



## AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DE CORROSÃO NOS EQUIPAMENTOS PORTUÁRIOS

DOI: 10.19177/rgsa.v8e12019848-880

Vanessa Cunha Ostroski<sup>1</sup>



### RESUMO

Para se obter informações acerca do processo corrosivo que acometem os equipamentos portuários, nos grabs e funis foram feitas avaliações por meio de inspeção visual, salt spray, imersão e intemperismo, além da caracterização em uma amostra que ficou em exposição de trabalho por um período de 365 dias, através do MEV e EDS. A inspeção visual foi útil para levantar os tipos de patologias encontradas na superfície dos equipamentos. As técnicas de salt spray, intemperismo e imersão foram utilizadas para determinar a perda de massa sofrida pelo aço carbono 1020, procedido pelo cálculo da taxa de corrosão, que forneceu dados decisivos para a conclusão sobre o desempenho do aço frente à corrosão em ambiente portuário. Os ensaios de imersão foram realizados em três soluções distintas de cargas a granel movimentadas no porto de São Francisco do Sul. Partindo da teoria que todos os metais podem ser utilizados sempre que sua velocidade de deterioração seja aceitavelmente baixa, foi possível verificar que a taxa de corrosão encontrada nas amostras foi admissível. Através de buscas por referências, ficou evidenciada a falta de acervo bibliográfico brasileiro atual sobre obras portuárias e a causa principal de sua degradação ao longo dos anos, especialmente quando o assunto é corrosão.

**Palavras-chave:** Corrosão. Equipamentos portuários. Perda de massa e velocidade de corrosão.

<sup>1</sup> Técnica de Segurança do Trabalho. Engenheira Química. Pós graduanda em Engenharia de Segurança do Trabalho. Unisociesc. E-mail: [vanessa\\_sfs@hotmail.com](mailto:vanessa_sfs@hotmail.com)

## 1 INTRODUÇÃO

A deterioração causada por intermédio da corrosão acarreta alterações prejudiciais aos materiais, tornando os mesmos indevidos para uso ao qual foi destinado no projeto e, conseqüentemente, gerando custos. Os prejuízos que a corrosão pode ocasionar são imensos, incluídos nessa soma as perdas de produção, paradas operacionais, quebra de equipamento e seu descarte. As consideradas mais graves são as perdas de vidas acarretadas por acidentes decorrentes de falha dos materiais metálicos.

Não foram encontrados dados que contabilizem os gastos com corrosão nos portos brasileiros, sendo esse um setor imprescindível para a economia brasileira. Mais de 80% do comércio internacional brasileiro é realizado por via marítima e sozinha, movimenta cerca de 700 milhões de toneladas de inúmeras mercadorias, ganhando competitividade no mercado navegável (BERTOLOTO, 2011).

Dentro dos portos as cargas são movimentadas através dos inúmeros equipamentos portuários existentes, que são destinados ao uso conforme a natureza da carga transportada. Esses equipamentos têm importância vital na agilidade de movimentação nas operações portuárias e, ao se diminuir os custos relacionados à operação, a economia global ganha. No entanto, esses equipamentos estão sujeitos a ação da corrosão devido às ligas metálicas utilizadas em sua construção serem atacadas pelos cloretos do ambiente portuário costeiro, associados às cargas químicas movimentadas, trazendo riscos devido as falhas estruturais.

É impossível eliminar totalmente a corrosão, entretanto, técnicas anticorrosivas podem ser utilizadas a fim de reduzir os resultados indesejáveis causados pelo processo corrosivo. Outra estratégia que pode ser útil é a avaliação da velocidade de corrosão, onde se estima conhecer a vida útil dos equipamentos garantindo a integridade e confiabilidade operacional.

Este trabalho teve como objetivo determinar a velocidade de corrosão em equipamentos portuários aplicados que operam com carga a granel sólido no porto de São Francisco do Sul.

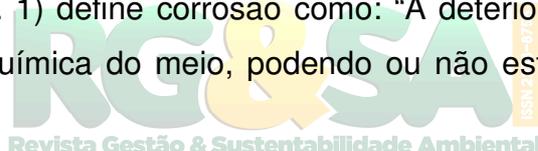
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Quando é projetado um equipamento deve-se levar em consideração a resistência e características inerentes ao material, pois este deve possuir propriedades mecânicas adequadas, resistindo à ação do meio. Recomenda-se ainda, avaliar o processo de fabricação do equipamento, bem como materiais empregados no projeto, descrever os meios corrosivos encontrados, levantar as características operacionais e ter conhecimento da proteção anticorrosiva empregada (RAMANATHAN, 1988).

### 2.1 DEFINIÇÃO DA CORROSÃO

Com a entrada do aço na indústria, a utilização de materiais metálicos trouxe preocupações relevantes quanto à corrosão (NUNES, 2007).

Gentil (2007, p. 1) define corrosão como: “A deterioração dos materiais pela ação química, eletroquímica do meio, podendo ou não estar associada a esforços mecânicos”.



#### 2.1.1 Formas de corrosão

Os processos corrosivos, geralmente, se passam na superfície do material e podem ser classificados segundo sua morfologia, causas ou mecanismo, fatores mecânicos, meio corrosivo e localização do ataque. A determinação da forma de corrosão auxilia no entendimento do mecanismo e no emprego de medidas adequadas de proteção. As formas de corrosão se classificam segundo suas formas (GENTIL, 2007):

- Uniforme ou generalizada - a corrosão ocorre em toda a extensão da superfície, gerando perda de espessura uniforme, não existindo áreas preferenciais para o ataque corrosivo, diferente da corrosão localizada que é provocada em regiões específicas do metal;
- Por placas - a corrosão atua em algumas regiões da superfície metálica e não em toda a sua extensão, produzindo placas com escavações;

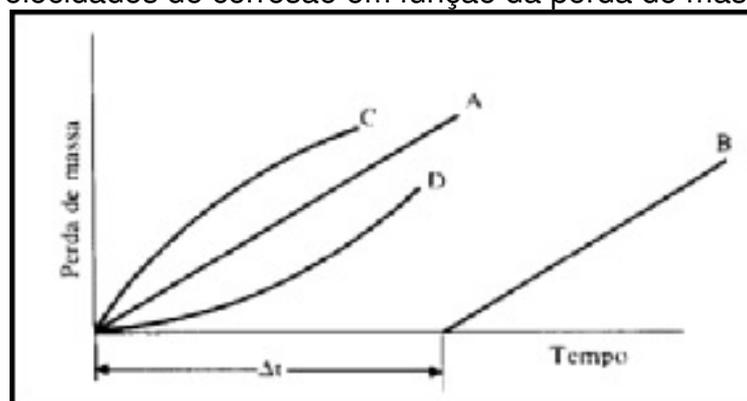
- Alveolar - a corrosão atua na superfície metálica originando sulcos ou escavações similares a alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade normalmente menor que o seu diâmetro;
- Puntiforme ou por pite - a corrosão trabalha em pequenas áreas localizadas na superfície metálica gerando pontos de desgaste que penetram até o interior do metal;
- Intergranular e transgranular – diferenciam-se pelo processamento da corrosão nos grãos da rede cristalina, enquanto no primeiro caso se processa entre os grãos, o segundo se processa atravessando os grãos, podendo as duas formas citadas, acarretar na corrosão sob tensão fraturante, visto que o material perde suas propriedades mecânicas e pode fraturar ao sofrer esforço mecânico.

## 2.2 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE CORROSÃO

A determinação da velocidade média é feita através da medida da diferença de peso do material metálico ou da concentração de íons metálicos em solução, por determinados intervalos de tempo em exposição ao meio corrosivo (GENTIL, 2007).

A Figura 1, apresenta um gráfico de curvas representativas da velocidade de corrosão, relacionando perda de massa por tempo.

Figura 1 - Velocidades de corrosão em função da perda de massa por tempo



Fonte: Gentil (2007)

É verificado na Figura 1, que a curva A representa a velocidade de corrosão eletroquímica, onde a perda de espessura é uniforme e a área da superfície disponível para reação é constante, o produto da corrosão é inerte e a concentração do agente corrosivo é constante. A curva B é semelhante à curva A, entretanto existe um período de indução relacionado com o tempo gasto pelo agente corrosivo para destruir as

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.848-880, jan/mar. 2019.

partículas protetoras existentes. A curva C ocorre quando o produto de corrosão é insolúvel e adere à superfície metálica, assim diminuiu a área disponível para reação e a curva D ocorre quando o produto de corrosão é solúvel e a velocidade tem aumento significativo, pois a área da superfície disponível para reação aumenta com o tempo (GOMES, 2005).

A taxa de corrosão e o combate ao estado de oxidação são fatores relevantes a serem definidos. A velocidade indica a rapidez com que a reação corrosiva ocorre e a resistência à corrosão propicia referências quanto a estabilidade dos materiais quando expostos a determinadas condições (GEMELLI, 2001).

A taxa de corrosão ou medida de remoção de material é consequência de ação química e parâmetro relevante, podendo ser expressa como perda de espessura do material por unidade de tempo (CALLISTER, 2012). Vale observar que a taxa de corrosão pode ser utilizada para corrosão uniforme e não se emprega em casos de corrosão localizada.

A taxa de corrosão pode ser calculada segundo a norma ASTM G31-72, através da Equação 1:


$$\text{taxa de corrosão} = \frac{K.W}{A.t.d} \quad (1)$$

Onde:

W= perda de massa (g); A= área da amostra (cm<sup>2</sup>); t= tempo de exposição (h); d = densidade da amostra (g/cm<sup>3</sup>) e K = constante de proporcionalidade tabelada.

### 2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA VELOCIDADE DE CORROSÃO

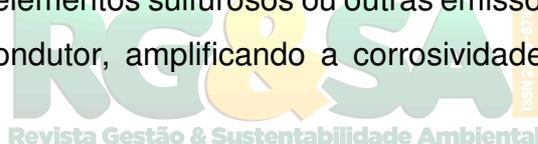
Alguns fatores podem contribuir relevantemente na velocidade de corrosão, é o caso de esforços mecânicos e erosão dos equipamentos (SMITH, 1998). O ambiente em que os metais são dispostos tem influência direta no processo corrosivo. Diversos fatores atmosféricos causam corrosão, entre eles, a umidade relativa do ar, substâncias poluentes, tempo de exposição ao agente corrosivo e fatores climáticos. Com este agrupamento de fatores, as estruturas sofrem uma degeneração antes do tempo previsto em projeto (MARQUES; RIBEIRO, ARAÚJO, 2007). Esses efeitos

devem ser levados em consideração na hora da escolha do material mais adequado para um tipo de projeto a fim de garantir que os componentes não falhem prematuramente.

### **2.3.1 Ambiente atmosférico**

Elevado são os números de estruturas metálicas e equipamentos que estão expostos às condições físico-químicas e termodinâmicas da atmosfera, e mais de 50% das perdas globais por corrosão são ocasionadas pela corrosão atmosférica (TOMASHOV, 1966), sendo esta, conceituada como a deterioração de um material exposto ao ar e seus poluentes e tem sido definida como a mais prejudicial em termos de custos e quantidade de matéria danificada que qualquer outra classe de ambiente de corrosão (METALS,1987).

No ambiente marinho existe a impregnação do ar pela maresia promovendo a corrosão acelerada dos revestimentos de proteção. Esses poluentes podem ser sólidos ou gases com elementos sulfurosos ou outras emissões que tornem o eletrólito mais forte ou mais condutor, amplificando a corrosividade do sistema (BABOIAN, 1995).



### **2.3.2 Corrosão marinha**

Atualmente, a corrosão marinha tem grande impacto na perda econômica que afeta o PIB de todos os países, além de ser o tipo de corrosão mais agressivo e difícil de ser controlado (BRAGA, 2014).

A atmosfera marinha é composta por gases dissolvidos, matéria orgânica viva e em decomposição, cloretos, podendo inclusive conter sulfatos intensamente agressivos, acelerando o processo de corrosão. Encontra-se também grande quantidade de cloreto de sódio, que é um eletrólito forte, logo notável agente corrosivo. A presença desses constituintes contribui para o aumento da ação corrosiva e da intensificação do intemperismo (CÂMARA *et al.* 2012).

A intensidade do ataque é muito influenciada pela quantidade de partículas de sais ou umidades depositadas na superfície. A corrosão torna-se mais acentuada em locais onde existe a presença de névoa salina acompanhada de umidade relativa, pois as deposições das partículas podem acarretar corrosão por aeração diferencial, que

através dos cloretos presentes na água do mar tendem a formar uma película fina na superfície da estrutura, causando a corrosão (GENTIL, 2007).

Os íons cloretos são provenientes do sal marinho e incorporam-se à atmosfera pelos aerossóis que são veiculados pelas fortes rebentações oceânicas e influência dos ventos, tendo maior concentração quanto mais próximo for da orla (MEIRA, 2002).

### **2.3.3 Influência dos particulados**

As substâncias poluentes também contribuem para o processo corrosivo, exemplo são particulados, que em forma de poeira, causam deposição nos materiais, causando efeitos adversos (GENTIL, 2007).

Além das condições atmosféricas do ambiente marinho, as cargas movimentadas possuem sua parcela de contribuição na velocidade de deterioração dos equipamentos, tornando-se indispensável considerar a agressividade dos produtos químicos utilizados (NUNES, 2007).

As maiores parcelas de produtos químicos são resultadas da movimentação da carga a granel sólido, e o Manual Técnico da NR - 29, define: "Granel sólido é toda carga que pode ser transportada e acondicionada, num espaço próprio para cargas, podendo ser até mesmo a estrutura da embarcação". Podem reagir com o ar atmosférico, oxigênio ou umidade, com a presença ou não de microrganismos, gerando gases tóxicos ou explosivos.

Dentre as diversas cargas a granel movimentadas no porto de São Francisco do Sul, se destacam: cloreto de potássio, ureia, sulfato de amônio, barrilha; caulim (silicato de alumínio hidratado); rocha fosfática; potassa cáustica e diversos fertilizantes.

## **2.4 PORTO DE SÃO FRANCISCO DO SUL**

O Porto de São Francisco do Sul, fica localizado na Baía da Babitonga e conta com cerca de 180 mil m<sup>2</sup> de área. As instalações do porto público, compreendem um cais acostável com uma extensão de 850 m composto de quatro berços de atracação. Existem mais três berços no terminal privado de uso público, este foi construído através de uma licitação pública em 1995 (CABRAL, 2011). Na Figura 2 é possível visualizar o Porto de São Francisco do Sul.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.848-880, jan/mar. 2019.

Figura 2 - Foto aérea do Porto de São Francisco do Sul



Fonte: RÜCKERT (2015)

O porto de São Francisco do Sul destaca-se pela movimentação de granéis sólidos, movimentando uma quantidade importante de mercadorias. No ano de 2014 bateu recorde de movimentação ao registrar 13.197.505 toneladas movimentadas, sendo que desse montante 1,8 milhão de toneladas se deu devido a importação de fertilizantes (RÜCKERT, 2015).

## 2.5 EQUIPAMENTOS PORTUÁRIOS

Os equipamentos portuários têm papel fundamental nas operações portuárias, principalmente em virtude do aumento da mecanização das tarefas que compõem o processo produtivo dos portos e terminais (FEMAR, 2001).

Nas operações contendo granéis sólidos, geralmente são utilizados equipamentos como pás carregadeiras para a operação de recheio, que auxiliam as operações de carga e descarga nos porões dos navios, além de *grabs* que são empregados para a movimentação de granéis sólidos, e as moegas cuja função é o recebimento ou destinação de granéis sólidos a esteiras, vagões ou caminhões (ANTAQ). Na Figura 3 é possível identificar da direita para a esquerda: Máquina usada no recheio, *grab* carregado com carga, funil sendo posicionado no costado do porto e funil sendo carregado com a carga.

Os produtos minerais são retirados por torres sugadoras diretamente para os silos, ou por *grabs* (conchas), neste último caso o produto é colocado em um funil de onde são abastecidos caminhões ou vagões ferroviários (NR - 29).

Figura 3 - Equipamentos portuários (operação de granel sólido)



Fonte: A autora (2016)

Segundo o Manual Técnico da NR - 29, *grab* é uma aparelhagem mecânica constituída de duas mandíbulas ou garras de ferro, aço ou zinco, que se fecham ou se abrem automaticamente, na operação de apanhar ou largar granéis sólidos. Complementado pela Norma Regulamentadora NR-29.3.10: “[...] operações com granéis sólidos, geralmente é automatizada com o uso de correias transportadoras e de caçambas automáticas (*grabs*)”.

Moega ou funil, é classificado como um equipamento indicado à dosagem de materiais sólidos a granel, atuando com o princípio de “funil” (ELEMEC, [201-]). São equipamentos portuários destinados a transferir material granulado, ou grãos, sendo estes agrícolas, fertilizantes ou minérios. Estes equipamentos podem têm forma de pirâmide invertida, normalmente de base quadrada ou circular (RABELLO, 2015).

## 2.6 ENSAIOS DE CORROSÃO

Os ensaios de corrosão têm intenção de caracterizar a agressividade de um meio corrosivo e proporcionar fundamentos para o seu controle. Os ensaios podem

ser realizados em campo ou laboratório, dependendo do objetivo que se pretende atingir. Em laboratório as condições são simuladas, mantendo a composição do meio corrosivo fixado com rigor, podendo acelerar o processo para conseguir resultados mais rápidos, onde a duração das análises não é longa para evitar variação na corrosividade do meio, resultante do acúmulo de produtos de corrosão ou redução do principal agente corrosivo. Os ensaios de campo são realizados em condições reais, permitindo assim, uma avaliação mais correta do meio corrosivo sobre o material, entretanto essa técnica exige um período de tempo mais extenso (GENTIL, 2007).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para uma simulação bem próxima das condições reais de trabalho, o ideal seria que as amostras fossem minuciosamente idênticas às utilizadas no ambiente portuário. Como isso não foi possível, buscou-se nos ensaios especificar as condições de reprodutibilidade na superfície da amostra, levando em conta as variáveis, que foram utilizadas como parâmetro para o ensaio, sendo essas o fator determinante para duração das análises.



#### 3.1 PREPARO DAS AMOSTRAS

Foram utilizados 54 corpos de prova de aço carbono 1020, divididos em 3 amostras para a técnica de *salt spray*, 36 amostras para os ensaios de imersão e 15 amostras para ensaio atmosférico.

##### 3.1.1 Cálculo de área das Amostras

Foi de fundamental importância o cálculo da área das amostras na realização dos experimentos, visto que a taxa de corrosão é calculada em função deste parâmetro. As amostras foram cortadas e limpas de acordo com a norma ABNT NBR6210, em seguida passaram por ataque químico em solução de NaOH, lixadas com lixas de sequência granulométrica variáveis de 180 a 1200 *mesh* e seguidas por polimento com intuito de eliminar marcas deixadas no processo de lixamento. O polimento foi realizado através de discos abrasivos rotativos e ao término, a amostra foi limpa com água corrente, a fim de evitar que as partículas retiradas da superfície

por abrasão, durante os procedimentos de corte, lixamento e polimento, se instalassem na superfície contaminando a mesma, em seguida foram secas com ar quente para ficarem livres de umidade.

### 3.1.2 Reagentes utilizados

No Quadro 1 é possível identificar os reagentes utilizados para as diferentes técnicas, como segue:

Quadro 1 - Reagentes utilizados

Técnica	Reagente	Concentração	pH
Preparo das amostras	NaOH	30% m/V	
<i>Salt spray</i>	NaCl	5% m/V	6,5 a 7,2
Imersão	KCl, (NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO e (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3,5% m/V	
Intemperismo	Solução de Clark (HCl, Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> e SnCl <sub>2</sub> )		
Limpeza das amostras	Solução de Clark (HCl, Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> e SnCl <sub>2</sub> )		

Fonte: A autora (2016)

### 3.2 INSPEÇÃO VISUAL



A inspeção visual nos equipamentos portuários dispostos no Porto de São Francisco do Sul, foi registrada durante a manhã, a fim de utilizar a claridade do dia para melhor qualidade das imagens e possuiu um método de registro que preservou sua integridade, isto é, sem distorção das cores naturais para melhor análise crítica. Através dessa técnica, foi possível levantar as formas mais comuns de corrosão que são encontrados na superfície dos equipamentos portuários estudados nesse trabalho.

### 3.3 IMERSÃO

Em temperatura ambiente, as amostras em triplicatas foram completamente imersas em soluções distintas de KCl, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO. Foram dissolvidos 35 g de cada carga química em 1,0 L de água, resultando em uma solução 3,5% m/V. Em seguida, as amostras passaram por limpeza química.

### 3.4 SALT SPRAY (NÉVOA SALINA)

A fim de avaliar a corrosividade, os corpos de prova foram dispostos na câmara de ensaio acelerado a uma névoa salina contínua, em um equipamento modelo USC-MP- 01/2005. A câmara foi condicionada a uma temperatura de operação de 35°C, com três amostras dispostas no interior do equipamento em um ângulo variando de 15 a 30 graus em relação à vertical, evitando o contato entre chapas e permitindo o acesso da névoa em todas as amostras do ensaio. Figura 4 é possível observar as amostras no interior da câmara.

Figura 4 - Amostras dispostas no interior da câmara salina



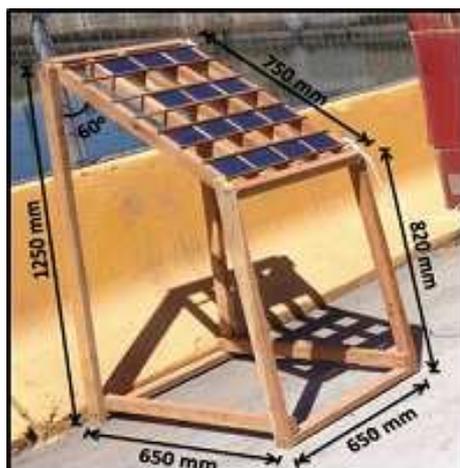
Fonte: A autora (2016).

A duração do ensaio foi de 7 dias e, após o ensaio, as amostras foram higienizadas.

### 3.5 ENSAIO ATMOSFÉRICO (AMBIENTE COM INTEMPERISMO NATURAL)

As amostras foram fixadas de modo a evitar contato e sobreposição das peças vizinhas em uma prateleira de exposição (Figura 5):

Figura 5 - Quadro posicionador utilizado na fixação das amostras



Fonte: A autora (2016)

O local de exposição para o ensaio atmosférico foi na orla marinha do Porto de São Francisco do Sul, próximo a operação com carga a granel, a 10 metros do mar, com a face voltada para o continente. Conforme norma, o ângulo de exposição foi de 60° em relação à horizontal.

O ensaio foi realizado sob condições análogas às de serviço, permitindo, portanto, uma avaliação fidedigna da ação do meio corrosivo sobre o material metálico. As amostras em triplicatas foram retiradas com as seguintes periodicidades: 14, 27, 41 e 50 dias. Após, passaram por limpeza química adequada dos produtos de corrosão em uma solução de Clark. Esse processo foi realizado repetidas vezes até que a variação do peso da amostra não fosse mais significativa em relação ao peso total da amostra.

### 3.6 PERDA DE MASSA E VELOCIDADE DE CORROSÃO

Após a limpeza dos corpos de prova expostos ao intemperismo, *salt spray* e imersão, esses foram pesados novamente para determinar a perda de massa ocorrida no período de exposição. Tendo conhecimento do valor da massa perdida, área exposta e tempo de exposição, foi possível determinar a taxa de corrosão uniforme. Os dados encontrados foram tratados e colocados num único gráfico em função do tempo. Para a análise da taxa de corrosão nas chapas foi utilizada a Equação 1, adotando o valor da constante de proporcionalidade (K) em milímetros por ano e densidade de 7,86 g/cm<sup>3</sup>, conforme literatura.

### 3.7 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) e ESPECTRO DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS)

O MEV e EDS foram utilizados com o propósito de se observar através de imagens de alta ampliação e resolução, a morfologia, constituição e distribuição das fases presentes e identificação de elementos químicos das amostras.

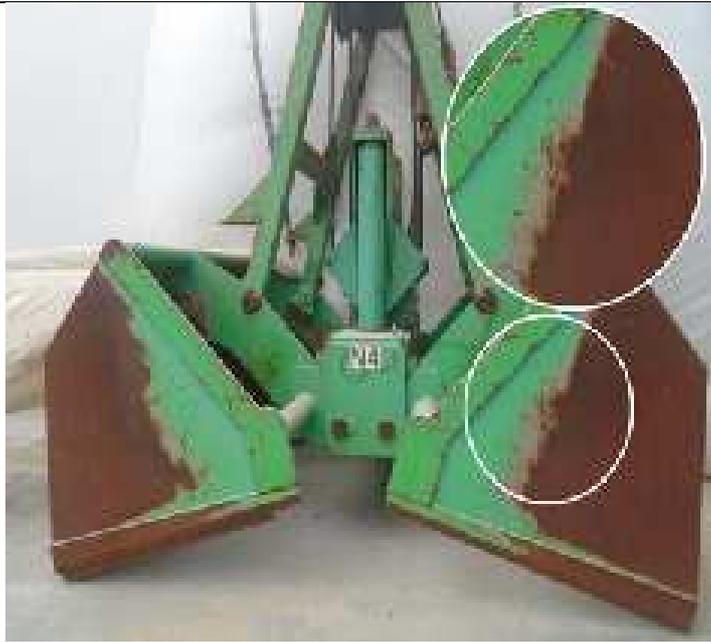
Para caracterização da morfologia superficial, foi utilizada uma amostra pintada com tinta epóxi, que ficou em exposição ao intemperismo durante 365 dias.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 INSPEÇÃO VISUAL

As vistorias realizadas e as informações coletadas subsidiaram a identificação das principais patologias por ataque corrosivo em função da atmosfera marinha, aliada as cargas químicas movimentadas. No Quadro 2 é possível observar um acervo fotográfico correlacionando as principais formas de corrosão que ocorrem na superfície dos equipamentos portuários.

Quadro 2 - Principais formas de corrosão que incidem na superfície dos equipamentos portuários: (a), (b), (c): *grabs*; (d), (e), (f): funis

	<p>a) Nos <i>grabs</i> é possível observar que o método protetivo (tinta epóxi) é visivelmente atacada no local que tem contato direto com a carga, existindo nessa área corrosão filiforme.</p> <p><u>Corrosão filiforme:</u> Ocorre nas camadas de proteção devido à aeração diferencial ocasionada por defeito no filme de pintura, iniciando nas bordas e avançando uniformemente.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nos locais de abrasão do equipamento com a carga existe um desgaste proveniente dos esforços mecânicos, que também levam a corrosão por erosão.</li> <li>• A ação erosiva ocorre através do desgaste superficial e, pode danificar as camadas protetoras produzidas pelos próprios produtos de corrosão, levando à formação de pilhas ativa-passiva, e conseqüentemente ao contínuo desgaste do material.</li> </ul>	
	<p>b) É possível identificar corrosão generalizada (uniforme e por placas) em várias partes da estrutura.</p> <p><u>Corrosão uniforme:</u> Caracterizada por se manifestar em toda a extensão do equipamento, causando perda de massa homogênea e redução da seção transversal da peça.</p> <p>Considera-se neste caso, que a velocidade de corrosão é similar em toda a superfície.</p>



c) São acometidos ainda pelo processo corrosivo por aeração diferencial.

Ocorre devido a exposição do equipamento a concentrações distintas de ar, provocando diferença de potencial de corrosão.

Possui tendência em aumentar a corrosão com o tempo, pois os produtos da corrosão acumulam-se em torno da área anódica, impedindo ainda mais qualquer acesso de oxigênio.



R: 3 228-8753



d) Nos funis verifica-se que nas junções das estruturas existe corrosão por frestas.

Corrosão por frestas: Tipo de corrosão que ocorre em locais onde duas superfícies estão muito próximas ou em contato.

A água fica retida nas fendas e provoca pilhas de aeração diferencial, onde a concentração de oxigênio nas bordas é superior à concentração na área mais interna da fenda, fazendo dessa uma região anódica.

Como consequência, o processo de corrosão se concentra na parte mais profunda da fresta, dificultando o acesso e reconhecimento desse problema.



e) No sistema de abertura do funil, local onde delimita a quantidade de carga a ser transportada pelo veículo, se observa corrosão filiforme e por erosão, visto que o método protetivo é severamente danificado pelo atrito das cargas.

PG&SA  
 Qualidade Ambient

228-8753



f) Nas estruturas é averiguado corrosão generalizada (uniforme e corrosão por placas). Esta corrosão ocorre em alguns locais específicos da estrutura do funil, formando placas com escavações.

Corrosão por placas: Ocorre quando os produtos de corrosão se formam em placas e ao adquirirem consistência tendem a causar quebra do equipamento, perda de aderência no material e, quando as placas se desprendem expõe novo volume de metal ao ataque.

Fonte: A autora (2016).

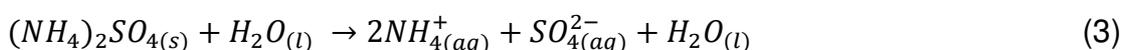
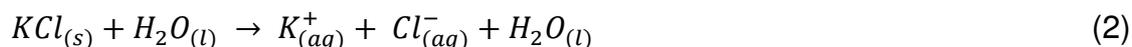
Os materiais utilizados na área portuária ficam expostos aos particulados associados aos aerossóis marinhos, sendo fortemente atacados pelo processo corrosivo. Neste sentido verifica-se que é de extrema importância definir os padrões

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.848-880, jan/mar. 2019.

das principais manifestações patológicas portuárias de modo a facilitar o método de manutenção preventiva.

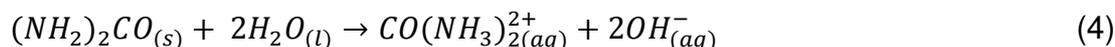
## 4.2 IMERSÃO

O KCl e  $(NH_4)_2SO_4$  ao serem diluídos em água se dissociam em íons, isto é, são soluções eletrolíticas que conduzem corrente elétrica através da presença de íons no meio, conforme as Equações 2 e 3:



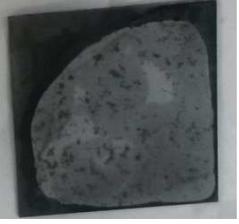
Os sais dissolvidos se ionizam e aumentam a condutividade da água, que por sua vez, tende a concentrar a corrosão ocasionando ataque rigoroso.

A  $(NH_2)_2CO$  entretanto, é formada por átomos em ligação covalente, e sua dissolução em água não causa sua dissociação. É considerada uma base fraca ( $pK_b = 13,82$ ) e sua solução em água possui caráter básico, pois são produzidos íons hidroxila (Equação 4).



Após os períodos de imersão, os corpos de prova foram retiradas das soluções de ensaio e apresentaram-se conforme mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - Amostras corroídas conforme períodos de imersão

Solução	12 dias	19 dias	33 dias	54 dias
KCl				
(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO				
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				

Fonte: A autora (2016)

É possível observar na superfície das amostras a presença de corrosão generalizada/uniforme já explicadas anteriormente. A morfologia macroscópica dos produtos de corrosão é diferente para tempos de imersão distintos. Conforme o tempo de exposição aumenta, a quantidade de produto de corrosão é maior.

Após 12 dias de exposição, as amostras imersas em KCl apresentaram menos produtos de corrosão comparadas com as amostras imersas nas demais soluções. Decorridos 54 dias, as amostras imersas em (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> apresentaram morfologia distinta dos produtos de corrosão. As amostras imersas em KCl e (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO apresentaram morfologia semelhante.

#### 4.2.1 Perda de massa e velocidade de corrosão

Na Tabela 2 são apresentados os valores das perdas de massas obtidas pelos ensaios de imersão seguindo a norma ASTM G31/72 e calculada a velocidade de corrosão, utilizando área de 25 cm<sup>2</sup> (2500 mm<sup>2</sup>).

Tabela 2 - Valores das perdas de massa e taxa de corrosão dos corpos de prova de acordo com as soluções de imersão

Solução de ensaio	Tempo de exposição		Massa inicial do CP	Massa final do CP	Perda de massa	Taxas de corrosão
	dias	horas	g	g	g	Milímetros por ano
KCl	12	288	22,4411	22,3992	0,0419	0,0649
KCl	19	456	23,3805	23,3012	0,0793	0,0775
KCl	33	792	22,6728	22,5375	0,1353	0,0762
KCl	54	1296	24,1885	24,0085	0,1800	0,0619
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12	288	23,4431	23,3404	0,1027	0,1590
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	19	456	22,0382	21,8974	0,1408	0,1377
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	33	792	22,6773	22,4345	0,2428	0,1367
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	54	1296	22,3777	22,1066	0,2711	0,0932
(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	12	288	22,2046	22,1306	0,0740	0,1145
(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	19	456	22,0141	21,9118	0,1023	0,1000
(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	33	792	22,4929	22,2987	0,1942	0,1093
(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	54	1296	24,2308	23,9303	0,3005	0,1034

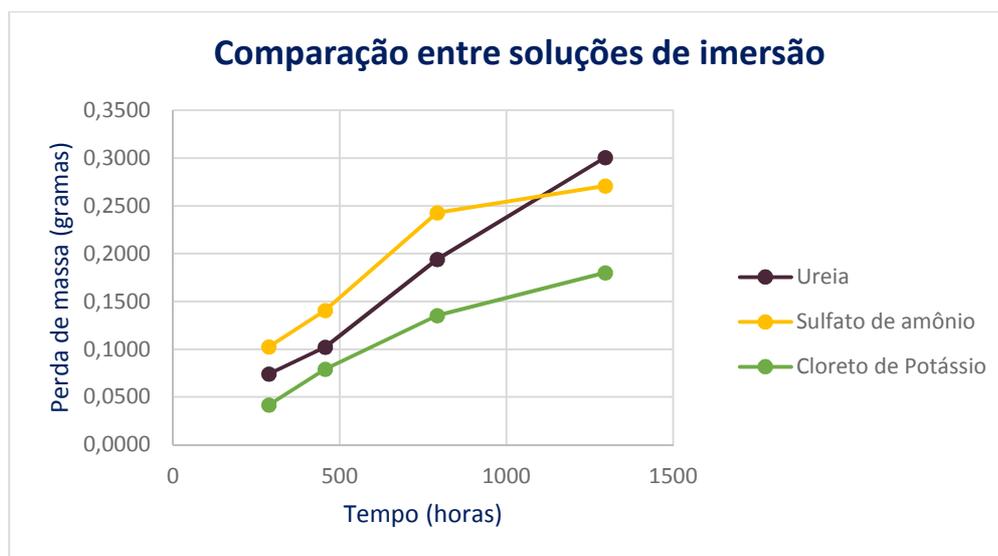
Fonte: A autora (2016)

As amostras imersas na solução de KCl nas primeiras 456 horas tiveram aumento na velocidade de corrosão e, um período estável entre 456 e 792 horas. Decorrido esse tempo a taxa de corrosão começou a baixar lentamente. As soluções de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> propiciaram desde a segunda análise, queda significativa na velocidade de corrosão. No entanto, as amostras imersas na solução de (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO apresentaram velocidade de corrosão constante.

Através dos dados obtidos na Tabela 2, foi possível gerar um gráfico de perda de massa em função do tempo e analisar as desigualdades ocorridas entre as diferentes soluções, conforme Figura 5:

As amostras imersas na solução de KCl foram as menos atacadas em termos de perda de massa e comparadas com as soluções de (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO e (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> corroeram em quantidade menor numa proporção de aproximadamente 65% e 57%, respectivamente. Nota-se ainda que o crescimento da perda de massa para as amostras imersas em KCl e (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ocorreu de forma logarítmica e uniforme, não havendo grande variação nos resultados obtidos, e o formato dessas curvas assemelha-se ao formato da curva C da Figura 1.

Figura 6 - Perda de massa em função do tempo para as devidas soluções



Fonte: A autora (2016)

Em contrapartida, a amostra imersa em  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  teve um crescimento linear, assemelhando-se mais ao formato da curva A da Figura 1. Este comportamento ocorre quando a área de exposição permanece constante.

A amostra imersa em  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  foi a que desenvolveu maior perda de massa nas primeiras 1100 h e passado esse tempo sua perda de massa diminuiu. Isto é explicado pelo produto de corrosão insolúvel formado sobre a superfície do aço, diminuindo a área para o ataque corrosivo ocorrer.

A amostra imersa em solução de  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  mostrou valor de perda de massa mais representativo após 1100 h. Uma possível explicação para isso é a decomposição da  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , pois ao se separar na solução, forma-se dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que se desprende da solução. Com a decomposição, alguns produtos de corrosão desorvem da superfície do aço e com isso mais área fica disponível para a reação corrosiva ocorrer.

#### 4.3 SALT SPRAY (NÉVOA SALINA)

Conforme a Figura 7 é possível verificar que as chapas sofreram corrosão generalizada e corrosão por aeração diferencial devido à grande quantidade do produto de corrosão, que fornece diferenças nas concentrações de oxigênio.

Figura 7 - Amostras de após 7 dias na câmara salina (salt spray)



Fonte: A autora (2016)

Todas as três amostras expostas a névoa salina apresentaram a mesma forma de corrosão e com a mesma intensidade. O produto de corrosão preencheu toda a superfície das amostras, assim não há evidências de que o material seja resistente a agressividade corrosiva da atmosfera salina.

#### 4.4 ENSAIO ATMOSFÉRICO (AMBIENTE COM INTEMPERISMO NATURAL)

É possível observar na Figura 8, a evolução do processo corrosivo no ambiente portuário.



Figura 8 - Amostras expostas ao intemperismo



Fonte: A autora (2016)

Ao realizar a análise da morfologia superficial é possível identificar que o processo de corrosão se manifestou sobre toda a extensão da superfície, ocorrendo

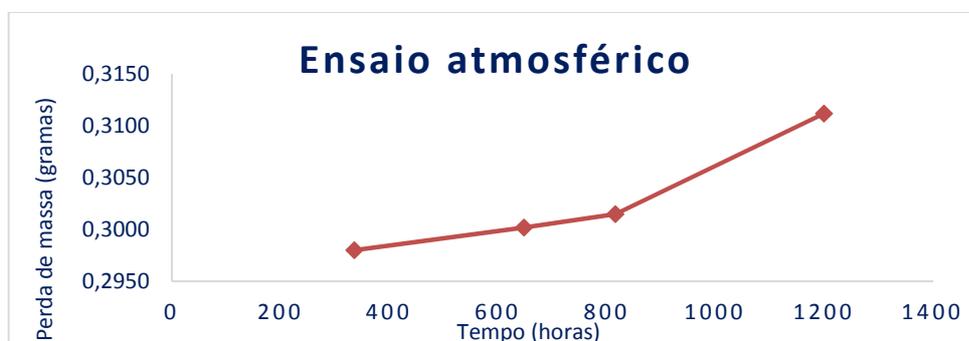
perda uniforme de espessura, além de apresentarem estruturas superficiais na forma de grumos e aspectos de produtos de óxidos de ferro, como a cor e texturas características. Após três dias de exposição já foi possível verificar a formação de produtos de corrosão e conforme o passar dos dias, o aspecto do produto de corrosão se mostrou mais escuro e poroso. Nas amostras que ficaram em exposição por 50 dias observou-se quantidade maior de produto de corrosão. A ação da composição da atmosfera local torna o meio mais agressivo reagindo com os aços-carbono.

Em ambientes marinhos a maior ação corrosiva deve-se à deposição de névoa salina contendo íons cloreto. Todavia, a movimentação das cargas químicas em formas de granel sólido, também possui parcela de contribuição no processo de corrosão, haja vista que a presença de partículas sólidas promove o processo corrosivo de forma indireta. A deposição das cargas sobre a superfície não ataca diretamente o material metálico, entretanto gera condições para que ocorra a formação de pilhas por aeração diferencial. Neste processo, o material é atacado pontualmente sob o particulado (com presença reduzida de oxigênio) e também pode haver a retenção de umidade, acelerando o processo corrosivo, devido ao aumento da condutividade pela dissociação dos produtos químicos em seus respectivos íons.

#### 4.4.1 Perda de massa e velocidade de corrosão

Na Figura 9, a perda de massa média foi plotada em função do tempo de exposição.

Figura 9 - Perda de massa em função do tempo



Fonte: A autora (2016)

Observando-se a tendência de perda de massa da amostra de aço carbono 1020 exposta ao intemperismo é possível associar esse comportamento ao que é

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.848-880, jan/mar. 2019.

previsto pela curva D da Figura 1. Nesse comportamento, o produto de corrosão é solúvel e a área exposta ao meio corrosivo aumenta com o tempo. Este fato está em concordância com o esperado, pois os óxidos de ferro são removidos da superfície do metal por causa da ação da chuva, ventos e orvalho.

Utilizando área de exposição de 70 cm<sup>2</sup> (7000mm<sup>2</sup>) foi possível calcular a taxa de corrosão em função a perda de massa pelo tempo e posterior classificação quanto a corrosividade atmosférica, segundo a norma NACE RP-07-75 (2013) encontrada no Porto de São Francisco do Sul. Os valores de perda de massa média são apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 - Perda de massa, taxa de corrosão e categoria da corrosividade atmosférica para o aço carbono 1020

Tempo de exposição		Massa inicial do CP	Massa Final do CP	Perda de massa	Taxas de Corrosão	Classificação em função da taxa de corrosão
Dias	Horas	Gramas	Gramas	Gramas	Milímetros por ano	
14	336	81,2977	80,9997	0,2980	0,1412	C3 – C4
27	648	84,4716	84,1714	0,3002	0,0738	C3 – C4
34	816	82,6255	82,3240	0,3015	0,0588	C3 – C4
50	1200	81,8260	81,5148	0,3112	0,0413	C3 – C4

Fonte: A autora (2016)

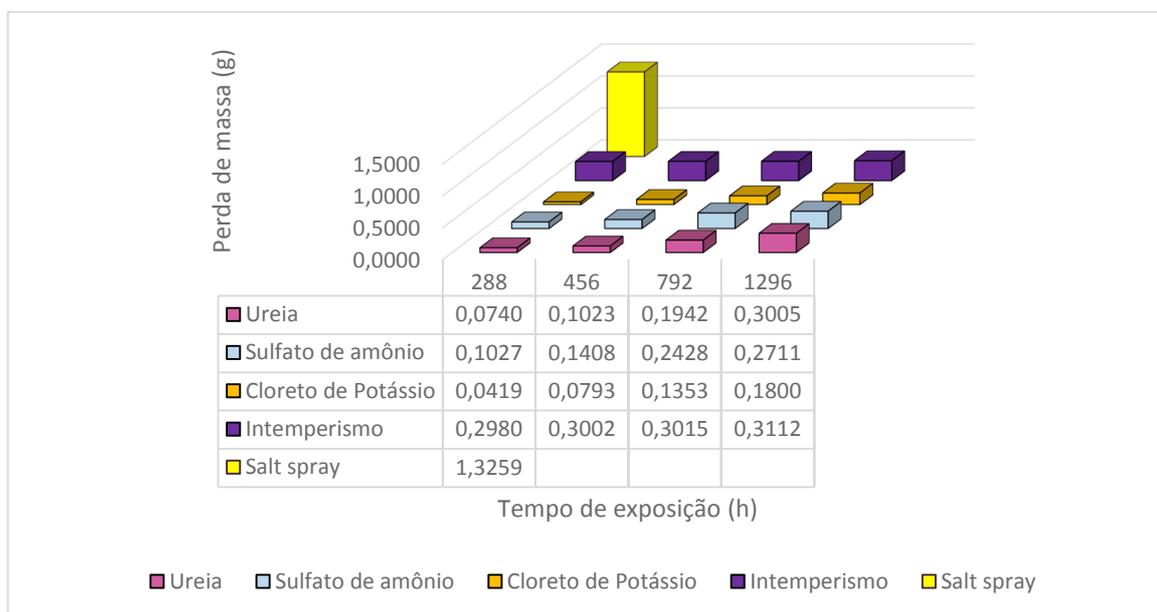
Observou-se com o teste de intemperismo no ambiente portuário que inicialmente o processo corrosivo é intenso, e sua velocidade média diminuiu com o tempo de exposição. Após formado o produto de corrosão, o material passa a corroer numa velocidade que depende da composição do material e do produto de corrosão, neste caso a ferrugem, que com o passar do tempo se aglomera na superfície do material metálico. Entretanto, a camada de óxidos de ferro é porosa, e isso dificulta sua aderência à superfície do aço, e confirmando a literatura, o ambiente marinho foi classificado com média a alta corrosividade atmosférica.

#### 4.5 COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS DE ENSAIOS

Para análise comparativa entre as diferentes metodologias para determinação da velocidade de corrosão de equipamentos portuários, foram plotados em um mesmo

gráfico os valores de perda de massa do material em cada uma das metodologias avaliadas, conforme o tempo de exposição em horas (Figura 10):

Figura 10 - Comparação entre análises para perda de massa



Fonte: A autora (2016)

Avaliando-se o gráfico percebe-se a grande diferença de perda de massa sofrida pelas amostras quando expostas na câmara de *salt spray*. Em 168 horas (7 dias) de exposição houve taxa de corrosão alta e perda de massa semelhante a soma das perdas de massas sofridas pelos cupons nas demais técnicas, comprovando ser um teste muito mais agressivo, ou seja, corrosão muito mais acentuada para o material analisado. Não obstante, os ensaios de intemperismo e imersão se mostraram muito próximos em resultados de perda de massa para o aço carbono 1020, mostrando resultados homogêneos.

Comparando os resultados obtidos com a Figura 1, observa-se que as amostras imersas nas soluções de KCl e  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  apresentaram características semelhantes à curva “C”, que ocorre quando o produto de corrosão é insolúvel e adere à superfície metálica, apresentando velocidade de corrosão inversamente proporcional a quantidade do produto de corrosão formado e, as amostras imersas em  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  assemelhando-se mais ao formato da curva A, que é característico quando a perda de massa é constante no tempo.

Em contrapartida, as amostras expostas ao intemperismo possuem característica semelhante a curva “D”, que ocorre quando o produto de corrosão é

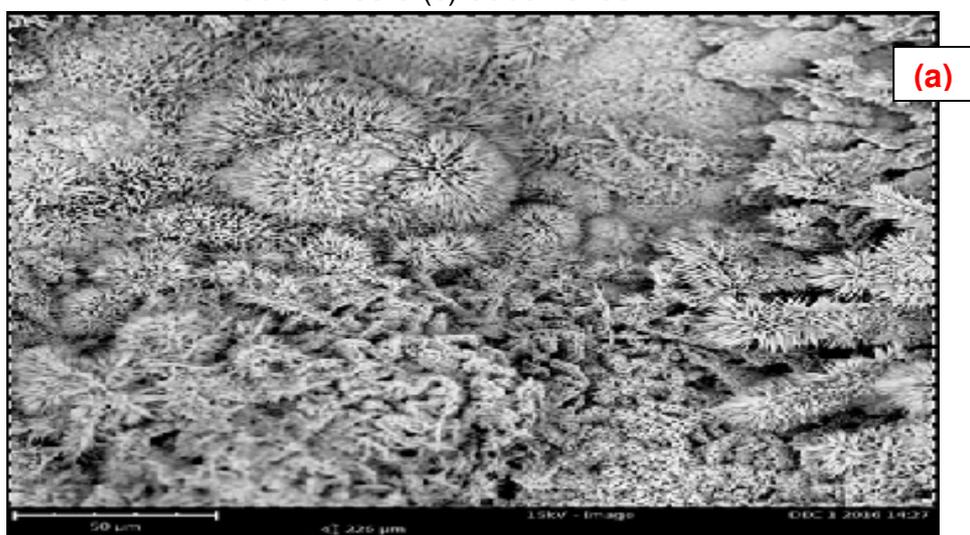
solúvel com aumento da área anódica e a velocidade de corrosão tem aumento significativo.

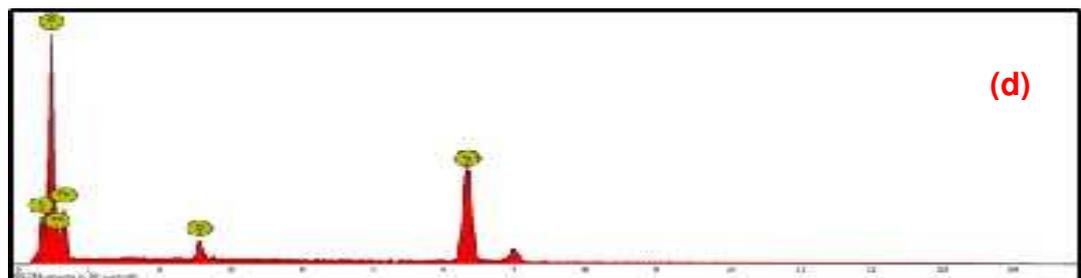
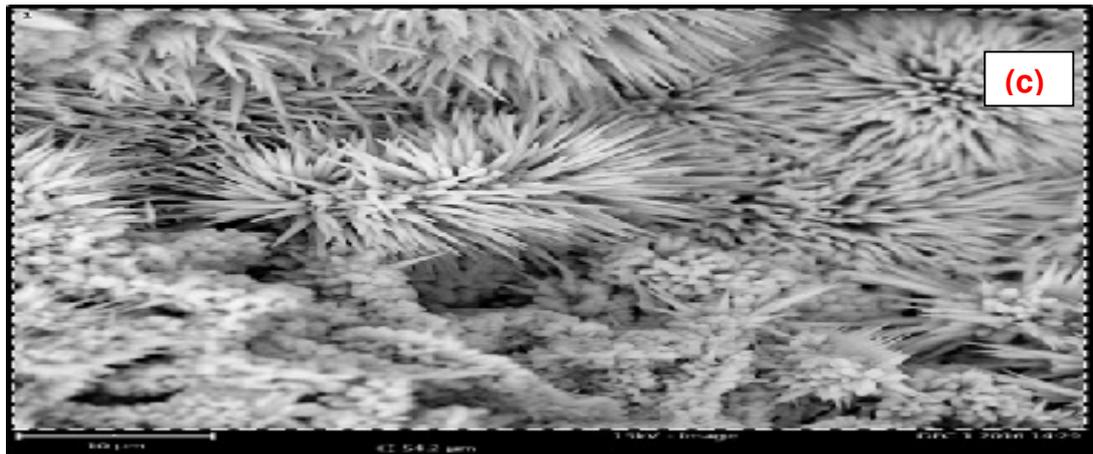
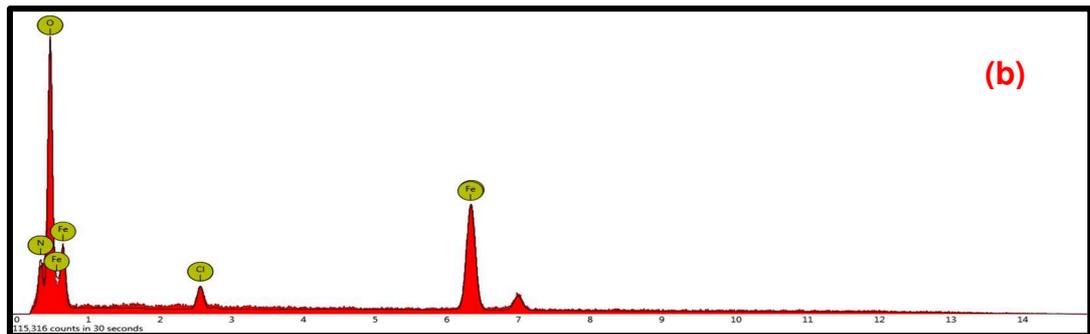
De acordo com a Figura 10 a perda de massa para as amostras expostas ao intemperismo foi um pouco maior em comparação com as amostras imersas em solução. Pode-se explicar isso pelo fato que o produto de corrosão da amostra exposta ao ensaio atmosférico é removido por causa dos agentes causadores de intempéries. Já em solução, o produto de corrosão permanece aderido junto à superfície das amostras, o que faz bloquear a área disponível para a reação.

#### 4.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) e ESPECTRO DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS)

Foram obtidas imagens de microscopia eletrônica de varredura e espectro de energia dispersiva com a intenção de verificar a influência do intemperismo na morfologia dos produtos de corrosão do aço carbono 1020. Para complementar os estudos, foram obtidos espectros de energia dispersiva para qualificar e quantificar os elementos presentes na superfície dos revestimentos antes e depois dos ensaios de corrosão. Após exposição das amostras de aço carbono 1020 ao intemperismo portuário durante um período de 365 dias, analisou-se a superfície do aço e a imagem de MEV é apresentada nas Figuras 11 (a), (b), (c) e (d).

Figura 11 - (a) e (c) Imagens de MEV e (b) e (d) EDS para amostra de aço carbono 1020 exposto ao intemperismo portuário durante 365 dias, com ampliação de (a) 1000 vezes e (c) 5000 vezes





Fonte: A autora (2016)

Nota-se que o ensaio gerou produtos de corrosão que tomam conta da superfície do aço carbono 1020, ou seja, não há mais região na superfície do aço que ficasse isenta de corrosão. Existe a formação de “flores” auto organizadas (Figura 11c) na parte superior da imagem e de esferas porosas na parte inferior. Esta caracterização da morfologia das nanopartículas de óxido de ferro já foi reportada por Sayed e Polshettiwar (2015), onde na ocasião foi desenvolvido um protocolo econômico e sustentável para a síntese de óxidos de ferro moldados com seis formas diferentes, sintetizadas usando exatamente o mesmo protocolo sintético, mudando apenas os sais de ferro precursores.

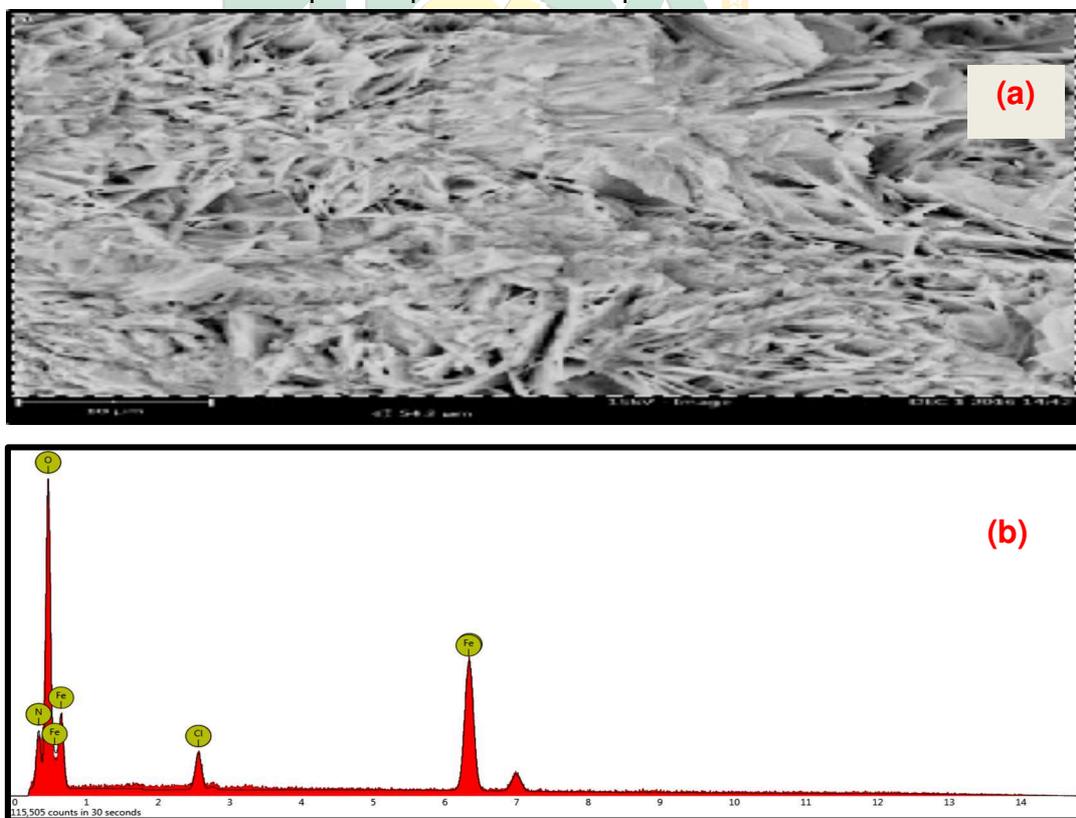
Esta formação pode ter sido facilitada pela ação do intemperismo, pois ajuda na dispersão das partículas e na eliminação das partículas fracamente adsorvidas.

Esta morfologia dupla se repete por toda a extensão da superfície. O EDS realizado para esta amostra é apresentado na Figura 11 (b e d) e aponta apenas a presença de ferro, oxigênio (óxidos de ferro) e nitrogênio, oriundo das cargas a granel movimentadas no porto.

Cabe ressaltar a importância dos resultados obtidos para esta amostra exposta ao intemperismo durante 365 dias, pois de acordo com Sayed e Polshettiwar (2015), a estrutura de “flores” auto organizadas é difícil de ser encontrada e havia sido caracterizada anteriormente apenas para nanopartículas de óxido de ferro sintetizadas, não com ocorrência natural, como neste trabalho.

As Figuras 12 (a) e (b) apresentam provas de que o produto de corrosão é dependente das condições em que a superfície se encontra. A amostra analisada nesta figura foi exposta ao intemperismo durante 365 dias, porém com a superfície pintada com tinta epóxi, à fim de se verificar alguma diferença entre a morfologia e a velocidade de corrosão de uma amostra de aço carbono 1020 com a superfície revestida.

Figura 22 - (a) Imagem de MEV e (b) EDS para amostra de aço carbono 1020 revestido com tinta epóxi exposto ao intemperismo durante 365 dias



Fonte: A autora (2016)

O EDS para imagem indica a presença novamente de ferro, oxigênio e nitrogênio. Sendo assim, a tinta epóxi modifica o mecanismo de corrosão do aço carbono 1020 exposto ao intemperismo portuário por causa da diferença de morfologia dos produtos de corrosão. Não foi possível verificar corrosão localizada, nem mesmo para a amostra de aço carbono revestido com tinta epóxi, já que os produtos de corrosão tomam conta da superfície.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As metodologias de ensaios acelerados utilizadas neste trabalho foram eficientes na intensificação do processo corrosivo, entretanto forneceram resultados distintos. Nos testes de imersão as amostras apresentaram uma corrosão mais homogênea, enquanto que no teste de *salt spray* as amostras mostraram corrosão mais agressiva e com intensidade muito diferente.

As técnicas não-eletróquímicas como inspeção visual e ensaio atmosférico (intemperismo), foram importantes sob o ponto de vista da avaliação da corrosão do aço. Através da inspeção visual foi possível observar as formas de corrosão que acometem os equipamentos dispostos nas operações portuárias com descarga a granel, que revelou corrosão acentuada em vários pontos dos equipamentos além de determinar a natureza do ataque e a uniformidade da corrosão. Através dos ensaios atmosféricos foi possível simular de forma real todas as características inerentes ao ambiente portuário, pois as amostras estavam expostas a fatores agressivos naturais, como luz solar, chuva, poeira, umidade, poluentes, ciclos de ventos e mudanças de temperatura.

A caracterização por MEV/EDS mostrou que apesar das cavidades na superfície das amostras expostas ao intemperismo em um período de 365 dias, não houve corrosão localizada. Nas amostras expostas sem proteção superficial houve geração de produtos de corrosão em toda a superfície do aço em forma de “flores” auto orientadas e esferas porosas, e na amostra protegida por tinta epóxi, verificou-se que a tinta é capaz de modificar o mecanismo corrosivo, por causa da diferença de morfologia dos produtos de corrosão apresentados.

O EDS mostrou apenas a presença de elementos oriundos da carga a granel movimentada no porto, provando que o produto de corrosão é dependente das condições em que a superfície se encontra.

No cálculo da taxa de corrosão, o valor médio encontrado para o aço carbono 1020 nos ensaios de *salt spray* e intemperismo, foi de 1,7592 e 0,0787 mm/ano, respectivamente, sendo o ambiente marinho classificado com média a alta corrosividade atmosférica. Os ensaios de imersão apresentaram taxas de corrosão de 0,1316 mm/ano para a solução de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 0,0701 mm/ano para KCl e, 0,1068 mm/ano para  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ . Verificando-se que em todos os casos, em determinado momento a taxa de corrosão apresentou decréscimo, explicado pela formação do produto de corrosão na superfície das amostras, que ao se depositar sobre o aço diminuiu a área ativa para o processo corrosivo ocorrer.

Foi possível observar a importância de existir um projeto de monitoramento para acompanhar as fases do processo corrosivo, objetivando a compreensão da corrosão, bem como a taxa em que ela se processa na superfície dos equipamentos.

## EVALUATION OF CORROSION SPEED IN PORT EQUIPMENT



In order to obtain information about the corrosive process that affects the port equipment, in the grabs and funnals evaluations were made through visual inspection, salt spray, immersion and weathering, in addition to the characterization in a sample that was exposed for a period of 365 days, through the SEM and EDS. The visual inspection was useful to raise the types of pathologies found on the surface of the equipment. Salt spray, weathering and immersion techniques were used to determine the loss of mass suffered by the carbon steel 1020, proceeding by the calculation of the corrosion rate, which provided decisive data for the conclusion on the performance of the steel against port corrosion. The immersion tests were carried out on three different bulk cargo handling solutions in the port of São Francisco do Sul. Based on the theory that all metals can be used whenever their deterioration speed is acceptably low, it was possible to verify that the corrosion was found. Through searches for references, it was evidenced the lack of current Brazilian bibliographic collection on port works and the main cause of its degradation over the years, especially when the subject is corrosion.

**Key words:** Corrosion. Port equipment. Mass loss and corrosion speed.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G31-72**. Standard practice for laboratory immersion corrosion testing of metals. West Conshohocken, PA, 1999. p. 95-101.

ANTAQ. **Definição de algumas expressões portuárias**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/DesempenhoPortuario/Documents/ApresentacaoDeFinicaoExpressaoPortuaria.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6210**: Corrosão atmosférica - Materiais metálicos - Preparo, limpeza e determinação da taxa de corrosão de corpos-de-prova em ensaios de corrosão. São Paulo, 2008.

BABOIAN, R. **Corrosion testing and standards**: Applications an interpretations. Fredericksburg, VA, ASTM Manual Series – American Society for Testing and Materials Publication. Fredericksburg, VA: 1995. 764p.

BERTOLOTO, R. F., MELLO, J. C. C. B. S. M. Eficiência de portos e terminais privativos brasileiros com características distintas. **Revista de Literatura dos Transportes**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, p. 1-18, jan/fev. 2011.

BRAGA, R. R. **Estruturas portuárias: principais ocorrências de ataque por corrosão marinha no Brasil**. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2014. 76 p. Monografia (Especialização) – Programa de Pós-Graduação Lato Sensu, Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2014.

BRASIL. Decreto nº 99.534, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre a promulgação da Convenção nº 152 - Convenção Relativa à Segurança e Higiene nos Trabalhos Portuários. **Lex**: coletânea de legislação e jurisprudência. Diário Oficial, Brasília, DF, 19 set. 1990. Seção 1, p. 1.

CABRAL, E. B. **Estudo geográfico do porto de São Francisco do Sul e do terminal de Itapoá-SC**. Florianópolis: UFSC, 2011. 290 p. Dissertação (Pós-Graduação) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

CALLISTER, Willian D, RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais**: uma Introdução. 8.ed. Rio de janeiro: LTC, 2012.

CÂMARA, S. C. *et al.* Simulação do intemperismo natural de pilhas zinco-carbono e alcalinas. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 1, p. 82-90, ago/set. 2012.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 4. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.

FUNDAÇÃO ESTUDOS DO MAR - FEMAR (Brasil). **Curso Básico de arrumação e estivagem técnica**. Rio de Janeiro: Diretoria de Portos e Costas - Dpc, 2001.

GEMELLI, E. **Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

GOMES, A. C. T. **Análise da corrosão e da erosão-corrosão do aço carbono em meio com NaHCO<sub>3</sub> e CO<sub>2</sub>**. Curitiba: UFPR, 2005. 137 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e Processos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MARQUES A. R., RIBEIRO G. L., ARAÚJO M. **Corrosão em tubos de alumínio de radiadores para uso automotivo**. Curitiba: Centro Universitário positivo, 2007. 72 p. Monografia (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Ciências Exatas, Centro Universitário Positivo, Curitiba, 2007.

MEIRA, G.R., PADARATZ, J.D. **Efeito do distanciamento em relação ao mar na agressividade por cloretos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, Belo Horizonte. Anais em CD. IBRACON, São Paulo, 2002.

METALS HANDBOOK. **Corrosion**. 9 ed. Metals Park, Ohio. ASM International, 1987, 1415p.

\_\_\_\_\_. **Moegas**. [201-?]. Disponível em <<http://elemec.com.br/moegas/>>. Acesso em: 14 mai. 2016.

MUROLO, João Paulo. **Análise do desempenho de inibidor de corrosão na armadura de estruturas de concreto**. Itatiba: Universidade São Francisco, 2007. 72 p. Projeto de Pesquisa (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itatiba, 2007.

**NACE RP 07-75:** 2013 Preparation, installation, analyses, and interpretation of corrosion in oilfield operation, 2013. p.19.

**NR – 29.** Norma Regulamentadora. Dispõe sobre regulamentação de segurança e saúde no trabalho portuário. 1997.

**NR – 29:** Segurança e saúde no trabalho portuário. Manual Técnico. Antônio Carlos Garcia Júnior (Organizador), Vitória, Fundacentro/ES, 2003.

NUNES, L. P. **Fundamentos de resistência à corrosão.** 1. ed. São Paulo: Interciência, 2007.

RABELLO, J. E. B. Moegas - Adição de chapas cantoneiras defletoras em moegas transferidoras de grãos, para minimização de perdas, e Ações Correlatas. **Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ.** Jan. 2015.

SILVA, A. L. C. MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais.** 2.ed. São Paulo: Eletrometal S.A. Metais Especiais, 1988.

SMITH, W.F. **Princípios de ciência e engenharia dos materiais.** São Paulo: McGraw-Hill, 1998.

RÜCKERT, Sidney. Porto de São Francisco do Sul bate recorde de movimentação de cargas. **APSFS In News**, São Francisco do Sul, Jan. 2015. Disponível em: <<http://www.apsfs.sc.gov.br/?p=1352>>. Acesso em: 02 fev. 2016.

SAYED, F. N; POLSHETTIWAR, V. Facile and Sustainable Synthesis of Shaped Iron Oxide Nanoparticles: Effect of Iron Precursor Salts on the Shapes of Iron Oxides. **Scientific Reports**, Mumbai, 05 mai. 2015. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/275896347>>. Acesso em: 05 dez. 2016

TOMASHOV, N. D. **Theory of corrosion and protection of metals.** Nova York, MacMillan Co., 1966, 367 p.