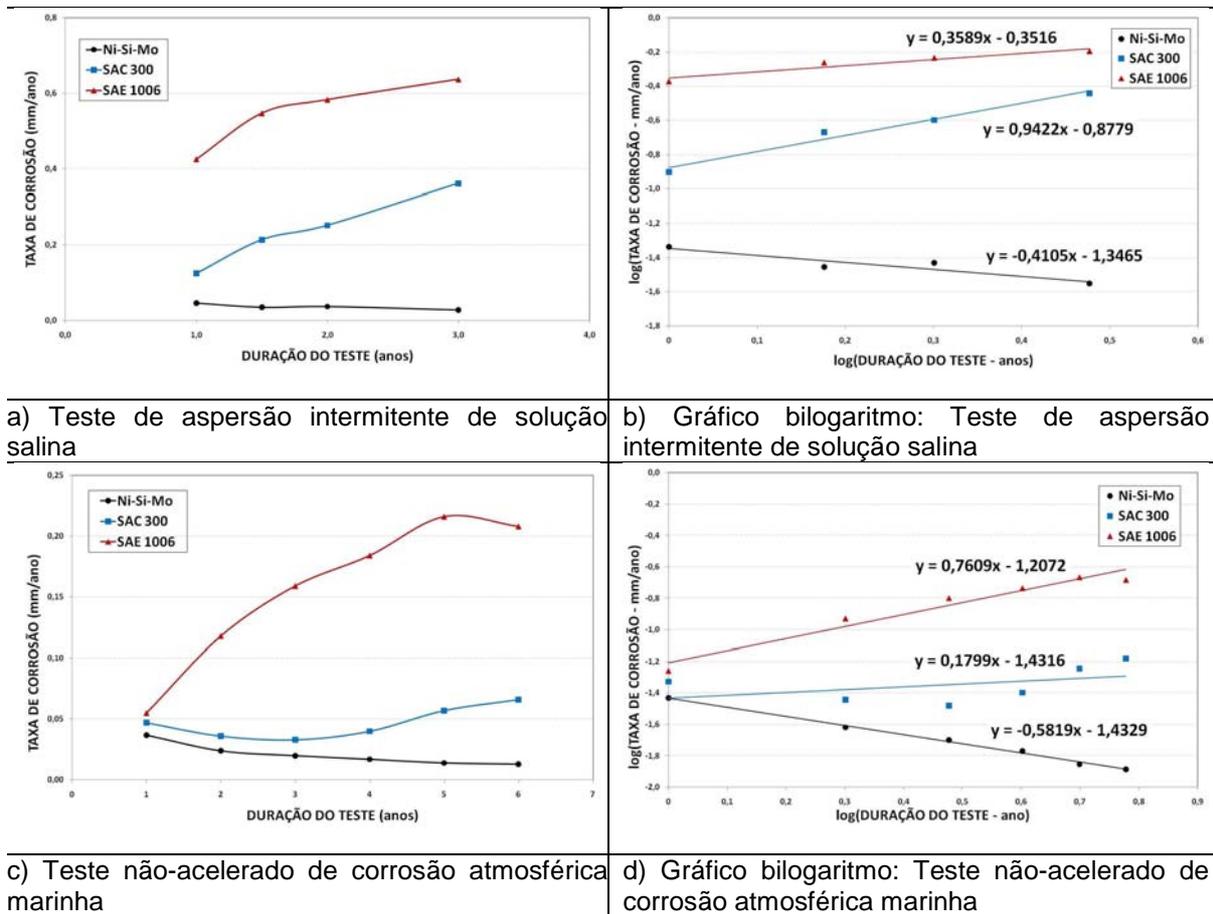


Figura 4 – Taxas de corrosão de testes de corrosão com aspersão intermitente de solução salina e não-acelerado em atmosfera marinha, com seus correspondentes gráficos bilogartímicos.

**Tabela 4** – Estimativas de perdas de espessura ao longo do tempo ($P = At^B$) a partir dos resultados do teste de corrosão com aspersão intermitente de solução salina

Aço	Parâmetros		Estimativa de perda de espessura (mm)				
	A	B	10 anos	15 anos	20 anos	25 anos	30 anos
Ni-Si-Mo	0,046	0,5895	0,18	0,23	0,27	0,31	0,34
SAC-300	0,125	1,9422	10,94	24,05	42,05	64,86	92,42
SAE 1006	0,425	1,3589	9,72	16,85	24,91	37,73	43,22

Tabela 5 – Estimativas de perdas de espessura ao longo do tempo ($P = At^B$) a partir dos resultados do teste não-acelerado de corrosão em atmosfera marinha

Aço	Parâmetros		Estimativa de perda de espessura (mm)				
	A	B	10 anos	15 anos	20 anos	25 anos	30 anos
Ni-Si-Mo	0,037	0,4185	0,10	0,12	0,13	0,14	0,16
SAC-300	0,047	1,0478	0,55	0,84	1,13	1,43	1,73
SAE 1006	0,055	1,8404	3,81	8,03	13,64	20,57	28,76

Da Tabela 4 verifica-se que todos os valores do parâmetro B são maiores do que 0,5, significando que os aços não formaram camadas de óxidos com características protetoras quando submetidos a teste de corrosão com aspersão intermitente de solução salina. Para o aço Ni-Si-Mo o valor de B foi 0,5895, muito abaixo dos valores de 1,9422 e 1,3589 dos aços SAC-300 e SAE 1006, respectivamente, e próximo da fronteira entre característica protetora e não protetora. Nas estimativas de perda de espessura após 30 anos, o aço Ni-Si-Mo perdeu apenas 0,34 mm, contra 92,42 mm do aço SAC-300 e 43,22 mm do aço SAE 1006. No caso de aços SAC-300, a tendência de taxa de corrosão oscilou, indicando que o mecanismo do processo corrosivo sofreu alterações ao longo do tempo e, provavelmente, não seguiu a lei prevista por Poubaix.⁽¹¹⁾ Essa hipótese é reforçada pelo fato de que as estimativas de maiores perdas de espessura para o aço SAC-300 comparadas as do aço SAE 1006, não são verificadas na prática. De qualquer maneira, os resultados mostram que em ambiente marinho estruturas construídas com esses dois aços exigem proteção por pintura anticorrosiva de alto desempenho.

Ainda em relação ao teste de campo com aspersão intermitente de solução salina, o aço Ni-Si-Mo não apresentou corrosão anômala nem comprometimento estrutural, o que torna a estimativa de perda de espessura mais confiável. Por outro lado, considerando que o parâmetro B foi maior do que 0,50, pode ser conveniente proteger a estrutura com pintura anticorrosiva, principalmente em áreas críticas para desenvolvimento de processo corrosivo, como aquelas protegidas da ação de chuva e ou sujeitas ao acúmulo de pó e de outros resíduos, quando esse aço for empregado em ambientes de corrosividade muito elevada, como a do presente teste, com taxa de corrosão da ordem de 4,6 kg Fe/m².ano.

Dos resultados de teste não-acelerado de corrosão atmosférica marinha observa-se que o valor do parâmetro B para o aço Ni-Si-Mo é menor do que 0,5 e a perda de espessura estimada para 30 anos é muito menor do que as dos aços SAC-300 e SAE 1006, conforme mostrado na tabela 8. Neste caso, também é possível que as oscilações na tendência da taxa de corrosão do aço SAC-300 tenham prejudicado as estimativas de perda de espessura para este material, como já mencionado.

4 CONCLUSÃO

O aço Ni-Si-Mo, desenvolvido em escala piloto, apresentou desempenho contra a corrosão em ambientes contendo íons cloretos muito superior aos de aços SAC-300

(patinável) e SAE 1006, com taxas de corrosão menores e ausência de corrosão anômala, além de melhores propriedades mecânicas. O melhor desempenho contra a corrosão possibilita eliminar a proteção por pintura na maioria das situações nas quais ela é necessária para aços patináveis tradicionais. Assim, são eliminados não só os custos diretos decorrentes de pintura inicial e de sua manutenção, como aqueles indiretos de eventuais paradas operacionais, além de possíveis problemas de acesso ou contaminações. A maior resistência mecânica permite reduzir a espessura de peças e, por consequência, o peso final de estruturas, tanto na parte metálica quanto na de alvenaria. Estas características fazem do aço Ni-Si-Mo um material adequado para aplicações em estruturas expostas a altas taxas de deposição de íons cloreto, como pontes junto à orla marítima ou sobre o mar, torres eólicas e componentes internos de navios e plataformas, como decks, escadarias e corrimões.

REFERÊNCIAS

- 1 ASTM. A588/A588M – Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel, up to 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point, with Atmospheric Corrosion Resistance. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2005.
- 2 ASTM A606/A606M-09a – Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, High-Strength, Low-Alloy, Hot-Rolled and Cold-Rolled, with Improved Atmospheric Corrosion Resistance. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2004.
- 3 KODAMA, T. – Weathering Steel in a Coastal Atmosphere. CORROSION ENGINEERING 48, pp. 1-14, (2000).
- 4 JIS Z 2382 – Determination of Pollution for Evaluation of Corrosivity of Atmospheres. JIS – JAPANESE INDUSTRIAL STANDARDS, 2001.
- 5 ASTM Test G140 – Test Method for Determining Atmospheric Chloride Deposition Rate by Wet Candle Method. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2002
- 6 STANDARD SIS 05 5900 – Pictorial Surface Preparation Standards for Painting Steel Surfaces. SWEDISH STANDARDS INSTITUTION, 1988.
- 7 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.
- 8 STANDARD ISO 9223 – Corrosion of Metals and Alloys - Corrosivity of Atmospheres - Classification. ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 1992.
- 9 NORMA NBR 6209 – NBR 6209. Materiais Metálicos Não-revestidos - Ensaio Não-acelerado de Corrosão Atmosférica: Método de Ensaio. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, dezembro/1986.
- 10 NBR 6210 – Corrosão Atmosférica - Materiais metálicos - Preparo, Limpeza e Determinação da Taxa de Corrosão de Corpos-de-prova em Ensaio de Corrosão. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, 2008.
- 11 Pourbaix, M. – The Linear Bilogarithmic Law for Atmospheric Corrosion. In: Ailor, W.H. (ed), ATMOSPHERIC CORROSION, New York, John Wiley and sons, 1982, pp. 107-121.
- 12 Dean, S. W. – Analyses of Four Years of Exposure Data from the USA, Contribution to the ISO CORRAG Program, in Kirk, W.W., and Lawson, H. H. (Eds), *Atmospheric Corrosion*, STP 1239, Philadelphia American Society for Testing and Materials, 1995.