

ESTUDO COMPARATIVO SOBRE A TAXA DE OXIDAÇÃO DE AÇOS ESTRUTURAIS NO LITORAL E NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO*

Cícero Lopes de Souza¹

Érika Elis Kuo¹

Mateus Araújo e Silva²

Márcio de Moraes Tavares³

Willy Ank de Moraes⁴

Resumo

Estruturas de aço são utilizadas em diversas aplicações na construção civil, com vantagens relativas a outros tipos de construções, tais como leveza e rapidez na execução da obra. Porém um dos maiores problemas neste tipo de sistema construtivo é a corrosão atmosférica a que estará sujeita o aço estrutural utilizado. Com o objetivo de se avaliar a resistência à corrosão atmosférica, neste trabalho, foram construídos painéis expositores, conforme a NBR 6209, para manter corpos de prova de aço estrutural comum e patinável, por um período inicial de setenta dias em dois locais distintos, categorizados com de agressividade ambiental I e III, respectivamente interior e litoral do estado de São Paulo. Superficialmente o processo de degradação foi nitidamente diferenciado, com o mesmo resultado sendo apontado pela alteração da massa das amostras, que se elevou durante a exposição ao ambiente de agressividade III, já que os produtos de corrosão formados não se desprenderam no curto período de tempo do teste. Mesmo considerado que a norma estipula um tempo mínimo de dois anos de duração para o ensaio, que ainda está em andamento, o presente estudo aponta a necessidade de adotar mecanismos de proteção contra a corrosão muito mais severos nas regiões litorâneas.

Palavras-chave: Corrosão atmosférica; Estruturas Metálicas; Ensaios de Corrosão; Aços Estruturais.

COMPARATIVE STUDY ON THE STRUCTURAL STEEL OXIDATION RATE ON THE COAST AND IN THE INTERIOR OF THE STATE OF SÃO PAULO

Abstract

Steel structures are used in several applications in civil construction, with advantages related to other types of constructions, such as lightness and speed in the execution of the work. However one of the biggest problems in this type of construction system is the atmospheric corrosion to which the structural steel used will be subjected. With the objective of evaluating the resistance to atmospheric corrosion, in this work, exhibiting panels were constructed, in accordance with NBR 6209, to maintain common and skid structural steel specimens for an initial period of seventy days in two distinct locations, categorized with environmental aggressiveness I and III, respectively inland and coastal in the state of São Paulo. On the surface the degradation process was clearly differentiated, with the same result being pointed out by the alteration of the mass of the samples, which increased during the exposure to the aggressive environment III, since the formed corrosion products did not break off in the short time of the test. Although it is considered that the standard stipulates a minimum time of two years for the test, which is still in progress, this study points out the need to adopt much more severe corrosion protection mechanisms in the coastal regions.

Keywords: Atmospheric corrosion; Metallic structures; Corrosion Testing; Structural Steel.

¹ Graduando em Engenharia Civil, curso de Engenharia Civil da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: ciceroledes75@yahoo.com.br; erikakuo@hotmail.com

² Engenheiro Civil, Mestrado e Doutorado em Engenharia de Transportes, Professor e Coordenador do Curso de Engenharia Civil da UNAERP, Ribeirão Preto, SP, Brasil. E-mail: maarsilva@unaerp.br.

³ Engenheiro Químico, Mestre em Engenharia Mecânica, Doutorando em Engenharia Química, Professor e Coordenador do Curso de Eng. Civil e da Pós-graduação em Eng. de Segurança do Trabalho da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: mtavares@unaerp.br.

⁴ Técnico em Metalurgia, Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia de Materiais, Sócio-Diretor da Willy Ank Soluções Metal-Mecânica e Professor da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: wmorais@unaerp.br.

1 INTRODUÇÃO

A palavra “corrosão” é uma tradução adaptada do termo em latim “corrodere”, que significa corroer, como mostra a Figura 1. Segundo Gentil [1], a corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Podendo ser causada por interações físico-químicas entre o meio a que se encontra exposto, pode levar a alterações prejudiciais ao seu desempenho, tornando-o inadequado para o uso e possibilitando danos associados ao seu rompimento, como uma contaminação do meio causada pelo vazamento de substâncias contidas em reservatórios construídos com o material.

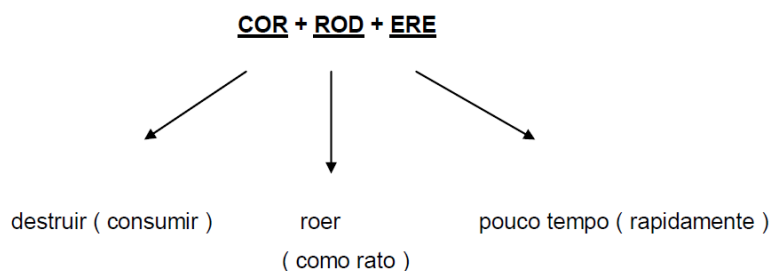


Figura 1. Significado do termo corrosão.

Ao se considerar o emprego de materiais na construção de equipamentos ou instalações e necessário que estes resistam à ação de diferentes meios corrosivos, além de apresentar propriedades mecânicas suficientemente boas e características de fabricação adequadas. A corrosão pode incidir sobre diversos tipos de materiais, sejam metálicos como os aços e ligas de cobre, ou não metálicos, como plásticos, cerâmicas ou concreto [2].

A corrosão de equipamentos e estruturas ocorre a nossa volta diariamente e, sendo assim, é necessário que se tenha conhecimento do mecanismo deste processo destrutivo para que se possa combatê-lo com eficiência [2]. O estudo da corrosão tem um grande interesse tecnológico devido ao elevado custo relacionado com as perdas de equipamentos, produtos, etc. [3]. Uma particularidade da corrosão é que esta pode ocorrer de várias maneiras diferentes, em diferentes meios corrosivos, conforme apontado pela literatura [1]:

- | | | |
|---------------------|------------------------|-------------------------------|
| A) Atmosfera | D) Produtos químicos | G) Substâncias fundidas |
| B) Águas naturais | E) Sistemas em solução | H) Solventes orgânicos |
| C) Solo | F) Alimentos | I) Madeiras e plásticos; etc. |

A ênfase abordada aqui será sobre a corrosão atmosférica, indicada pelo item ‘A’ da listagem anterior dos meios de corrosão. Para isso, com o objetivo de avaliar o processo de corrosão gerada pela degradação atmosférica, neste trabalho foi especificado e construído um painel para exposição atmosférica de corpos de prova de aços estruturais, conforme a norma NBR 6209 [4]. Através do uso deste painel e pelos preceitos da NBR 6209[4] foram avaliadas a resposta imediata de dois tipos de aços estruturais, expostos em dois diferentes tipos de atmosfera. Com isso, foi visado demonstrar a maior agressividade na taxa de corrosão presente em uma

localidade litorânea e como esta tende a influenciar a degradação dos aços estruturais.

2 DESENVOLVIMENTO

Para atender os objetivos da NBR 6209 [4], o painel deve ser projetado e construído de modo a apresentar resistência mecânica e à corrosão adequados para resistir à força dos ventos e suportar a massa dos corpos de prova ao longo de um tempo mínimo de dois anos de duração do ensaio. Em sua alínea 4.1.2, a NBR 6209[4] indica que os painéis devem ser construídos com inclinação de 30° em relação a horizontal e com seu nível inferior a uma altura de 1m do piso conforme esquematizado na Figura 2.

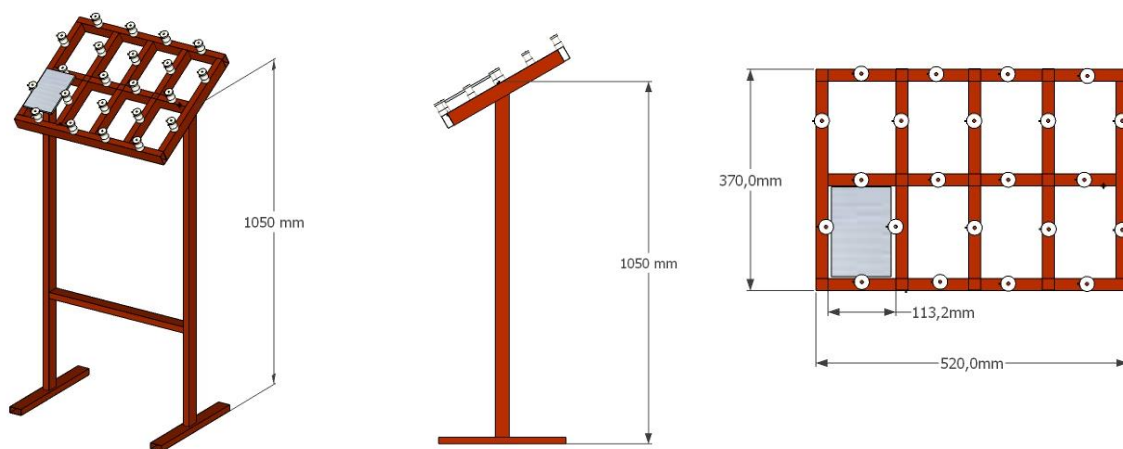


Figura 2. Projeto do painel de exposição adotado e elaborado neste estudo.

A escolha do material para construção dos painéis de exposição, em conformidade à NBR 6209 [4], parágrafo 4.1.1 alínea c, foram tubos de aço SAE J403 1006 [5] de seção retangular, conhecidos como 'metalon', nas dimensões: 0,90x20x40mm. Tais tubos foram escolhidos pelo seu baixo custo, acessibilidade e facilidade de manuseio. O processo de soldagem das partes do painel de exposição foi GTAW (*Gas-shielded Tungsten Arc Welding*) ou TIG (*Tungsten Inert Gas*), devido à baixa espessura do material escolhido (0,90 mm).

Foram fabricadas três estruturas iguais, que foram submetidos a um jateamento abrasivo com granalha de aço em cabine de jateamento manual, de acordo com a NBR 7348[6]. Este procedimento visou preparar as superfícies de aço dos suportes, por meio de abrasivos que atendam a legislação vigente para aplicação de pintura ou de outros revestimentos anticorrosivos. Na sequência foi aplicada uma camada de *penguard primer componente A*, misturado com o *penguard componente B* epóxi, de alto peso molecular, curados com poliamida da marca Jotun.

Para fornecer um apoio firme e inalterável aos corpos de prova, ao longo do tempo, foram empregados isoladores elétricos cerâmicos, afixadas por parafusos galvanizados, que possuem grande resistência à exposição solar e às intempéries, conforme mostrado na Figura 3. O isolamento elétrico é importante para evitar alterações eletroquímicas ao longo do processo de exposição atmosférica e degradação das amostras.

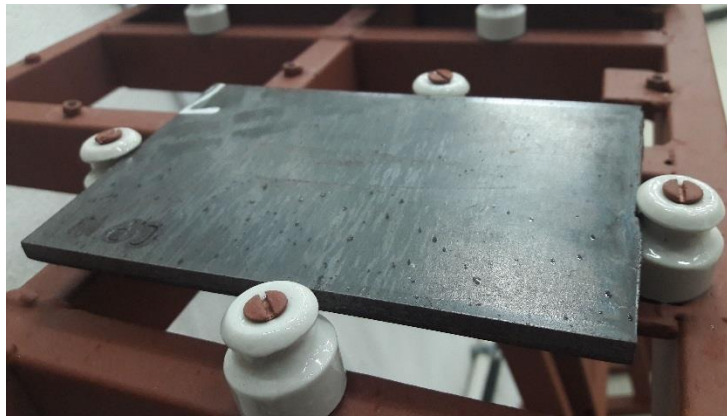


Figura 3. Detalhe ilustrando os apoios isolantes cerâmicos do painel de exposição atmosférica de chapas metálicas elaborado neste estudo.

Os materiais utilizados nas avaliações de campo, foram o aço estrutural de media resistência 'USI CIVIL 250' e aço estrutural patinável de alta resistência 'USI SAC 350'. Ambos com 6,4 mm de espessura e obtidos através do processo de laminação a quente. Corpos de prova (CPs) constituídos destas chapas foram cortados nas dimensões padronizadas (NBR 6209[4]) de 100×150 mm, na espessura fornecida de 6,4mm, conforme ilustrado na Figura 4.

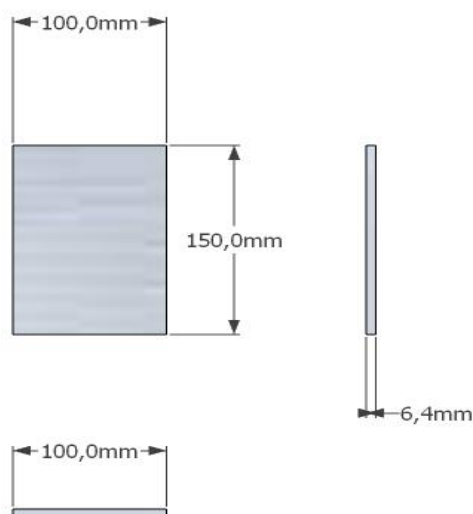


Figura 4. Geometria e dimensões dos corpos de prova de aço estrutural empregados neste estudo.

As características químicas e mecânicas dos aços avaliados, empregando-se 6 (seis) CPs de cada um dos dois tipos de aço, estão apresentadas na Tabela 1 (propriedades mecânicas) e Tabela 2 (composição química).

Tabela 1. Propriedades Mecânicas dos Aços avaliados neste estudo.

Aço	Qualidade	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_u/f_y	%Along (L0=200mm)
Patinável	USI SAC 350	363	520	1,43	25
Normal	USI CIVIL 250	282	418	1,48	28

Tabela 2. Composições Químicas dos Aços avaliados neste estudo.

Aço	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Al	%Cu	%Nb	%V	%Ti	%Cr	%Ni	%Mo	%N
Patinável	0,10	1,08	0,74	0,027	0,002	0,031	0,08	0,001	0,001	0,002	0,19	0,01	0,00	0,0025
Normal	0,15	0,01	0,70	0,018	0,007	0,038	0,00	0,001	0,001	0,001	0,01	0,00	0,00	0,0023

Os painéis expositores, foram identificados em ordem numérica: 1,2 e 3. Por sua vez; os corpos de prova (CPs) foram identificados com gravação alfanumérica do tipo punção a profundidade de, aproximadamente, 2mm. Posteriormente, cada CP foi limpo superficialmente com lã de aço, também de forma manual. Conforme ilustrado na Figura 5, os CPs também foram dimensionados com um paquímetro digital (com precisão de 0,01 mm) e tiveram sua massa aferida através de uma balança de precisão digital da marca Shimadzu, modelo BL 3200H (com precisão de 0,01 g).



Figura 5. Dimensionando e aferindo a massa dos os corpos de prova de aço estrutural empregados neste trabalho. Pode-se notar a identificação puncionada na superfície dos CPs (conforme indicada).

Os corpos de prova foram instalados em um ângulo de 30° em relação à horizontal e com a superfície exposta orientada na direção do norte geográfico conforme NBR 6209 [4]. A Figura 6 ilustra o posicionamento relativo dos corpos de prova em relação ao solo. Os corpos de prova ficaram expostos desta forma por 70 dias consecutivos.

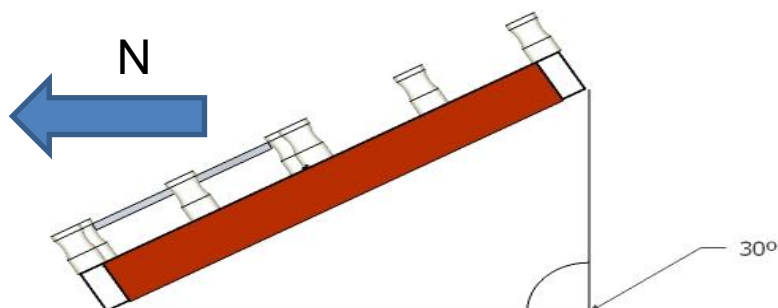


Figura 6. Posicionamento dos painéis para realizar a exposição atmosférica com os corpos de prova de aços estruturais empregados neste estudo

Foram escolhidos dois locais externos para exposição dos CPs, ambos localizados nos campi da UNAERP de modo a evitar possíveis intercorrências ocasionadas por fatores indesejáveis. O Painel 1 foi colocado no campus de Guarujá, já o Painel 2 foi instalado no campus de Ribeirão Preto, a cerca de 408 km de distância do litoral paulista. O terceiro painel foi mantido dentro das instalações do centro tecnológico das Engenharias no campus da UNAERP-Guarujá para comparação de resultados e demonstrações realizadas em aulas para o curso de Engenharia Civil da Universidade. A Figura 7 ilustra os locais de exposição dos painéis com as amostras de aço estruturais.

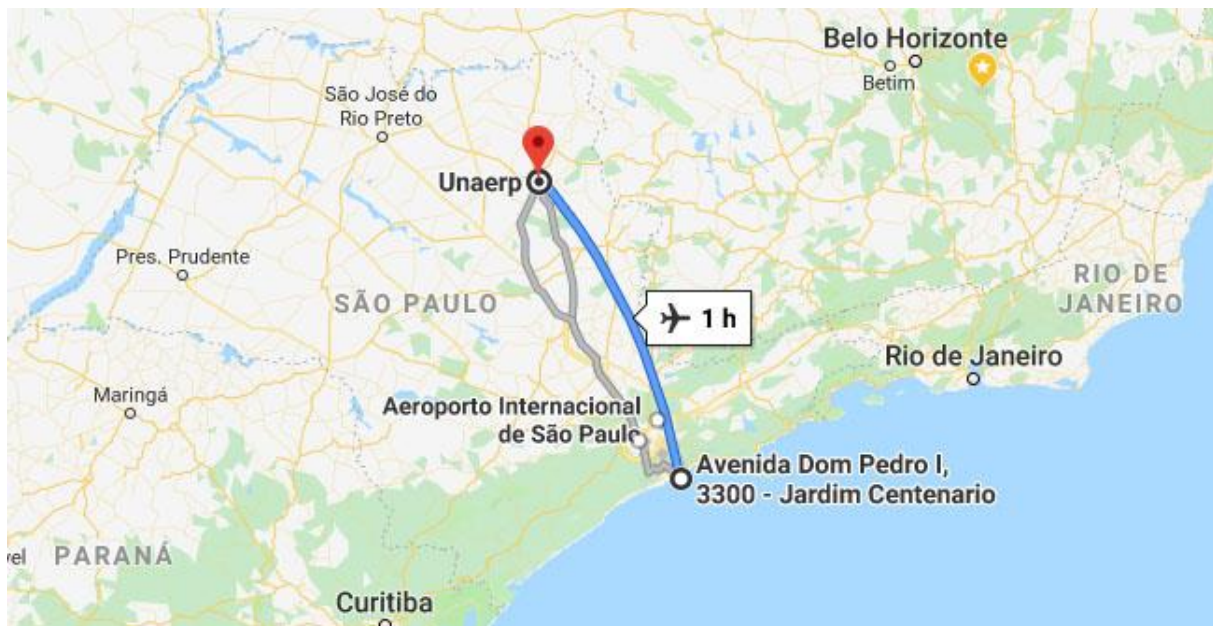


Figura 7. Locais de instalação dos painéis para realizar a exposição atmosférica com os corpos de prova de aços estruturais empregados neste estudo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta a identificação, dimensões e massa dos corpos de prova (CPs) instalados no painel expositor 1, que foi exposto externamente em região litorânea. Já a Tabela 4 apresenta os mesmos resultados para os corpos de prova (CPs) instalados no painel expositor 2. Assim como ocorreu com as amostras do painel expositor 2, as amostras do painel expositor 3 não apresentaram diferenças dimensionais e de massa detectáveis.

As fotos da Figura 8 ilustram os diferentes aspectos observados nos corpos de prova expostos nos três painéis. É particularmente marcante o efeito do ambiente litorâneo no processo de degradação dos aços estruturais, em relação a um ambiente de uma região mais afastada da linha litorânea. Além disso, a ausência da ação das chuvas, no painel expositor 3, também é marcante no desempenho contra corrosão [1, 2].

Tabela 3. Dimensões e massa dos corpos de prova expostos pelo painel 1, colocado em ambiente litorâneo.

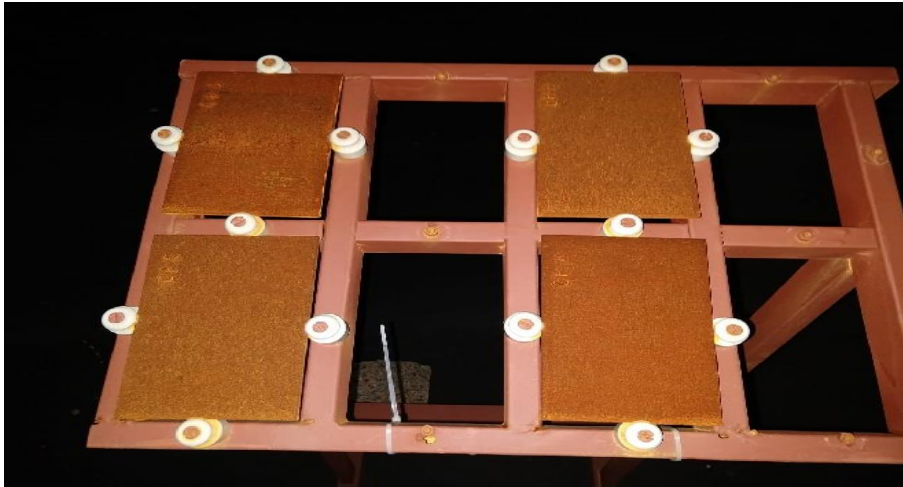
Identificação	Tipo de aço	Dimensões (mm)	Massa (g)
Inicialmente			
CPG	USI CIVIL 250	6,36 × 99,97 × 150,70	747,10
CPA	USI CIVIL 250	6,37 × 99,60 × 150,90	749,20
CPB	USI CIVIL 350	6,22 × 99,90 × 152,80	741,94
CPC	USI CIVIL 350	6,28 × 100,74 × 150,58	758,46
Após 70 dias de exposição			
CPG	USI CIVIL 250	6,34 × 99,95 × 150,35	749,82
CPA	USI CIVIL 250	6,37 × 99,60 × 150,90	749,20
CPB	USI CIVIL 350	6,19 × 99,80 × 152,70	744,18
CPC	USI CIVIL 350	6,26 × 100,72 × 150,57	761,66

Tabela 4. Dimensões e massa dos corpos de prova expostos pelo painel 2, colocado afastado do ambiente litorâneo.

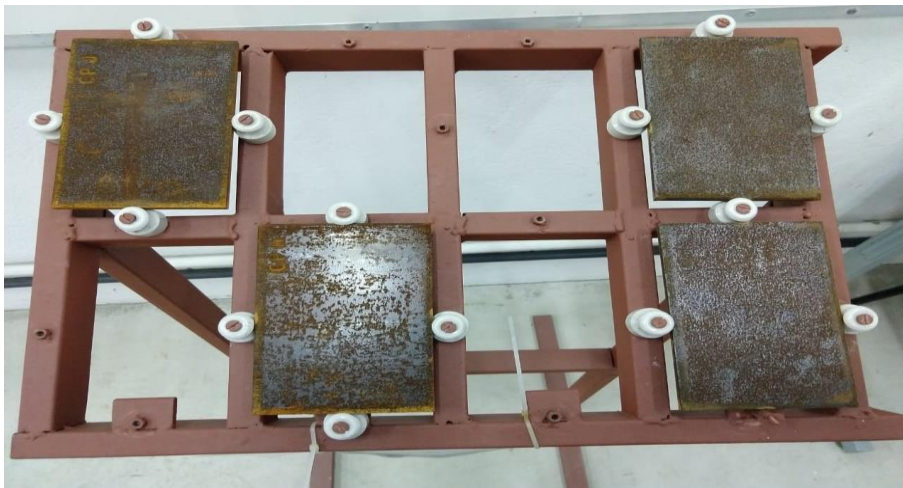
Identificação	Tipo de aço	Dimensões (mm)	Massa (g)
Inicialmente			
CPH	USI CIVIL 250	6,37 × 100,48 × 149,90	753,00
CPJ	USI CIVIL 250	6,37 × 100,10 × 150,75	752,26
CPK	USI CIVIL 350	6,20 × 101,23 × 150,62	754,71
CPF	USI CIVIL 350	6,25 × 100,29 × 150,22	750,66
Após 70 dias de exposição (as dimensões se repetiram)			
CPH	USI CIVIL 250	6,37 × 100,48 × 149,90	753,00
CPJ	USI CIVIL 250	6,37 × 100,10 × 150,75	752,26
CPK	USI CIVIL 350	6,20 × 101,23 × 150,62	754,71
CPF	USI CIVIL 350	6,25 × 100,29 × 150,22	750,66

Colocando em uma representação gráfica, apresentada na Figura 9, pode-se melhor quantificar a influência sobre a taxa de corrosão (oxidação) em função da localidade a qual o aço é exposto. Ambientes com taxa de agressão mais acentuada levam a um nível de degradação muito mais rápida, mesmo em um curto período de tempo. O ganho de massa nos corpos de prova com a oxidação se deu através da incorporação de oxigênio e, especialmente, água na camada externa de aço. Considerando que o intervalo de tempo empregado neste trabalho não houve

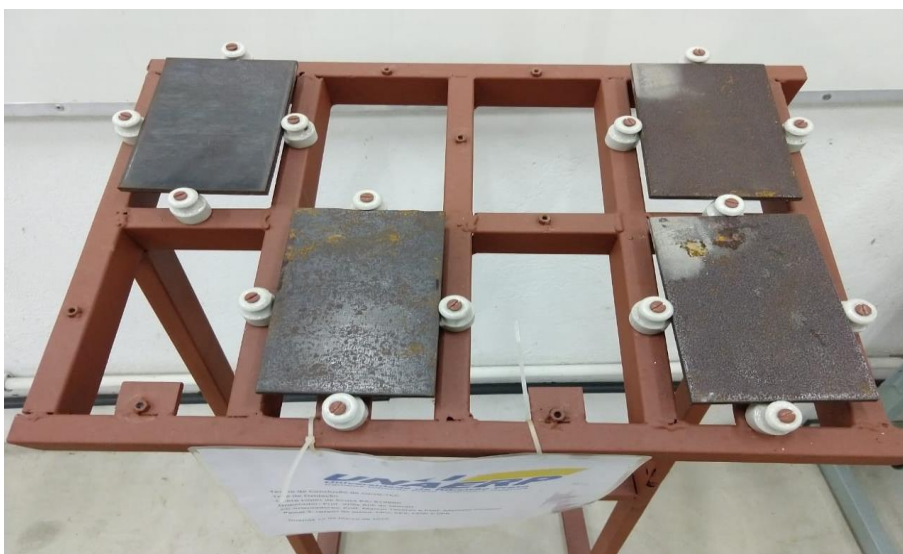
desprendimento da camada de oxidação isso só tende a aumentar o peso das amostras. O exame visual das superfícies das amostras constatou-se, pela taxa de agressividade de um ambiente não litorâneo, que este é menos agressivo para as amostras, mesmo mediante a intemperes.



Panel 1
(exposição
atmosférica em
região litorânea)



Panel 2
(exposição
atmosférica em
região de
afastada do
litoral)



Panel 3
(mantido em
ambiente
interno em
região litorânea)

Figura 8. Aspectos superficiais das amostras de aço estrutural após 70 dias de exposição.

Já para o ambiente litorâneo, com taxa de agressividade corrosiva muito mais elevada, torna-se indispensável o tratamento contra a oxidação, pois as amostras sofreram alterações visuais significativas, quando expostas aos intemperes locais. O mesmo não ocorrendo com as amostras mantidas em ambiente interno (painel 3).

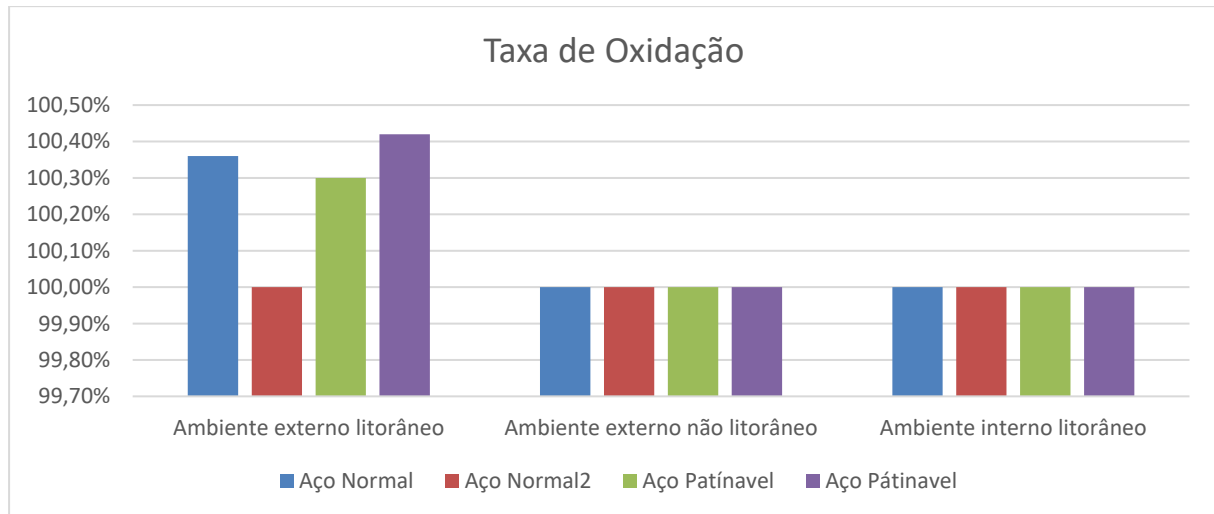


Figura 9. Gráfico de barras ilustrando a taxa de oxidação dos diferentes aços estruturais e ambientes de exposição empregados neste estudo.

3 CONCLUSÃO

Como principais conclusões deste trabalho, podem ser citadas:

- As taxas de corrosão são relevantes para o projeto de estruturas metálicas.
- Os painéis construídos apresentam características compatíveis com as normas Brasileiras aplicáveis (NBR 6209 e NBR 6210).
- É possível empregar os dispositivos criados neste trabalho para acompanhar as taxas de corrosão de corpos de prova metálicos ao longo dos próximos anos através de pesquisas a serem desenvolvidas na UNAERP.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio técnico, material e equipamentos da Guaraseg Indústria e Comercio LTDA (Guarujá – SP), empregados na construção dos painéis de exposição descritos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 GENTIL, V. Corrosão. 5. ed. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos. 2007.
- 2 GEMELLI; Enori. Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- 3 CALLISTER JUNIOR; William D.. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. Traduzido por Sérgio Murilo Stamile Soares. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros técnicos e científicos, c2008.
- 4 ABNT NBR 6209:2007. Corrosão atmosférica - Materiais metálicos - Ensaio não-acelerado. Rio de Janeiro, 2007.
- 5 SAE. J 403. Chemical compositions of SAE carbon steel. Edição 2009.
- 6 ABNT NBR 7348:2017. Pintura industrial - Preparação de superfície de aço com jateamento abrasivo ou hidrojateamento. Rio de Janeiro, 2017.