



## 20º CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTES MARÍTIMOS, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE

### ESTUDO DO PROCESSO DE CORROSÃO DAS ESTRUTURAS METÁLICAS DA ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ

Jordi G. Angelats<sup>1</sup>, Cristina E. Alvarez<sup>2</sup>, Manuel A. F. Castro<sup>3</sup>,  
Marcos A. Westphalen Palma<sup>4</sup>, Saint-Clair D. O. Santos<sup>5</sup>,  
Otávio H. Paiva M. Fontes<sup>6</sup>, Haynnée T. Souza<sup>7</sup>

#### 1 Resumo

O Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), organização integrante da Marinha do Brasil, e responsável pela manutenção corretiva e preventiva das estruturas da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), decidiu criar um Grupo de Trabalho Multifuncional (GTM) que além dos membros integrantes do AMRJ recebe também a colaboração de membros da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e tem como objetivo o estudo do processo de corrosão das estruturas metálicas daquela Estação. A EACF está situada em um local inóspito e de difícil acesso que faz com que a sua manutenção seja realizada a um custo mais elevado, portanto, é de vital importância que o projeto de suas estruturas, bem como, a escolha dos materiais empregados sejam os mais adequados de forma a minimizar o volume dos trabalhos das manutenções periódicas de suas estruturas metálicas. A EACF ajuda o Brasil a cumprir uma missão estratégica, garantindo a

infra-estrutura necessária às diversas instituições de pesquisa e ensino conduzirem seus trabalhos científicos de campo.

O trabalho do GTM consistiu, na primeira fase, no estabelecimento de medidas de curto prazo visando a redução do processo corrosivo das estruturas metálicas da EACF e posteriormente na definição de experimentos, que a médio e longo prazo, permitissem a elaboração de um estudo conclusivo em relação ao emprego de sistemas de proteção contra a corrosão (esquemas de pintura) de suas superfícies metálicas, que é o objeto do presente artigo. O GTM decidiu produzir um ensaio de corrosão não-acelerado, por meio de uma Estação de Corrosão Atmosférica, denominada Estação de Corrosão Atmosférica Comandante Ferraz (ECACF), objetivando a determinação de parâmetros inerentes ao processo de evolução da corrosão. A ECACF é constituída de dois suportes com oitenta e oito corpos-de-prova, onde estão sendo testados diferentes esquemas de pintura submetidos ao

<sup>1</sup> M.Sc., Engenheiro Naval (USP), Capitão-de-Fragata (EN), Chefe do Departamento Técnico do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, Marinha do Brasil, e-mail: 22@amrj.mar.mil.br (autor-contato).

<sup>2</sup> D. Sc., Estruturas Ambientais Urbanas (FAU/USP), Coordenadora do Laboratório de Planejamento e Projeto (LPP/UFES), e-mail: engel@npd.ufes.br

<sup>3</sup> Engenheiro Civil (SUAM), Engenheiro de Tecnologia Militar, Departamento Técnico do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, Marinha do Brasil, e-mail: 223@amrj.mar.mil.br

<sup>4</sup> Engenheiro Naval (USP), Mestrando em Engenharia de Produção (UFF), Capitão-Tenente (EN), Departamento Técnico do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, Marinha do Brasil, e-mail: 2211@amrj.mar.mil.br

<sup>5</sup> Engenheiro Naval (USP), Mestrando – Laboratório de Corrosão – Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (PEMM) – COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Capitão-Tenente (EN), Marinha do Brasil, e-mail: saint@ccard.com.br

<sup>6</sup> M.Sc., Engenheiro Mecânico (CEFET), Mestrando em Engenharia de Produção (UFF), Capitão-Tenente (EN), Departamento da Produção do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, Marinha do Brasil, e-mail: 2429@amrj.mar.mil.br

<sup>7</sup> Engenheira Química, Capitão-Tenente (EN), Assessoria de Gestão Integrada do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, Marinha do Brasil, e-mail: 083@amrj.mar.mil.br

microclima Antártico, ressaltamos que também estão inclusos corpos-de-prova sem pintura e fabricados com materiais diferentes do aço carbono, que é o material tradicionalmente utilizado na fabricação dos módulos. Este artigo tem a intenção de apresentar os primeiros resultados de uma pesquisa que deverá se prolongar até o ano de 2009, resultados estes que já permitem a formulação de conclusões preliminares e ações a fim de minimizar o processo corrosivo de suas estruturas metálicas e, conseqüentemente, a proteção do meio ambiente antártico.

## 2 Introdução

A Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) situa-se em um continente praticamente inexplorado na Baía do Almirantado, nas Ilhas Shetland do Sul, e sob condições climáticas severas tanto para o ser humano quanto para o material que edifica as suas instalações. Nesse contexto, em abril de 2003, foi criado um Grupo de Trabalho Multifuncional (GTM) para estudo do processo de corrosão de suas estruturas metálicas que estão localizadas em atmosfera marinha a baixa temperatura.

A pesquisa, desenvolvida em conjunto pelo Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro e pela Universidade Federal do Espírito Santo, pode ser dividida em três linhas principais:

- Análise das variáveis ambientais a fim de determinar a influência do microclima na corrosividade do ambiente antártico. Para tanto serão obtidos os dados referentes aos principais parâmetros físico-químicos - tais como sulfatos, nitratos, cloretos, fluoretos, resistividade, condutividade e pH - nas amostras de solo, água e neve coletadas no local;
- Retirada de produtos de corrosão para análise físico/química e microestrutural visando a identificação do processo de corrosão predominante; e
- Instalação de uma estação de monitoramento da corrosão atmosférica, denominada Estação de Corrosão Atmosférica Comandante Ferraz (EACAF), com a exposição inicial de oitenta e oito corpos-de-prova, a fim de determinar a taxa de corrosão e o desempenho de sistemas de proteção das superfícies metálicas (esquemas de pintura).

## 3 Microclima Antártico

O clima que envolve as estruturas metálicas é de extrema relevância para a avaliação dos mecanismos de degradação devido à ação da atmosfera nos materiais. A taxa de corrosão atmosférica depende do tempo de umectação da superfície metálica e da forma como esta superfície metálica responde à combinação de fatores, tais como: temperatura, umidade relativa, duração e intensidade das chuvas, orvalho, radiação solar, direção e intensidade dos ventos, poluição atmosférica devido ao mar (salinidade) ou atividades industriais e na acumulação de íons ácidos na película aquosa depositada sobre a estrutura.

A umidade relativa (UR) exerce papel decisivo sobre a evolução do processo de corrosão das estruturas metálicas. Consta-se que o processo de corrosão é pouco afetado quando a UR é inferior a 60%, no caso do ferro (Fe), podendo a corrosão ser significativamente acelerada quando a atmosfera está contaminada. No caso da região onde está instalada a EACF na Antártica, a UR, durante o período de um ano, é superior a 70% e na sua maior parte superior a 80%. O tempo de umectação (TDU) que é definido como sendo o espaço temporal em que as temperaturas estão acima de 0°C e a UR acima de 80%, simultaneamente, é de grande importância, uma vez que na Antártica a UR permanece acima de 80% durante a maior parte do ano. MARROCOS [2] destaca o índice de deterioração estabelecido por A. Brooks;

$$I = \frac{(UR_{med} - 65) \times P}{65} \quad (1)$$

onde  $UR_{med}$  é a umidade relativa média anual e P é a pressão de saturação do vapor d'água na atmosfera em milibares (mbar) correspondente à temperatura média anual. De acordo com o valor obtido em (1) tem-se um determinado grau de deterioração, mostrado na tabela I.

**Tabela I – Índice de Deterioração.**

I	Grau de deterioração
$I < 1$	Muito baixo
$1 < I < 2$	Baixo
$2 < I < 5$	Moderado
$I > 5$	Alto

Na EACF o índice de deterioração<sup>8</sup> calculado foi de 2,9 que equivale a um grau de deterioração moderado. Ressalta-se que o índice de deterioração não leva, diretamente, em consideração outras variáveis que compõem o microclima e que afetam o desempenho dos sistemas de proteção de superfícies contra a corrosão (pinturas). Destaca-se, particularmente na EACF, a ação dos ventos que são de grande intensidade em todas as direções e que exercem ação abrasiva direta nas superfícies metálicas ao lançar partículas de neve e gelo, comparável a um jateamento da sua superfície.

Os ácidos que se formam a partir do íon cloreto, proveniente do mar, e do íon sulfato, presente em suspensão, no ar atmosférico, são os mais significativos agentes contaminantes e aceleradores da corrosão [4,5]. A norma ISO 9223 [6] estabelece que o nível destes dois contaminantes são suficientes para determinar o grau de agressividade de um determinado microclima que faz parte da atmosfera.

A higroscopia de diversos elementos considerados poluentes é de grande importância no caso do “spray salino”, que ao formar o composto  $MgCl_2$ , é capaz de iniciar o processo de corrosão a partir de UR da ordem de 33%, que é bastante inferior ao “spray salino” composto de  $NaCl$  que inicia um processo de corrosão intensa a partir de 75% de UR.

A presença de sulfatos induz à formação de ácido sulfúrico acelerando o processo de corrosão, que no caso da EACF podem ser provenientes da queima de combustível fóssil para a geração de energia elétrica e térmica para a calefação.

#### 4 Corrosão das estruturas da EACF

A EACF é composta por grandes superfícies metálicas expostas às ações adversas das condições meteorológicas que compõem o seu microclima que resulta na necessidade de um alto investimento na sua manutenção, muitas vezes por meio de procedimentos repetitivos e pouco eficientes, podendo acarretar em desperdício de recursos e ampliação do impacto ao meio ambiente. A figura 1 evidencia o resultado do processo de corrosão no heliponto e a figura 2 mostra a ação da corrosão no fundo de um dos tanques de óleo combustível. De uma maneira geral, a

corrosão aparece concentrada nos elementos estruturais das bases dos módulos, fundo dos tanques de óleo combustível e nas regiões de soldas ou em trechos de peças metálicas, que na sua construção, foram submetidas à deformação plástica como, por exemplo, as anteparas corrugadas.



Figura 1- Corrosão da antepara lateral do heliponto.



Figura 2- Corrosão do fundo do tanque de óleo combustível.

#### 5 Manutenção da EACF

Anualmente são realizadas sete missões logísticas coordenadas pelos Comandos da Marinha e da Aeronáutica a um custo médio de R\$ 10 milhões. O orçamento do Programa Antártico (PROANTAR), para 2004, é de apenas R\$ 1,5 milhão e vem sendo reduzido a cada ano. A Marinha do Brasil, por meio do Navio Oceanográfico “Ary Rongel”, por um período de cinco meses na Antártica, proporciona o apoio necessário às pesquisas e manutenção da Estação. O “Ary Rongel” opera com helicópteros de pequeno porte, transportando carga e pesquisadores durante o verão austral. A Força Aérea Brasileira realiza as missões transportando pessoal, material e equipamentos ao longo do ano. A EACF é atualmente constituída de sessenta e quatro “containers”, na sua maior parte, fabricados em aço, com capacidade para acomodar cerca de quarenta

<sup>8</sup> Índice de deterioração calculado com os dados do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), para o período compreendido entre maio de 2003 e abril de 2004.

pessoas, dentre as quais, dez são integrantes da Marinha, em missões que duram um ano. Existe uma rotatividade anual de aproximadamente cento e trinta cientistas na Estação, objetivando a realização de pesquisas em áreas como Biologia, Oceanografia, Geofísica, Astronomia e Meteorologia. O Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), também envia quatro equipes de até doze pessoas durante o verão, para a execução da manutenção das estruturas metálicas dos módulos e equipamentos, bem como, para eventuais ampliações e modernização da infraestrutura da EACF.

Face ao exposto, constata-se ser extremamente importante a redução dos custos de manutenção, por meio da utilização de materiais e processos de forma a minimizar a evolução da corrosão das superfícies metálicas. É importante mencionar que a redução dos níveis de deterioração por ação da corrosão produz menos resíduos, e conseqüentemente são mitigados os riscos e impactos sobre o meio ambiente antártico, atendendo desta forma a uma das exigências estabelecidas pelo Protocolo de Proteção Ambiental para o Tratado da Antártica denominado Protocolo de Madri, ratificado em janeiro de 1998, e que assegurou por mais de 50 anos a condição de área especial de conservação do Planeta e de suas nações.

## **6 Pintura da EACF**

As atividades de tratamento e pintura dos módulos metálicos da EACF desenvolvem-se em dois ambientes distintos:

- Obras novas prontificadas no AMRJ, que recebem tratamento e pintura de qualidade e são sempre executadas em ambiente adequado, ou seja, em condições climáticas adequadas no que diz respeito à temperatura ambiente e à umidade relativa do ar; e
- Obras novas com soldas executadas na EACF ou pinturas de manutenção, também realizadas no ambiente antártico.

Historicamente, o esquema de pintura de borracha clorada que vinha sendo utilizado até a Operação Antártica XVII era inquestionável e independia do ambiente onde fosse executado. Este esquema apresentava um resultado excelente com relação à pintura em baixas temperaturas, devido à secagem por reação química e não por evaporação do solvente. É um esquema antigo de baixo desempenho e de

processo de fabricação agressivo ao meio ambiente, fatos esses que fizeram com que diversos fabricantes deixassem de fabricar o produto na sua linha normal de produção, passando somente a fornecer mediante pedido especial, o que elevava em muito o custo da tinta.

Na OPERANTAR XVII foram efetuados testes com dois novos tipos de esquemas de pintura: alquídico de secagem rápida, aplicado no corredor de serviço, na cozinha e lavanderia; e “epoxi” sem solvente com cura acelerada aplicado no piso do heliponto, em substituição ao antigo esquema de borracha clorada que apresentava descolamento generalizado causado pela sua baixa resistência mecânica ao toque das aeronaves.

A partir da OPERANTAR XVIII o esquema de borracha clorada foi definitivamente substituído pelos esquemas alquídico de secagem rápida e “epoxi” sem solvente com cura acelerada, este último no piso do heliponto.

## **7 Estação de Corrosão Atmosférica Comandante Ferraz (EACF)**

Em virtude da influência direta do microclima de cada região no processo de corrosão atmosférica, em diversos locais do mundo, são montados suportes onde são expostos diversos tipos de materiais a ação das variáveis climáticas daquele local, possibilitando a análise do comportamento de cada material exposto em termos de sua degradação. Estes suportes são denominados “Estações de Corrosão Atmosférica” e servem também para testar ou ensaiar diferentes esquemas de pintura. As Estações de Corrosão Atmosférica constituem os denominados ensaios de corrosão não-acelerados e conseqüentemente os resultados significativos surgirão a médio e longo prazo.

Os corpos-de-prova que são colocados nos suportes possuem um ângulo em relação ao plano horizontal. VERA *et al.* [7] estudaram os efeitos da inclinação em que as amostras de aço são submetidas durante os testes de exposição atmosférica e concluíram que: quanto maior o ângulo (em relação a horizontal), maior a drenagem de água, maior a eficiência da lavagem, menor a quantidade de poluentes, implicando em uma menor taxa de corrosão. Este ângulo afeta também a morfologia dos produtos da corrosão, porém, não possui efeito sobre a composição da ferrugem. Durante a XXII OPERANTAR foram instalados dois

suportes que compõem a primeira Estação de Corrosão Atmosférica do Brasil, no Continente Antártico. Nesta Estação estão expostos corpos-de-prova de tipos diferentes de materiais, sendo revestidos com esquemas de pintura, a princípio, passíveis de emprego na EACF. Foram definidos três ângulos com a horizontal: 0°, 45° e 90° para o suporte auxiliar e 45° para o suporte principal (figuras 3 e 4), cuja localização geográfica consta no quadro I.

Buscou-se simular as condições de fabricação e montagem de estruturas ao produzir nos corpos-de-prova cordões de solda, bem como, a simulação de falhas no esquema de pintura por meio de incisões em alguns corpos-de-prova em forma de "X". Ressalta-se que, aqueles sem pintura servirão para identificar os produtos da corrosão e determinar a taxa de corrosão dos materiais que os compõem.



Figura 3 – Suporte auxiliar com corpos-de-prova com ângulos em relação ao plano horizontal de 0°, 45° e 90°.



Figura 4 - Suporte Principal a 45° em relação ao plano horizontal.

Quadro I - Estação de Corrosão Atmosférica Comandante Ferraz

Posição geográfica	Latitude: 62°05' S
	Longitude: 58°23' 29" W
	Altitude: 13m
Distância da linha da costa	10m
Atmosfera	Marinha
Clima	Polar

## 8 Análise preliminar dos corpos-de-prova com pintura

O ensaio de corrosão não-acelerado com a utilização de dois suportes contendo, a princípio 88 corpos-de-prova está previsto para durar 5 anos. Este permitirá a escolha do melhor sistema de proteção contra a corrosão (esquema de pintura), pois as principais causas de falhas de um sistema são [1]:

- Especificação de um sistema de pintura inadequado;
- Priorizar a escolha apenas pelo custo inicial menor; e
- Deixar de realizar ensaios de desempenho comparativos como névoa salina, câmara de umidade e ensaios de corrosão não-acelerado por meio de uma estação de corrosão.

A boa prática nos revela que a escolha de um sistema de pintura não deve se calcar apenas na variável custo como sendo o fator decisivo, mas sim na compatibilidade do mesmo com o substrato, condições ambientais e operacionais.

Os corpos-de-prova da ECACF foram expostos em 25/01/2004, sendo que, a cada três meses, serão fotografados. O GTM, ao analisar as fotografias à luz da ABNT-NBR-5770, decidirá quais serão os corpos-de-prova retirados para serem submetidos a análises adicionais em laboratório. Em abril de 2004, foram obtidas as primeiras fotos dos corpos-de-prova para serem analisados segundo a norma que estabelece o critério transcrito no quadro IV para grau de enferrujamento.

**Quadro II – Descrição e posicionamento dos corpos-de-prova da ECACF - Suporte Principal.**

Identificação	Material	Esquema de pintura Cor	Espessura Filme Úmido (fabricante) (µm)	Local de Preparação
A.1.1 A.1.2 A.1.3	Aço galvanizado	Alquídico SR Verde	105	AMRJ
A.1.4 A.1.5 A.1.6	Aço galvanizado	Alquídico SR Verde	105	EACF
B.1.1 B.1.2 B.1.3	Aço galvanizado	“Epoxi” SS Branco	415	AMRJ
B.1.4 B.1.5 B.1.6	Aço galvanizado	“Epoxi” SS Laranja	415	EACF
A.2.1 A.2.2 A.2.3	Aço carbono	Alquídico SR Verde	90	AMRJ
A.2.4 A.2.5 A.2.6	Aço carbono	Alquídico SR Verde	90	EACF
B.2.1 B.2.2 B.2.3	Aço carbono	“Epoxi” SS Branco	400	AMRJ
B.2.4 B.2.5 B.2.6	Aço carbono	“Epoxi” SS Laranja	400	EACF
A.3.1 A.3.2 A.3.3	Aço carbono com cordão de solda	Alquídico SR Verde	90	AMRJ
A.3.4 A.3.5 A.3.6	Aço carbono com cordão de solda	Alquídico SR Verde	90	EACF
B.3.1 B.3.2 B.3.3	Aço carbono com cordão de solda	“Epoxi” SS Branco	400	AMRJ
B.3.4 B.3.5 B.3.6	Aço carbono com cordão de solda	“Epoxi” SS Laranja	400	EACF
C.1.1 C.1.2 C.1.3	Aço carbono com solda com galvanização	Alquídico SR Verde	90	EACF
D.1.1 D.1.2 D.1.3	Aço carbono com solda com galvanização	“Epoxi” SS Laranja	400	EACF
A.4.1 A.4.2 A.4.3	Aço carbono riscado	Alquídico SR Verde	90	EACF
B.4.1 B.4.2 B.4.3	Aço carbono riscado	“Epoxi” SS Laranja	400	EACF
A.5.1 A.5.2 A.5.3	Aço carbono pintado s/ controle *	Alquídico SR Verde	90	EACF
F.1.1 F.1.2 F.1.3	Aço Cor-ten	Sem pintura	--	AMRJ
E.1.1 E.1.2	Aço carbono	Sem pintura	--	AMRJ
F.2.1 F.2.2 F.2.3	Aço carbono	Sem pintura	--	AMRJ
F.3.1 F.3.2 F.3.3	Titânio	Sem pintura	--	AMRJ

\* Estes corpos-de-prova foram pintados simulando uma eventual aplicação do esquema sem controle de temperatura e umidade relativa.



**Quadro III – Descrição e posicionamento dos corpos-de-prova da ECACF - Suporte Auxiliar.**

Identificação	Material	Esquema e Cor	Espessura Filme (fabricante) (µm)	Local de Preparação	Observações
F.2.4 F.2.5 F.2.6	Aço carbono	Sem pintura	--	AMRJ	plano horizontal
B.5.1 B.5.2 B.5.3	Aço carbono	“Epoxi” branco	150	EACF	ver sup. principal plano a 45° ver sup. principal
B.6.1 B.6.2 B.6.3	Aço carbono	“Epoxi” branco	450	AMRJ	Plano a 45° plano a 45° ver sup. principal
F.4.1 F.4.2 F.4.3	Aço carbono com galvanização a frio	Sem pintura	--	AMRJ	Plano a 45° plano a 45° ver sup. princip.
F.5.1 F.5.2 F.5.3	Alumínio	Sem pintura	--	AMRJ	Plano a 45° plano a 45° ver sup. princip.
F.2.7 F.2.8 F.2.9	Aço carbono	Sem pintura	--	AMRJ	Plano vertical
X.1.1 X.1.2	Aço carbono	Alquídico SR Verde	90	EACF	Plano vertical plano horizontal
Y.1.1 Y.1.2 Y.1.3	Aço carbono com solda com galvanização	Alquídico SR Verde	90	EACF	plano horizontal plano horizontal plano a 45°
Y.1.4 Y.1.5 Y.1.6	Aço carbono com solda com galvanização	Alquídico SR Verde	90	EACF	Plano a 45° plano vertical plano vertical

**Quadro IV – Norma ABNT-NBR-5770 Determinação do grau de enferrujamento de superfícies pintadas.**

Grau de enferrujamento	Enferrujamento correspondente	Área estimada de enferrujamento aflorante (%)	Área estimada de enferrujamento aflorante com enferrujamento subjacente (%)
F0	<b>Isento de Ferrugem</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
F1	<b>Figura 1 da norma</b>	<b>0,05</b>	<b>1</b>
F2	<b>Figura 2 da norma</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
F3	<b>Figura 3 da norma</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
F4	<b>Figura 4 da norma</b>	<b>15</b>	<b>30</b>
F5	<b>Figura 5 da norma</b>	<b>40</b>	<b>50</b>

As primeiras observações mostraram que todos os corpos-de-prova pintados apresentaram depois de um tempo de exposição de três meses grau de enferrujamento F0, ou seja isentos de ferrugem, a exceção do corpo de prova B.5.2, em aço carbono (figuras 5 e 6), o qual foi pintado com esquema “epoxi” branco com cura para baixa temperatura (até -5°C), cuja descrição técnica do produto de um renomado fabricante<sup>9</sup> menciona que:

“ (...) ser compatível com diversos substratos e podendo ser aplicada em uma única demão de alta espessura, a trincha ou pulverização sobre superfícies preparadas manualmente e uma vasta gama de revestimentos intactos e

envelhecidos. Tolera o flash rust em superfícies preparadas por jato abrasivo úmido ou hidrojateamento (...)”



**Figura 5 –** Corpo-de-prova aço carbono, início da exposição em 25/01/2004.

<sup>9</sup> Pelo fato do estudo não estar concluído não foi mencionado o fabricante como referência.



Figura 6 – Corpo-de-prova após 3 meses de exposição.

Comparando as figuras 5 e 6, observa-se o grau de enferrujamento entre F0 e F1 deste corpo-de-prova. O acompanhamento da evolução da corrosão deste corpo-de-prova (B.5.2) e dos demais com o mesmo esquema de pintura (B.5.1 e B.5.3), definirá o momento de suas retiradas para análises adicionais em laboratório e determinação das causas da baixa eficácia do esquema de pintura, apesar do mesmo haver sido especificado para baixas temperaturas.

## 8 Análises das amostras de neve e amostras de produtos de corrosão

Durante a XXII OPERANTAR, foram coletadas sete amostras de aço carbono oxidados, tendo como critério de coleta a obtenção de estruturas com maior tempo de oxidação e localizadas em pontos diversos do complexo da Estação Antártica Comandante Ferraz.

Foram também coletadas cinco amostras de neve, que foram selecionadas de locais distintos e a realização das coletas em dias e horários diferentes. O quadro V apresenta, sucintamente, os compostos de ferro identificados por Difração de Raios-X, cujo processo de análise foi a utilização dos seguintes recursos: Difrátômetro de pó marca Rigaku, modelo DMax 2200 com tubo de cobre e monocromador de grafite no feixe secundário. A identificação das fases presentes foi feita por comparação com padrões de difração do “International Centre for Diffraction Data” (ICDD PDF-2 Database), utilizando-se para processamento dos dados o programa Materials Data Inc. Jade versão 5.0.

Quadro V - Síntese dos resultados dos difratogramas dos produtos de corrosão.

Difração de Raios-X	
Nº da amostra	Compostos de ferro identificados
1	Hematita (PDF # 33-0664)
	Maghemita (PDF # 25-1402)
2	Maghemita (PDF # 25-1402)
	Goethita (PDF # 29-0713)
	Lepidocrocita (PDF # 08-0098)
3	Maghemita (PDF # 25-1402)
	Goethita (PDF # 29-0713)
	Lepidocrocita (PDF # 44-1415)
4	Maghemita (PDF # 25-1402)
	Lepidocrocita (PDF # 44-1415)
5	Hematita (PDF # 33-0664)
	Lepidocrocita (PDF # 44-1415)
	Goethita (PDF # 29-0713)
	Maghemita (PDF # 25-1402)
6	-
7	Maghemita (PDF # 25-1402)
	Goethita (PDF # 29-0713)
	Lepidocrocita (PDF # 44-1415)

Foram também identificados outros compostos, como por exemplo: quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), nas amostras de nº 2 e 4; calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), nas amostras de nº 4 e 5; e zinco (Zn), na amostra nº6.

É importante que haja também a garantia da identificação/caracterização do eletrólito envolvido com os processos corrosivos na Antártica. Deste modo, foram executados testes físico-químicos nas amostras de neve oriundas da EACF. Realizaram-se medições do potencial de hidrogênio iônico (pH) com o equipamento Microcomputer pH Vision Cole Parmer Model 05669-20, sendo que o resultado apresentado na tabela II é a média aritmética de três medidas efetuadas.

Tabela II - pH das amostras de neve.

Nº da amostra	pH
1	6,1
2	6,1
3	6,4
4	5,8
5	6,2

Os resultados demonstram que todas as amostras de neve possuem como característica o fato de serem ácidas, o que confere ao eletrólito um efeito mais agressivo em relação ao aspecto de corrosão.

SCULLY *et al.* [16] reiteram que, muitos tipos de fenômenos de corrosão são controlados pela composição iônica de pequenos volumes de solução (eletrólito) em contato com a superfície metálica. Corrosão localizada e corrosão atmosférica são dois exemplos nos



quais, a quantidade de eletrólito inferior a 1µl pode causar danos consideráveis.

A fim de verificar a presença de íons  $\text{SO}_4^{-2}$  e íons  $\text{Cl}^-$ , na neve (eletrólito), procedeu-se a uma análise cromatográfica das amostras. Pode-se dizer que, a cromatografia de íons é uma técnica de separação que permite a quantificação de cátions e ânions, empregando colunas com resinas trocadoras ou exclusão de íons. A detecção nesta técnica é feita geralmente por condutibilidade elétrica. Nas 5 amostras de neve oriundas da Antártica, foram realizadas análises para a determinação de ânions fluoreto, cloreto, nitrato, clorito, bromato,

nitrito, sulfato, fosfato e brometo. Em tais experimentos foram observadas as seguintes condições cromatográficas: DX-080 Ion Analyser DIONEX, com detecção condutimétrica e software PeakNet® IA v 6.13 da DIONEX para a aquisição de dados, loop com volume de amostra 10µl, coluna analítica Ion PAC AS14 - 5µm, eluente 4.8  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  / 0.6  $\text{NaHCO}_3$ , fluxo de eluente 0.5 ml/min, supressora AMMS III - 2mm, regenerante 50 mN  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , fluxo regenerante 3.5 ml/min. Referente a condutimetria foi utilizado o condutímetro Watercheck 1 da Chemetrics.

**Quadro VI - Síntese dos resultados da Cromatografia Líquida de Íons e Condutimetria.**

Amostra	$\text{F}^-$ (mg/l)	$\text{Cl}^-$ (mg/l)	$\text{NO}_2^-$ (mg/l)	$\text{ClO}_2^-$ (mg/l)	$\text{BrO}_3^-$ (mg/l)	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	$\text{SO}_4^{-2}$ (mg/l)	$\text{PO}_4^{-3}$ (mg/l)	$\text{Br}^-$ (mg/l)	( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^2$ )*
1	'0,05	0,67	'0,05	'0,01	'0,01	'0,05	0,22	'0,05	'0,05	4
2	'0,05	0,54	'0,05	'0,01	'0,01	'0,05	0,36	'0,05	'0,05	8
3	'0,05	12,98	'0,05	'0,01	'0,01	'0,05	3,71	'0,05	'0,05	74
4	'0,05	0,61	'0,05	'0,01	'0,01	'0,05	0,15	1,06	'0,05	6
5	'0,05	'0,05	'0,05	'0,01	'0,01	'0,05	0,19	'0,05	'0,05	3

Verifica-se a presença de íons sulfato e cloretos na amostra 3, considerados contaminantes que aceleram o processo de corrosão. O GTM está pesquisando a possível fonte de contaminação uma vez que os sulfatos freqüentemente estão associados à atividade humana e são derivados dos poluentes produzidos pela queima de combustíveis fósseis. O solo também será objeto de análise, na determinação de sua resistividade e composição.

## 9 Conclusões

Os primeiros resultados de um ensaio de corrosão não-acelerado durante a exposição de oitenta e oito corpos-de-prova na Estação de Corrosão Atmosférica Comandante Ferraz confirmam que a atmosfera marinha constituinte do microclima da Estação Antártica Comandante Ferraz é moderadamente agressiva e que as equipes que operam e conduzem a sua manutenção devem planejar e executar as suas atividades de forma a evitar que os esquemas de pintura, uma vez corretamente especificados, falhem devido à má preparação da superfície,

aplicação deficiente, geometria das estruturas e condições de aplicação inadequadas ou deficiência de manutenção periódica.

Constata-se por meio do corpo de prova B.5.2, em aço carbono (figuras 5 e 6), o qual foi pintado com esquema "epoxi" branco com cura para baixa temperatura (até -5°C), que mesmo corretamente especificado falhou no cordão de solda e demais áreas com apenas três meses de exposição às intempéries. Os demais corpos-de-prova pintados não apresentaram sinais significativos de corrosão utilizando-se do critério estabelecido pela ABNT-NBR-5770 e podem ser considerados isentos de ferrugem.

Observou-se que, a ferrugem na Antártica é composta predominantemente por goethita ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ), lepidocrocita ( $\gamma\text{-FeOOH}$ ) e magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), o que permitirá futuramente a especificação de um esquema de pintura adequado constituído de pigmentos a base de óxidos.

## 10 Referências Bibliográficas

[1] GENTIL, V. (2003), *Corrosão*, 4 ed. Rio de Janeiro, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

- [2] MARROCOS, M. (1998), "Seccion A - El Proyecto de Investigacion, Mapa Iberoamericano de Corrosividad Atmosferica (MICAT) -". In: *Corrosion y Proteccion de Metales en las Atmosferas de Iberoamerica, Parte I – Mapas de Iberoamerica de Corrosividad Atmosferica (Proyecto MICAT, XV.1/CYTED)*, Gráficas Salué, S. A., pp. 67-75.
- [3] NUNES, L. P., LOBO, A. C. O. (1998), *Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva*, 2. ed. Rio de Janeiro, Interciência Ltda.
- [4] MIRANDA, L. R. M., NOGUEIRA, R. P., DIAZ, S. I. L., et al. (1991), "Avaliação do Desempenho Quanto à Corrosão de Tintas Formuladas à Base de Ferrugens Protetoras". In: *16º Congresso Brasileiro de Corrosão*, pp. 468-479, Rio de Janeiro.
- [5] EVANS, U. R. (1976), "Atmospheric Corrosion". In: Arnold, E. (publishers), *The Corrosion and Oxidation of Metals Second Supplementary Volume*, 1 ed., chapter XIII, London, Great Britain.
- [6] ISO 9223 (1992): "Corrosion of Metals and Alloys – Corrosivity of Atmospheres – Clasification", Genève.
- [7] VERA, R., ROSALES, B. M., TAPIA, C. (2003), "Effect of the Exposure Angle in the Corrosion Rate of Plain Carbon Steel in a Marine Atmospheric", *Corrosion Science* v. 45, pp. 321-337.
- [8] CORVO, F., BETANCOURT, N., MENDONZA, A. (1995), "The Influence of Airborne Salinity on the Atmospheric Corrosion of Steel", *Corrosion Science* v. 37, n. 12, pp. 1889-1901.
- [9] MORCILLO, M., CHICO, B., MARIACA, L., et al. (2000), "Salinity in Marine Atmospheric Corrosion: its Dependence on the Wind Regime Existing in the Site", *Corrosion Science* v. 42, pp. 91-104.
- [10] ASSIS, S. L., COSTA, I. (2003), "Estudo Comparativo de Ensaio Acelerados para Simulação da
- [11] FRAGATA, F. L., AMORIM, C. C., SALAI, R. P. (2003), "Pintura de Manutenção - Estudo sobre a Compatibilidade entre Esquemas de Pintura". In: *7ª COTEQ Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos*, Santa Catarina.
- [12] BODSTEIN, H.S.M., MIRANDA, L. R. M., METLAKHOV, A., et al. (2002), "Avaliação "In Situ" e em Laboratório de Corrosão Atmosférica de um Aço Carbono Revestido com Tintas". In: *6ª COTEQ Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, 22º CONBRASCORR - Congresso Brasileiro de Corrosão*, Bahia.
- [13] ASTM A 131 / A 131M – 1994: "Standard Specification for Structural Steel for Ship".
- [14] ALMEIDA, M. E. M., MORCILLO, M. (1998), "Seccion B – Contribuciones del Proyecto MICAT al Estudio de la Corrosion Atmosferica. 6 – Corrosion Atmosferica de Metales Desnudos, una Vision Global e Integradora de los Resultados Obtenidos en el Proyecto MICAT". In: *Corrosion y Proteccion de Metales en las Atmosferas de Iberoamerica, Parte I – Mapas de Iberoamerica de Corrosividad Atmosferica (Proyecto MICAT, XV.1/CYTED)*, Gráficas Salué, S. A., pp. 473-518.
- [15] POURBAIX, M. (1988), *Lições de Corrosão Eletroquímica*, 3 ed., CEBELCOR - Centro Belga de Estudo da Corrosão, Bruxelas, Bélgica. *Brasileira de Corrosão – ABRACO*, v. 1, pp. 338-342, Rio de Janeiro.
- [16] SCULLY, H. S., BRUMBACK, L. C., KELLY, R. G. (1993), "Chromatographic Studies of Corrosion Sites in Metallic Materials", *Journal of Chromatograph*, n. 640, pp. 345-350.