

# ARQUITETURA SUSTENTÁVEL COM AÇO INOXIDÁVEL



Pittsburgh Convention Center Foto: cortesia de *Allegheny Technologies*  
Autora: Catherine Houska, Consultora do *Nickel Institute*

## Introdução

O aço inoxidável é um dos materiais usados na construção que menos afetam o meio ambiente. Ele contribui para gerar e economizar energia, fornecer ar limpo, preservar a água, evitar as substâncias químicas perigosas e limitar a contaminação metálica no meio ambiente e nos aterros sanitários. Se o aço inoxidável e o seu acabamento são escolhidos corretamente e se a manutenção é feita de forma adequada, eles permanecem atraentes durante toda a vida útil da construção, mesmo se esta tiver centenas de anos. Mesmo depois de muitos anos de utilização, o aço inoxidável pode recuperar sua aparência original ou ser re-utilizado em outras aplicações. Muitas das características que determinam se um material é “verde”, ou seja, ecologicamente correto, estão relacionadas direta ou indiretamente à sua resistência à corrosão. O alto valor da sucata de aço inoxidável, assim como a sua reduzida taxa de corrosão, garantem índices elevados de reciclagem após uma vida útil longa. Os revestimentos que emitem gases ou afetam de forma adversa a reciclagem do metal ou da liga metálica tornam-se desnecessários. A longa vida útil do aço inoxidável maximiza a vida útil de outros materiais, evitando falhas prematuras de sistemas projetados com pedras, alvenaria ou madeira. O conhecimento e a utilização das várias aplicações do aço inoxidável podem ajudar a criar um mundo mais verde.

## O que torna o aço inoxidável “ecologicamente correto”?

O interesse em construções “verdes” ou “ecologicamente corretas” cresceu significativamente nos últimos anos, tendo como foco a avaliação das construções já finalizadas e de materiais individuais. O sistema de avaliação de construções ecologicamente corretas, chamado “LEED™ Green Building Rating System” e os vários sistemas de avaliação de produtos trazem várias questões que estão direta ou indiretamente relacionadas à escolha do material. Estas questões incluem o teor reciclado, o potencial para re-utilização do produto, o impacto no consumo de energia e água, a probabilidade de emissões do produto ou do revestimento, o impacto sobre a qualidade do ar interior, o conforto térmico, a durabilidade, as exigências de manutenção e o impacto sobre a iluminação interior.

Em uma situação ideal, o projetista deveria ter acesso a um banco de dados completo com avaliações objetivas sobre o impacto ambiental no ciclo de vida de todos os materiais de construção. Infelizmente, isso não acontece. Os dados disponíveis para diferentes materiais não são geralmente comparados e torna-se importante fazermos certas perguntas. A figura 1 resume as perguntas e respostas mais comumente levantadas sobre a capacidade do aço inoxidável de ser um material ecologicamente correto. Estas perguntas serão discutidas em detalhes nas seções a seguir.

**Figura 1:** Avaliação ambiental do aço inoxidável

Qual é o seu teor reciclado?	60%*
Ele é 100% reciclável?	Sim
Ele promove vida útil longa?	Sim (ele reduz a frequência da manutenção e do descarte)
Há volume reciclado?	Sim (tanto pós-consumo como pós-industrial)
Os resíduos da construção são desviados dos aterros sanitários?	Sim (alto valor da sucata e potencial de re-utilização do produto)
Ele pode ser recuperado e reutilizado durante reformas?	Sim
Ele é um material de baixa emissão?	Sim (sem revestimentos = emissões zero)
Ele ajuda a melhorar a qualidade do ar interior?	Sim (sem compostos orgânicos voláteis (VOC's), remoção de bactérias, dutos resistentes à corrosão)
Ele ajuda a evitar o uso de materiais tóxicos?	Sim (barreiras de longa duração contra pestes, escoamento superficial mínimo da cobertura)
Ele economiza energia?	Sim (protetores solares, coberturas)
Ele ajuda a gerar energia limpa?	Sim (painéis solares, lavagem de gases de exaustão em usinas de energia)
Ele ajuda a preservar água?	Sim (tubulações de água e tanques resistentes à corrosão e aos terremotos)
Os painéis refletivos proporcionam luz natural?	Sim.

\*Conforme relatório do *International Stainless Steel Forum* em 2002. Este porcentual deve ser ligeiramente reduzido devido a pouca disponibilidade da sucata.

## Reciclagem

Os índices de reciclagem relatados são baseadas nas porcentagens médias de metal reciclado usado na “corrida” de metal produzido. Os dados relacionados a estes índices de reciclagem são difíceis de serem comparados. Por exemplo, o índice de reciclagem publicado para o alumínio é muito alto porque há grande produção de latas de alumínio e estas latas podem ser recicladas várias vezes em um ano. Por outro lado, o aço inoxidável é utilizado normalmente por vinte ou trinta anos antes de ser reciclado. Embora a sucata de aço inoxidável tenha uma taxa de re-captura muito alta devido ao seu valor, sua vida útil longa e o rápido crescimento da produção de aço inoxidável possibilitam que as corridas de aço inoxidável resultem em um teor elevado de reciclado. Os produtores de aço inoxidável gostariam de obter corridas com 100% de sucata mas não há sucata suficiente disponível para tal situação. Em 2002, o *International Stainless Steel Forum* estimou que o volume médio reciclado era de cerca de 60% [1]. Houve uma queda no volume reciclado, provavelmente devido ao fato de que o excedente de estoque de sucata da Europa Oriental é agora reciclado. É importante reconhecer que o aço inoxidável é 100% reciclável e não há perdas, independentemente do número de vezes em que ele é reciclado.

Ao avaliar materiais metálicos, seria mais significativo observar a probabilidade com que um pedaço de tamanho médio deste material será reciclado. É mais provável que extensões grandes de coberturas ou painéis de parede sejam reciclados, mas um item menor, como uma soleira, calha, placa de proteção ou grade com corrosão pode acabar indo para um aterro sanitário se o valor da sucata não for alto. Se o metal é perdido devido à corrosão, ele não pode ser reciclado. Alguns revestimentos limitam ou mesmo impedem a reciclagem do metal base. A resistência à corrosão, o valor da sucata, o tipo de aplicação e a presença e tipo de revestimentos determinam se um item de metal será reciclado ou não. Os componentes do material com perda significativa de massa de metal devido à corrosão podem apresentar um valor insignificante ou nulo da sucata. O aço inoxidável é usado para aplicações projetadas para durar muito tempo, o que limita a frequência da re-fundição, mas valores altos da sucata, o fato de não haver necessidade de revestimentos e taxas de corrosão insignificantes garantem que a maior parte do aço inoxidável utilizado seja reciclada.

## **Corrosão e o meio ambiente**

O governo norte-americano determina regularmente o custo econômico anual da corrosão metálica. O estudo mais recente, finalizado em 2001, determinou o custo direto total da corrosão em US\$296 bilhões/ano e o custo indireto, US\$255,4 bilhões/ano para um total de US\$551,4 bilhões por ano [3]. Deste total, US\$113,6 bilhões por ano refere-se ao custo direto e indireto da corrosão dos materiais de construção. Esta análise não inclui a construção industrial ou de infra-estruturas. Os autores estimam que pelo menos 20 a 25% dos problemas de corrosão relacionados à construção poderiam ser evitados e indicam que estes números podem ser mais altos.

Estes problemas incluem falhas óbvias como perfuração de coberturas ou de um painel da parede ou uma grade que teve sua estrutura fragilizada. Esta categoria inclui também a substituição de componentes que deixaram de ser esteticamente atraentes devido à corrosão quando a restauração não é possível ou quando não é viável em termos de custo.

O alto custo econômico é um indicador do custo ambiental significativo associado à seleção de materiais que não se mantêm atraentes e/ou funcionais durante a vida útil da estrutura da construção. Em projetos “verdes”, o arquiteto deve considerar as seguintes questões quando for selecionar os materiais arquitetônicos:

- O produto deverá ser substituído durante a vida útil da construção?
- Quão reciclável ou reutilizável é este produto?
- Se um revestimento for especificado, a eliminação de gases ou perda de revestimento no ambiente devido ao desgaste ou descamação será um problema?
- Algum revestimento irá limitar ou impedir a reciclagem do metal base?
- Qual a quantidade de metal que entra em contato com o ambiente devido à corrosão? O produto de corrosão é prejudicial ou a aparência corroída é esteticamente desagradável?
- Considerando a perda de metal devido à corrosão, qual o teor de metal que não será reciclado e terá que ser substituído pela mineração de novos metais?
- Quantas manutenções serão necessárias e os produtos de limpeza a serem utilizados são potencialmente prejudiciais?

Estudos comparativos com dados de corrosão atmosférica para diferentes ligas podem ser utilizados para prever a vida útil de um componente, as exigências de manutenção e a emissão de metal para o ambiente. Estes dados podem ser encontrados em artigos anteriores ao *Construction Specifier* e em uma publicação do *Nickel Institute*, escritos pela autora [3, 4, 5].

Foram desenvolvidos mapas de corrosão generalizada, com base neste teste de corrosão atmosférica que indicam a corrosão relativa de diferentes locais, e que podem ajudar na escolha de um

determinado metal ao liga metálica. Estes mapas podem ser adquiridos através do website <http://corrosion-doctors.org>. Geralmente, áreas com chuvas particularmente ácidas, níveis altos de partículas no ar, níveis elevados de óxido sulfúrico e nitroso e ozônio, e com exposição marítima e aos saís de degelo são as mais corrosivas e exigem a utilização de metais mais resistentes à corrosão.

Quando existe a preocupação com o meio ambiente, é importante selecionar materiais, como o aço inoxidável, que não exigem revestimentos mas que oferecem um alto nível de proteção contra a corrosão. Estes materiais não precisam ser substituídos durante a vida útil da construção e também não afetam de forma negativa o tempo de vida de outros materiais de construção.

O aço inoxidável é mais resistente à corrosão que outras ligas metálicas comuns para a arquitetura e não é afetado por alguns dos poluentes corrosivos como o ácido nítrico, o ácido carbônico e a amônia, que podem ser encontrados na chuva ácida. Ambientes potencialmente corrosivos para o aço inoxidável e outras ligas metálicas incluem o ácido sulfúrico da chuva ácida, altos níveis de partículas atmosféricas e/ou saís marítimos e de degelo (cloretos). Se o aço inoxidável e os acabamentos corretos forem escolhidos e se forem fabricados, instalados e mantidos de forma adequada, não haverá problema de corrosão. Consulte a seção com informações adicionais para a seleção do aço inoxidável adequado às suas necessidades.

### **Melhorando o ambiente interno e externo**

O aço inoxidável é ideal para aplicações internas, pois não há necessidade de revestimento e não há emissão. Com a devida seleção, tubulações de aço inoxidável não serão perfuradas pela corrosão e podem ser totalmente desinfetadas. Painéis refletivos em aço inoxidável podem ser utilizados para promover luz natural nos edifícios. Especificar uma barreira contra pestes em aço inoxidável, durável e eficaz, pode eliminar os tratamentos com pesticidas e reduzir o custo do seguro. A limpeza do aço inoxidável não exige o uso de substâncias químicas prejudiciais aos trabalhadores e ao meio ambiente. Além disso, o aço inoxidável é parte importante dos sistemas de redução de emissão industrial e automotiva.

Dados sobre a contaminação metálica da água de escoamento de coberturas gerados em um estudo sueco que comparou aço inoxidável, cobre e zinco (revestimentos no aço galvanizado e na folha de zinco) podem ser encontrados na Figura 2 [6]. Estes níveis de contaminação metálica referem-se à cidade de Estocolmo, uma região com níveis relativamente baixos de poluição. O foco principal desta pesquisa foi a influência da corrosão atmosférica nos níveis de contaminação metálica da água que escoam pelas coberturas, com preocupação em aspectos tais como bio-disponibilidade e eco-toxicidade.

As coberturas de aço inoxidável mostraram-se adequadas ao revelarem teores extremamente baixos de níquel e de cromo na água escoada e em muitos casos estes teores ficaram abaixo dos limites detectáveis, e, inclusive, todas as amostras de água tiveram seus teores dos dois elementos considerados bem abaixo das concentrações presentes em água potável normal. Os testes sugerem que o níquel e o cromo são emitidos dos telhados de aço inoxidável em níveis tão baixos que não causam nenhuma eco-toxicidade. Os teores de zinco e de cobre analisados em águas escoadas em telhados construídos com estes metais (ou com aço galvanizado, no primeiro caso) tiveram teores destes elementos químicos aproximadamente 10.000 vezes mais altos que aqueles encontrados na água potável. Ambos os elementos estavam em forma bio-disponível e a eco-toxicidade ocorreu, pois a água concentra-se durante os períodos secos.

Um estudo similar da qualidade da água que escoam de coberturas de chumbo em áreas rurais e litorâneas do estado do Oregon, nos Estados Unidos da América, revelou que as concentrações daquele elemento ficaram entre 0,7 e 3,7 mg/L, comparadas com o padrão nacional de água potável

de 0 mg/L (com um nível de aceitação de até 0,015 mg/L) [7]. Em regiões com situação ambiental delicada, o uso de cobertura de aço inoxidável deve ser uma opção a ser considerada.

**Figura 2:** Estudo sueco sobre a contaminação metálica da água de escoamento de coberturas [6].

Material	Escoamento superficial anual médio mg/m <sup>2</sup> (mg/yd <sup>2</sup> )
Zinco (1)	2.800 – 3.000 (2.340 – 2.508)
Cobre	1.300 – 2.000 (1.087 – 1.672)
Aço inoxidável tipo 304 (2)	
Níquel	0,3-0,4 (0,25-0,33)
Cromo	0,25-0,3 (0,21 – 0,25)

(1) Na forma de aço galvanizado e folha de zinco

(2) Em vários casos, os níveis de níquel e cromo ficaram abaixo dos limites detectáveis. A concentração média por litro ficou bem abaixo dos níveis normais encontrados na água potável.

### Vida útil longa

Materiais que continuam a oferecer um excelente desempenho ao longo da vida útil da construção ou estrutura apresentam um custo muito mais baixo do ciclo de vida e não causam impacto ao meio ambiente porque não exigem substituição nem contribuem para o aumento dos resíduos nos aterros sanitários. O aço inoxidável é um material arquitetônico relativamente novo, tendo suas aplicações mais antigas realizadas em meados dos anos 20, não muito depois da invenção do aço inoxidável. Um exemplo de uma cobertura em aço inoxidável mais antiga é o da sede do tribunal 'Butler County Court House' na Pensilvânia, que se manteve intacto e atraente por cerca de 50 anos apesar de estar ao lado de uma planta industrial (veja figura 3).



**Figura 3:** Telhado em aço inoxidável 302 do 'Butler County Court House' com cerca de 80 anos sem problemas e manutenção. Crédito da foto: Catherine Houska, TMR Consulting

Os benefícios da vida útil longa são mais facilmente vistos em comparações de metais que se encontram lado a lado em um ambiente corrosivo. Os *piers* 'Progresso' no México ilustram de forma clara as diferenças de desempenho entre um vergalhão de aço carbono e um de aço inoxidável. (veja figura 4). O *pier* que ainda está em uso foi concluído há mais de 60 anos com vergalhões de aço inoxidável. Testes da estrutura não revelaram nenhuma deterioração do aço inoxidável e do concreto e é provável que o *pier* ainda seja utilizado por mais 60 anos neste ambiente marítimo corrosivo. Ruínas de um segundo *pier* são possíveis de serem vistos na imagem. Este *pier* foi construído há cerca de 30 anos com vergalhões de aço carbono.

Ele não está mais sendo utilizado e, além dos altos custos associados à substituição e interrupção

substituição e interrupção de uso, todos os materiais originais precisam ser substituídos a um custo ambiental considerável.

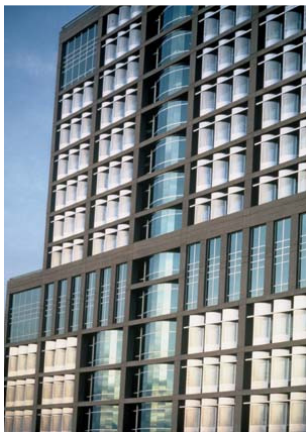


**Figura 4:** O pier Progresso, no México, foi construído com vergalhões de aço inoxidável entre 1939 e 1941, e ainda está em perfeitas condições. O pier inutilizado foi construído com vergalhão de aço carbono em 1969.

### Preservando os recursos naturais

O aço inoxidável preserva os recursos naturais de várias formas. Diminui-se a necessidade de novas minerações porque as taxas de corrosão são muito baixas e as taxas de reciclagem, muito altas, o que significa que a substituição de metal existente é praticamente inexistente. Nas aplicações estruturais, as exigências do material são menores e os projetistas capitalizam vantagens ao utilizarem o aço inoxidável de desempenho superior em alta temperatura apresentado e também quando os aços inoxidáveis com resistência mais alta são utilizados para reduzir o tamanho de uma peça. Por exemplo, nas aplicações em coberturas é possível utilizarmos painéis mais finos e reduzir os custos devido ao aumento do calor e necessidade de ar condicionado se escolhermos o aço inoxidável. Os painéis solares reduzem os custos com ar condicionado, economizando assim energia, e as células solares do aço inoxidável ajudam a gerar energia limpa.

O edifício do 'Phoenix City Hall' é um exemplo perfeito da economia nos custos e no uso de energia, possíveis com os painéis solares em aço inoxidável. Painéis polidos e perfurados em aço inoxidável foram colocados sobre a maioria das janelas durante a construção. Eles permitem a entrada de luz natural enquanto diminuem a geração de calor. A economia inicial no custo devido à diminuição da necessidade de equipamentos de ar condicionado foi de US\$ 285.000 e estima-se que uma economia anual de US\$ 200.000 nos custos possa ser atingida. O acabamento em aço inoxidável não muda com o tempo, portanto a eficácia da superfície refletiva não é afetada pela corrosão. (ver figura 5).



**Figura 5:** Painéis em aço inoxidável polidos e perfurados nas janelas no edifício do 'Phoenix City Hall' reduziram significativamente os custos com ar condicionado e melhoraram o conforto dos funcionários que lá trabalham. Foto, cortesia de Allegheny Technologies.

As tubulações de água em aço inoxidável têm menos chances de apresentar vazamentos decorrentes da corrosão ou quebra durante terremotos, mesmo depois de uma vida útil prolongada. As tubulações e tanques de água em aço inoxidável nos Estados Unidos consistem em uma aplicação relativamente nova, mas eles já se tornaram comuns na Europa Ocidental e Japão.

O solo pode ser muito corrosivo, principalmente em áreas costeiras e onde os sais de degelo são utilizados. Em Zurique, a necessidade de garantir alta qualidade da água e minimizar sua perda fez com que houvesse a substituição para o aço inoxidável de todas as tubulações e instalações de armazenamento e bombeamento da água potável da cidade. No Japão, os tanques e tubulações de água em aço inoxidável são bastante comuns porque são resistentes aos danos durante terremotos e não apresentam vazamentos decorrentes da corrosão.

Os sub-produtos corrosivos da pedra, alvenaria, e de alguns tipos de madeira como pau-brasil, cedro, compensado e outros, podem causar a rápida corrosão de outros metais. Fixadores, grampos e outros componentes em aço inoxidável não são corroídos por estas materiais e suas durabilidades são maximizadas.

## Recuperação

Os edifícios 'Chrysler Building' e 'Empire State Building' são dois excelentes exemplos da possibilidade de recuperação do aço inoxidável. Ambos são limpos a aproximadamente cada 30 anos e entre as limpezas sempre detectou-se a presença de superfícies com acúmulo significativo de resíduos. Eles não são os únicos exemplos. O antigo 'Socony Mobil Building' (hoje na 150 East da 42nd Street) foi construído em 1954 e é adjacente ao 'Chrysler Building'. Ele foi limpo pela primeira vez em 1995 depois de mais de quarenta anos de utilização. A foto da figura 6 foi tirada durante a limpeza e mostra a diferença clara de aparência entre as áreas já limpas e as sujas. A figura 7 mostra os dois edifícios, Socony Mobil e Chrysler Buildings, após a limpeza.



*As figuras 6 e 7: Em 1995 a limpeza do 'Chrysler Building' motivou os proprietários do prédio adjacente, na 150 East da rua 42 a removerem 41 anos de acúmulo de resíduos. Os dois edifícios foram limpos com uma solução suave de detergente, desengraxante e água e, quando necessário, foi utilizado um abrasivo leve. Ambos foram recuperados em sua aparência brilhante original. Não houve necessidade de nenhum produto químico nocivo. Fotos, cortesia da Allegheny Technologies.*

Os três edifícios foram limpos com uma solução suave de detergente e água, com um desengraxante para remover os depósitos de hidrocarbono. Uma solução abrasiva leve, que não riscava o acabamento, também foi utilizada quando necessário para remover os resíduos que estavam mais aderidos à superfície. Nenhum material ambientalmente nocivo foi necessário, assim como nenhum produto que produzisse fumaça nociva aos trabalhadores da limpeza ou usuários dos edifícios. O mesmo método de limpeza foi usado regularmente em edifícios mais novos que recebem limpezas mais freqüentes.

## Reutilização

Resgatar e reutilizar produtos consiste na fonte mais ecologicamente correta de materiais para os arquitetos. Quando o escritório de arquitetura com sede em Pittsburgh, IKM Inc., ficou responsável por modernizar e dar um novo brilho ao saguão de entrada do edifício na 525 William Penn Place, eles descobriram que as paredes e painéis dos elevadores em aço inoxidável estavam escuros devido a 50 anos de gordura e sujeira acumulada e apresentavam também riscos e outros danos (figura 8). Por ser uma empresa acreditada pelo LEED, comprometida com projetos ecologicamente corretos, eles estudaram a possibilidade de refazer o acabamento e reutilizar pelo menos parte do aço inoxidável no novo projeto. Apesar do novo saguão mostrado na figura 9 parecer tão diferente, a maioria do aço inoxidável ali presente tem 50 anos. Ele foi limpo, polido com esponjas abrasivas não metálicas, modificado onde havia necessidade e reutilizado. Os componentes em aço inoxidável que não puderam ser reutilizados foram reciclados. Se houver uma nova reforma em 50 anos, talvez o aço inoxidável possa ser novamente reutilizado.

Este não é o único exemplo de reutilização do aço inoxidável. Painéis de parede externos em aço inoxidável foram recentemente limpos, reformatados e reutilizados quando um edifício comercial em Nova York foi esvaziado e reformado. A durabilidade do aço inoxidável significa que ele pode manter-se em uso enquanto outros produtos de construção seguem para os aterros sanitários.



**Figuras 8 e 9**

*Os painéis em aço inoxidável no saguão do edifício da 525 William Penn Place em Pittsburgh estavam sujos e riscados após cerca de 50 anos de uso. Durante a reforma do saguão deste edifício, os painéis em aço inoxidável com 50 anos foram removidos, limpos, recuperados e reutilizados (créditos das fotos: Catherine Houska, TMR Consulting e IKM Inc.)*

## Conclusões

Os produtos fabricados em aço inoxidável são a escolha perfeita para proteger o meio ambiente e criar estruturas confortáveis e atraentes. Embora os dados independentes que comparam o impacto ambiental do ciclo de vida de diferentes materiais ainda não estejam disponíveis, não há dúvida de que o aço inoxidável irá receber uma classificação muito alta. O desempenho ambiental e estético do aço inoxidável depende da seleção correta do aço inoxidável, do acabamento e do projeto.

## Dados adicionais

Informações adicionais sobre a escolha do aço inoxidável e o seu uso em aplicações na arquitetura podem ser obtidas sem nenhum custo através de:

*Nickel Institute* (Instituto do Níquel) – <http://www.stainlessarchitecture.org>

*International Molybdenum Association* (IMOA) (Associação Internacional do Molibdênio) – <http://www.imoa.info>

Núcleo de Desenvolvimento Técnico Mercadológico do Aço Inoxidável (Núcleo Inox) - <http://www.nucleoinox.org.br>

Artigos da publicação *Construction Specifier*, identificados nas referências [4] e [5], que apresentam dados comparativos sobre a corrosão e instruções para a seleção do aço inoxidável.

## Agradecimentos

A autora agradece a assistência oferecida pelo *Nickel Institute* na preparação deste trabalho.

**Tradução para o português** Núcleo Inox

## Referências

[1] “Recycling Stainless Steel”, International Stainless Steel Forum (ISSF), website based presentation, <http://www.worldstainless.org/>

[2] Koch, G., M. Brongers, N. Thompson, Y. Paul Virmani, J. Payer, “Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States”, Final Report 1999 – 2001, Office of Infrastructure Research and Development, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-01-156

[3] Houska, C., “Stainless Steels in Architecture, Building and Construction: Guidelines for Corrosion Prevention”, Nickel Development Institute, Publication 11 024, 44 pages, 2001

[4] “Stainless Steel Selection for Exterior Applications”, Catherine Houska, *The Construction Specifier*, Volume 56, Number 1, January 2003, pages 32 – 42

[5] “Metals for Corrosion Resistance: Part II”, Catherine Houska, *The Construction Specifier*, Volume 53, Number 11, November 2000, pages 23 – 30

[6] Leygraf, C., I. O. Wallinder, “Environmental Effects of Metals Induced by Atmospheric Corrosion”, *Outdoor Atmospheric Corrosion*, ASTM STP 1421, H. E. Townsend, Editor, American Society for Testing Materials International, West Conshocken, PA 2002

[7] Matthes, S. A., S. D. Cramer, B. S. Covino, Jr. S. J. Bullard and G. R. Holcomb, “Precipitation Runoff From Lead”, *Outdoor Atmospheric Corrosion*, ASTM American Society for Testing Materials STP 1421, H. E. Townsend, Editor, American Society for Testing Materials International, West Conshocken, PA 2002