

Fabio Domingos Pannoni, PhD  
Consultor Técnico da Gerdau Aços Longos S.A.  
fabio.pannoni@gerdau.com.br

## Os Versáteis Aços Patináveis

### AÇOS PATINÁVEIS

Aços patináveis ou aços de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica, são termos familiares utilizados na descrição de aços estruturais com resistência à corrosão atmosférica melhorada. São aços que apresentam maior resistência ao enferrujamento do que os aços estruturais comuns.

Este desempenho superior é obtido através da adição de elementos de liga tais como cobre, níquel, cromo, silício e, eventualmente, fósforo, ao aço<sup>1,2</sup>.

Aços patináveis são especificados, segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como: ABNT NBR 50083, ABNT NBR 59204, ABNT NBR 59215 e ABNT NBR 70076.

As especificações norte-americanas mais comuns no Brasil, determinadas pela American Society for Testing and Materials (ASTM), compreendem as especificações ASTM A2427, ASTM A5888 e ASTM A7099 (especificamente para pontes, e que corresponde às especificações A588, A51410 e HPS 485W).

A especificação europeia de aços patináveis é dada pela BS EN 10025-511. São aços enquadrados, de modo geral, na especificação S355J2G2W.

### Como a pátina é formada

Na presença de umidade e do ar, todos os aços de baixa liga têm a tendência de enferrujar. A velocidade com que o processo se dá depende do acesso do oxigênio, umidade e contaminantes atmosféricos à superfície metálica. Conforme o processo progride, a camada de ferrugem forma uma barreira que dificulta o ingresso do oxigênio, da umidade e de contaminantes, fazendo com que a taxa de corrosão do aço diminua com o tempo.

A camada de ferrugem formada sobre grande parte dos aços estruturais convencionais se destaca da superfície metálica após certo tempo “crítico”, e o ciclo de corrosão inicia novamente, levando à contínua perda de massa metálica. Desse modo, a taxa de corrosão progride como uma série de curvas incrementais que se aproximam de uma reta, cujo coeficiente angular é função da agressividade do ambiente<sup>12</sup>.

O processo de enferrujamento, para os aços patináveis, é iniciado do mesmo modo que para os aços estruturais comuns, mas aqueles elementos de liga específicos, adicionados propositalmente ao aço, acabam por produzir uma camada de ferrugem estável, bastante aderente ao metal base, e que é muito menos porosa do que a ferrugem comum. Esta nova ferrugem limita muito a difusão de oxigênio e água, assim como de substâncias diversas, até a interface metal/óxido. A nova ferrugem – chamada de pátina – somente se desenvolve sob condições de umedecimento e secagem alternadas; o resultado é uma menor taxa de corrosão do que aquela observada para os aços estruturais convencionais. A representação da redução na corrosão é ilustrada na Figura 1.

### BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DOS AÇOS PATINÁVEIS

Pontes, viadutos e outras grandes estruturas, confeccionadas em aços convencionais, são sempre beneficiadas pelos mais recentes avanços tecnológicos da fabricação automatizada e das técnicas de construção. São soluções seguras, econômicas, de construção rápida, belas, de baixa manutenção e, importante, possuem flexibilidade no uso futuro. Estruturas em aço patinável possuem todas estas qualidades e oferecem alguns importantes benefícios adicionais:

- Pequena manutenção. Inspeções periódicas e limpeza (em geral, uma simples lavagem com água) são, em geral, as únicas providências necessárias para garantir que a estrutura permaneça em condições satisfatórias de uso ao longo do tempo. Pontes e viadutos confeccionados em aços patináveis são ideais onde o acesso é dificultado ou perigoso (p.ex., gargantas profundas ou vias férreas eletrificadas).

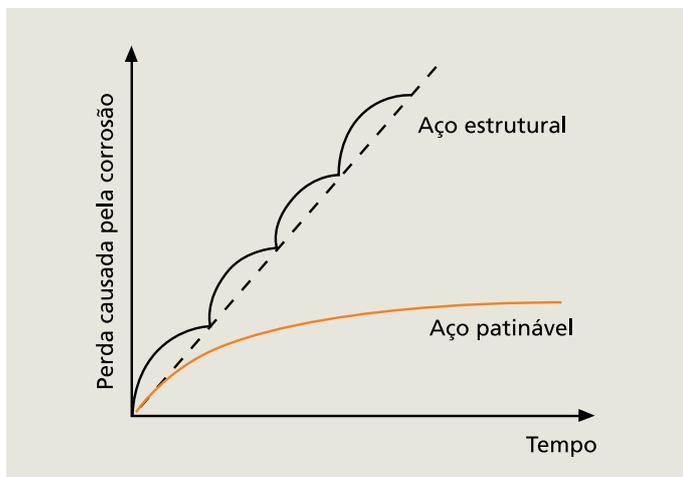


FIGURA 1: Comparação esquemática entre a perda de massa causada pela corrosão de um aço patinável e um aço carbono estrutural<sup>12</sup>

- Menor custo inicial. A economia propiciada pela eliminação do sistema de pintura tem maior peso do que o acréscimo de custos do próprio material. Tipicamente, os custos de pontes em aços patináveis são cerca de 5% inferiores às alternativas convencionais em aço, pintadas.

- Benefícios financeiros ao longo da vida útil de projeto. As poucas intervenções de manutenção necessárias em estruturas de aço patinável reduzem muito, tanto os custos diretos das operações de manutenção quanto os custos indiretos causados pela interrupção de utilização da estrutura para manutenção.

- Velocidade de construção. O tempo necessário à construção é reduzido, pois a operação de pintura, sempre morosa (no fabricante e no canteiro) é eliminada.

- Aparência atraente. A aparência atraente de uma estrutura de aço patinável envelhecida combina, de modo geral, muito bem com o ambiente circundante – e ainda melhora com o tempo!

- Benefícios ambientais. Os problemas ambientais associados à liberação de compostos orgânicos voláteis (VOC's) oriundos das tintas, assim como produtos variados, utilizados no ja-

teamento abrasivo das futuras manutenções, são evitados.

- Desempenho em longo prazo. Pontes de aço patinável possuem um bom histórico de uso, no Brasil e em todo o mundo. Um estudo relativamente recente indica que as pontes de aço patinável construídas ao longo dos últimos 30 anos estão, de modo geral, se comportando muito bem.

## LIMITAÇÕES DE USO

Estruturas de aço patinável são, de modo geral, adequadas à utilização na maior parte dos ambientes encontrados em nossa sociedade. Entretanto, como ocorre com outras formas de construção, existem certos ambientes que podem levar a problemas de durabilidade.

### Ambientes marinhos

A exposição a altas concentrações de cloretos, originados da névoa salina proveniente do oceano, costuma ser motivo de preocupação. De modo geral, aços patináveis não devem ser utilizados a distâncias inferiores a 2 km da orla marítima (isto é, da arrebentação costeira), a menos que possa ser estabelecido que o nível de cloretos depositados não ultrapasse a classificação de salinidade de S2, ditado pela norma ISO 9223<sup>13</sup> ( $[Cl^-] > 300 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ).

### Ambientes permanentemente úmidos

Uma condição fundamental para a formação da pátina protetora é a existência de períodos de umedecimento e secagem alternados. Sob condições de longos períodos de umedecimento (ou umedecimento permanente), como através da exposição ao solo, à água, ou, ainda, ao recobrimento por vegetação, a velocidade de corrosão dos aços patináveis é aproximadamente a mesma daquela encontrada para os aços estruturais comuns. A Inglaterra utiliza uma norma de projeto de pontes<sup>14</sup>, conhecida como BD 7/01, que prescreve uma altura livre mínima de 2,5 m entre a água e a estrutura de pontes, de modo a evitar condições de umedecimento continuado. A utilização de aços patináveis, sem proteção por pintura, em ambientes que apresentem tempo de umedecimento T5, ditado pela norma ISO 9223 (> 5.500 horas por ano com umidade relativa superior a 80% e temperatura maior do que 0°C) requer avaliação prévia.

## Poluição atmosférica

Aços patináveis não deverão ser utilizados em atmosferas onde existam altas concentrações de agentes químicos corrosivos - especificamente o  $\text{SO}_2$  - ou fumos industriais. Em tais ambientes, cuja poluição é classificada como P3 de acordo com a norma ISO 9223, o uso de aços patináveis não deve ser implementado. Deve-se ressaltar, entretanto, que este é um nível extremo de poluição ( $[\text{SO}_2] > 200 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  ou  $[\text{SO}_2] > 250 \text{ }\mu\text{g.m}^{-3}$ ), raramente encontrado no cotidiano.

## DISPONIBILIDADE DE AÇOS PATINÁVEIS

Existe certa variedade de aços patináveis no mercado brasileiro, tanto na forma de produtos conhecidos como longos quanto planos. Cantoneiras, perfis W, I, U, T, barras redondas e chatas são produzidas em aços patináveis, mas o estoque disponível no mercado não compreende todas as bitolas, exigindo programação das siderúrgicas e pedidos que atendam a volumes mínimos de produção. Os aços patináveis são costumeiramente encontrados como aços planos, tanto na forma de chapas grossas quanto de chapas finas, laminadas a frio ou a quente.

## APARÊNCIA

A aparência atraente das estruturas em aço patinável envelhecido combina muito bem, em geral, com o ambiente ao seu redor. É importante ressaltar que a cor e a textura da pátina variam ao longo do tempo e com as condições de exposição.

Inicialmente, o aço patinável apresenta uma coloração marrom alaranjada, considerada por muitos como de aparência desagradável. Entretanto, a coloração escurece com o passar do tempo. Após dois a cinco anos de exposição ao ambiente, o aço desenvolve sua coloração marrom escura, uniforme, bem característica.

## CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

O bom desempenho de estruturas de aço patinável pode ser atingido através da implementação de boas práticas no projeto utilizadas nas estruturas metálicas em geral<sup>15</sup>. Entretanto, certos aspectos requerem considerações adicionais, devido à natureza particular deste produto.

Embora a taxa de corrosão dos aços patináveis seja muito

menor do que aquela apresentada pelos aços carbono comuns, ela não pode ser negligenciada. Desse modo, é recomendável que alguma espessura de sacrifício seja considerada ainda na etapa de projeto, considerando alguma perda de seção ao longo da vida da estrutura; a perda de espessura depende da severidade do ambiente. A Tabela 1 traz a prescrição utilizada no Reino Unido para pontes e viadutos<sup>14</sup>.

Estas espessuras de sacrifício não deverão ser incluídas nos

Classificação da agressividade atmosférica (ISO 9223)	Classificação ambiental para o aço patinável	Espessura de sacrifício sugerida (mm/face exposta)
C1, C2, C3	Branda	1,0
C4, C5-I, C5-M	Severa	1,5
(nenhum)	Interior (viga caixa)	0,5

TABELA 1: Espessuras de sacrifício conforme prescritas no Reino Unido para pontes e viadutos<sup>14</sup>

cálculos utilizados no dimensionamento da estrutura. Dizem somente à possível perda ocasionada pela corrosão.

## CONSIDERAÇÕES NO DETALHAMENTO

A formação da patina protetora sobre os aços patináveis somente acontece se o aço for submetido a ciclos de umedecimento e secagem alternados. Desse modo, é importante que a estrutura seja detalhada de tal modo a garantir que esta condição possa ocorrer. Existem diversas referências bibliográficas disponíveis na literatura para o correto detalhamento das estruturas<sup>14,15,19, 20</sup>; alguns pontos importantes são descritos abaixo.

### Drenagem das águas

As estruturas de aço patinável devem ser detalhadas para garantir que todas as partes da estrutura possam secar, evitando-se a umidade residual e a retenção de depósitos de materiais estranhos, garantindo adicionalmente uma boa ventilação. As seguintes boas práticas devem ser observadas:

- Esmerilhe os cordões de solda que não sejam lisos e que podem guardar água.
- Providencie separação de 30 mm entre os enrijecedores

e a mesa inferior de perfis I.

- Evite vigas pouco espaçadas. Permita a ventilação.
- Evite recobrimentos, bolsões e frestas que podem atrair a umidade por ação capilar.
- Previna a penetração de água para dentro das vigas caixa, permita sua drenagem, mas não sua ventilação excessiva.
- Garanta que as almas de vigas caixa se estendam 20 mm abaixo da mesa inferior.

A Figura 2 resume as principais boas práticas na drenagem de águas de estruturas<sup>14,15</sup>.

O vazamento das juntas de expansão de pontes e viadutos, levando as águas até as extremidades das vigas, tem sido identificado como um dos principais problemas com as pontes de aço patinável. Desse modo, o detalhamento das juntas merece atenção. De modo ideal, as juntas devem ser evitadas através do uso de construções contínuas e integrais. Entretanto, se as juntas forem inevitáveis, e elas forem posicionadas nas extremidades das vigas, toda a região possivelmente úmida deverá ser protegida pela pintura, com coloração semelhante àquela desenvolvida futuramente pela pátina.

## Compatibilidade com outros materiais

Embora o manchamento com produtos de corrosão do aço não deva ocorrer em uma ponte de aço patinável bem detalhada, é fato que a limpeza do concreto, tijolos e pedras é bastante difícil. Assim, recomenda-se que as subestruturas vulneráveis sejam seladas com revestimentos orgânicos laváveis, de modo a facilitar a limpeza com produtos comerciais, caso o manchamento ocorra. Outras considerações ainda devem ser observadas:

- Elementos parcialmente enterrados no solo devem ser pintados de tal modo que a tinta se estenda acima do nível do solo, em cerca de 10 cm, no mínimo.
- Interfaces entre o aço e o concreto devem der selados com um selante apropriado, de modo a prevenir o ingresso da água.
- Parafusos ASTM A325 Tipo 3 são os parafusos adequados às conexões.

Assim como em outras formas de construção, a remoção de pichação de estruturas de aço patinável é dificultosa, assim, me-

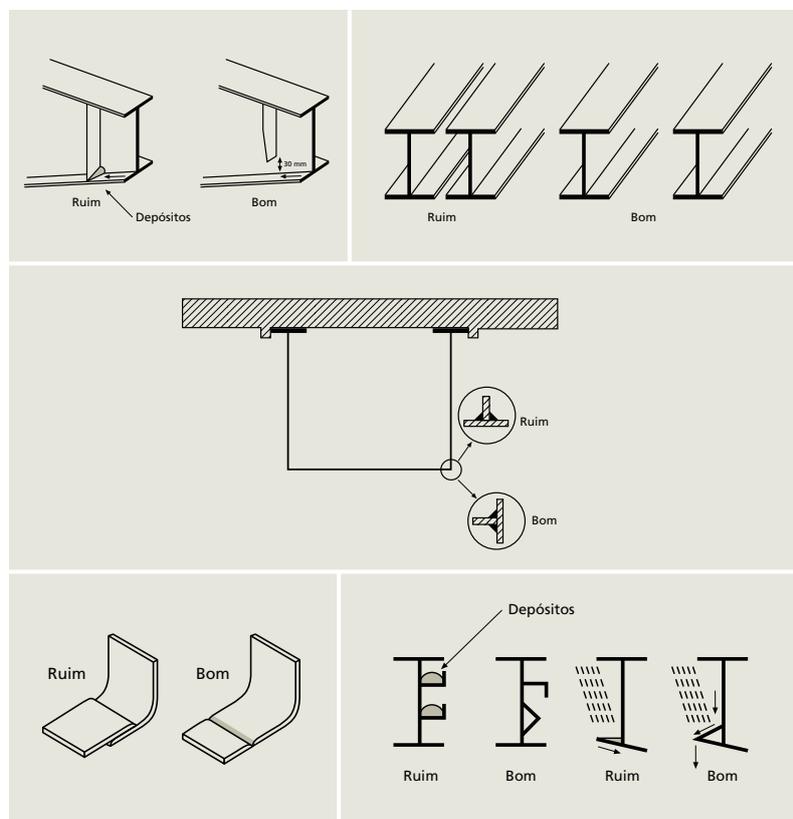


FIGURA 2: Exemplos de boas práticas de projeto no controle da corrosão de estruturas<sup>14,15</sup>

didadas que desencorajem o acesso público à estrutura devem ser consideradas sempre que possível. Entretanto, isto deve ser balanceado com a necessidade de fornecer acesso para a inspeção, monitoramento e limpeza da estrutura. Um modo alternativo de proteção é dado através da pintura dos componentes críticos (p.ex., pilares) com tinta de coloração semelhante à da pátina já bem formada.

## QUESTÕES RELATIVAS À FABRICAÇÃO E INSTALAÇÃO

### Conexões soldadas

A soldagem de aços estruturais patináveis é bastante similar à empregada para os aços estruturais comuns, embora os primeiros possuam um carbono equivalente (Ceq) algo superior. Como, em geral, possuem alta resistência mecânica, também possuem teores de carbono (ou manganês) um pouco mais elevados.

Os aços patináveis disponíveis no Brasil possuem Carbono equivalente (Ceq) inferior a 0,55%, o que os torna facilmente sol-dáveis, sem a necessidade de pré-aquecimento do material.

Aços patináveis necessitam de eletrodos que possuam composição química semelhante, evitando-se, tanto quanto possível, a formação de pares galvânicos. Desse modo, deve-se utilizar, em soldagem com arco elétrico, eletrodos E 7018 W ou E 7018 G (eletrodo revestido), ER 8018 S-G (Mig/Mag), F 7AO-EW (arco submerso) e E 71T8 Ni1 ou E 80T1 W (eletrodo tubular). Para soldagem em múltiplos passes, pode-se utilizar eletrodos de composição química especial somente nos dois úl-timos filetes, que ficam em contato com a atmosfera. Para passe simples (1 cordão), pode-se utilizar eletrodos convencionais, pois haverá diluição na poça de fusão.

## Conexões parafusadas

Parafusos estruturais de alta resistência, assim como as porcas e arruelas devem atender a composição química pres-crita na norma ASTM A325, Tipo 3, Grau A ou equivalente, e devem ser utilizados em todas as uniões parafusadas. Parafusos estruturais com controlador de tensão não devem ser utilizados em estruturas confeccionadas em aços patináveis, pois não são confeccionados em aço patinável.

Parafusos ASTM A325 tipo 1, galvanizados a quente de-vem ser evitados em ambientes classificados pela norma ISO 9223 como C5, sob risco do desenvolvimento da corrosão gal-vânica. A Figura 3 resume as condições em que as misturas de materiais podem ser toleradas ou não.

## Preparo de superfície

O preparo da superfície através do jateamento abrasivo ao padrão mínimo Sa 2 (ISO 8501-1)<sup>21</sup> deve ser feito após a fabri-cação e antes da entrega no canteiro, para auxiliar a formação de uma pátina uniforme. O uso de tinta, cera ou lápis crayon, utilizados para a marcação dos componentes metálicos durante a fabricação e montagem devem ser evitados, pois são de difícil re-tirada, e interferirão com o processo de envelhecimento do aço.

## Instalação

Certo cuidado deve ser tomado no canteiro, tanto com a es-tocagem quanto com o manuseio dos componentes, para garantir que a pátina em formação não seja danificada. Embora a pátina seja formada novamente, ela parecerá desuniforme até que isso ocorra.

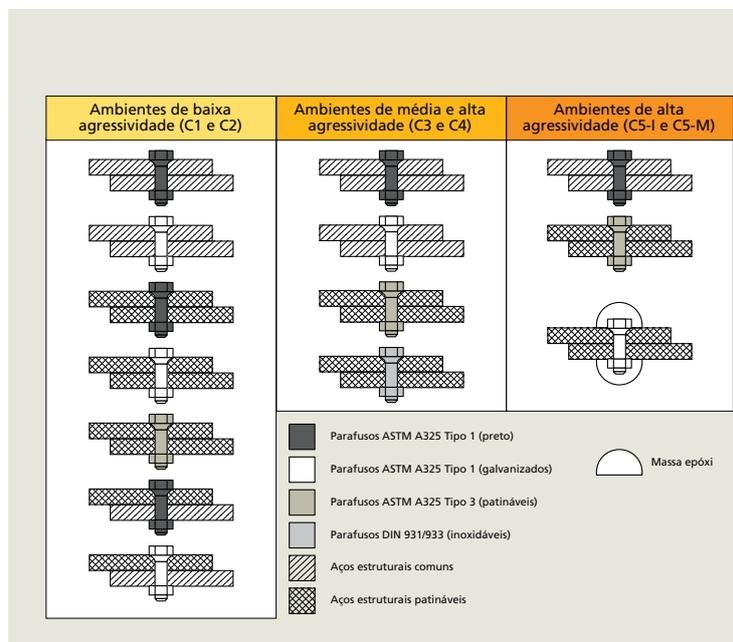


FIGURA 3: Exemplos de boas práticas de projeto no controle da corrosão de estruturas – o uso de parafusos dissimilares<sup>15</sup>. Em ambientes agressivos, os parafusos devem guardar similaridade de composição química com os componentes de aço que estão sendo unidos, sob risco do aparecimento da corrosão galvânica

## INSPEÇÃO, MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO

Todas as estruturas necessitam de inspeção de rotina, mo-nitoramento e manutenção ocasional, para garantir um desem-penho satisfatório. A esse respeito, as estruturas em aço patiná-vel não são diferentes. Entretanto, é importante identificar tão cedo quanto possível qualquer um dos problemas específicos que tais estruturas apresentem, de modo que medidas correti-vas possam ser adotadas.

### Inspeção

A inspeção visual das estruturas de aço patinável deve ser feita por inspetores experientes a cada dois anos, pelo menos. A condição superficial da pátina é um bom indicador do desempe-nho. Uma pátina aderente, de grãos finos, indica que a corrosão está ocorrendo à uma taxa de corrosão aceitável, enquanto que camadas de ferrugem delaminadas e se desprendendo sugere um desempenho inaceitável.

Se qualquer problema sério se tornar evidente durante a inspeção visual, a causa deve ser determinada e o problema cor-rigido tão cedo quanto possível.

### Monitoramento da espessura do Aço

A velocidade de corrosão das estruturas de aço patinável deve ser monitorada a cada seis anos, medindo-se a espessura remanes-cente naqueles pontos críticos identificados na estrutura. Estes pon-tos devem ser definidos, em desenhos as-built, ou no manual de manutenção da estrutura.

Se após um período de, digamos, 18 anos, a perda de seção estipulada ao longo da vida da estrutura exceder a espessura de sacrifício estipulada na Tabela 1, medidas corretivas deverão ser tomadas.

## Manutenção de rotina

As superfícies contaminadas com sujeira ou entulho devem, quando possível, serem limpas com lavadoras de água de baixa pressão, tomando cuidado para não danificar a pátina. Esta mesma limpeza deve ser feita anualmente se houver suspeita de que cloretos estejam afetando de modo adverso a estabilidade da pátina.

## MEDIDAS CORRETIVAS

Em um evento em que estruturas de aço não estejam apresentando bom desempenho, a reabilitação é possível. Esta tarefa inclui o tapamento de frestas, o jateamento abrasivo para a remoção da pátina e a repintura de parte ou de toda a estrutura, utilizando sistemas semelhantes àqueles utilizados para a proteção de estruturas confeccionadas em aços estruturais comuns. ■

### REFERÊNCIAS

- (1) PANNONI, F.D.; WOLYNEC, S. A ferrugem que protege. *Ciência Hoje*, Vol. 10, No. 57, p. 54-59, 1989.
- (2) PANNONI, F.D.; MARCONDES, L. Efeito da composição química da liga sobre o comportamento frente à corrosão atmosférica de aços determinado pela análise estatística de dados publicados. XVI Congresso Brasileiro de Corrosão/EXPOCOR-91, Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Corrosão – ABRACO, p. 67-83, 1991.
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Bobinas e chapas grossas laminadas a quente de aço baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural – Requisitos. ABNT NBR 5008. Rio de Janeiro: 2009.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Bobinas e chapas finas laminadas a frio e de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural - Requisitos. ABNT NBR 5920. Rio de Janeiro: 2009.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Bobinas e chapas finas laminadas a quente de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural - Requisitos. ABNT NBR 5921. Rio de Janeiro: 2009.
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aços carbono e microligados para uso estrutural e geral. ABNT NBR 7007. Rio de Janeiro: 2002.
- (7) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel. ASTM A242. West Conshohocken: 2009.
- (8) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel, up to 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point, with Atmospheric Corrosion Resistance. ASTM A588. West Conshohocken: 2010.
- (9) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for Structural Steel for Bridges. ASTM A709. West Conshohocken: 2010.
- (10) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for High-Yield-Strength, Quenched and Tempered Alloy Steel Plate, Suitable for Welding. ASTM A514. West Conshohocken: 2009.
- (11) BRITISH STANDARD INSTITUTION. Hot rolled products of structural steels. Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance. BS EN 10025-5. London: 2004.
- (12) PANNONI, F.D. La prevención de la corrosión em estructuras metálicas. *Acero latinoamericano (ILFA)*, Vol. 496, p. 16-25, 2006.
- (13) INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION. Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification. ISO 9223. Genève: 1992.
- (14) HIGHWAYS AGENCY. Weathering steel for highway structures. In *Design Manual for Roads and Bridges*, BD 7/01, Vol. 2, Section 3. The Stationery Office, London: 2001.
- (15) PANNONI, F.D. Projeto e Durabilidade. Publicação da Série “Manual de Construção em Aço”, do Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA). Rio de Janeiro: 2009.
- (16) INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION. Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity. ISO 9226. Genève: 1992.
- (17) INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION. Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 2: Classification of environments. ISO 12944-2. Genève: 1998.
- (18) COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/>. Sítio visitado em 21 de março de 2011.
- (19) PLUDEK, V.R. Design and corrosion control. Wiley. New York: 1977.
- (20) STEEL BRIDGE GROUP. Use of weather resistant steel. In *Guidance Notes on Best Practice in Steel bridge Construction*. Steel Construction Institute (SCI-P-185). Ascot: 200

Para a Copa de 2014  
e todas as próximas.



Galvanização a Fogo

Um meio versátil e econômico de proteger estruturas,  
peças e equipamentos metálicos contra a corrosão.

RS (51)-3479-2222  
[www.beretta.com.br](http://www.beretta.com.br)