

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS – APMA**

**ANDERSON DA SILVA MARTINS**

**TECNOLOGIAS ANTICORROSIVAS APLICADAS A BORDO**

**RIO DE JANEIRO**

**2014**

**ANDERSON DA SILVA MARTINS**

**TECNOLOGIAS ANTICORROSIVAS APLICADAS A BORDO**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Elizabeth F. Lourenço.

**RIO DE JANEIRO**

**2014**

**ANDERSON DA SILVA MARTINS**

**TECNOLOGIAS ANTICORROSIVAS APLICADAS A BORDO**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Elizabeth F. Lourenço.

---

Assinatura da Orientadora

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

Dedico esta monografia a todos que contribuíram e me incentivaram para a minha formação ao longo da vida: família, amigos e mestres.

A todos com muito carinho e amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Deus que guia meus passos e minha vida.

Aos meus pais e irmãos que estão sempre me apoiando nos momentos pelos quais mais preciso, pelo amor e exemplo de vida que eles representam para mim.

A minha esposa que me proporciona momentos maravilhosos, deixando a minha vida completa quando estou ao seu lado.

Ao meu filho que, em muitas madrugadas, acordava com seu choro pueril.

“Para se ter sucesso, é necessário amar de verdade o que se faz. Caso contrário, levando em conta apenas o lado racional, você simplesmente desiste. É o que acontece com a maioria das pessoas.”

*Steve Jobs*

## **RESUMO**

A pintura industrial é dentre as técnicas anticorrosivas existentes, uma das mais utilizadas e difundidas, principalmente na proteção do aço. Combinada com a implantação das técnicas de proteção catódica, galvânica e por corrente impressa, a sinergia dos sistemas fará com que se alcance um elevado grau de a proteção contra a corrosão de partes e componentes de um navio face aos seus principais meios corrosivos, a água e o ar.

Palavras-chave: Pintura. Proteção catódica. Corrosão. Aço. Sinergia.

## **ABSTRACT**

The industrial painting is among the anticorrosive existing techniques, one of the most used and widespread, especially in the protection of steel. Combined with the deployment of technologies such as galvanic protection and impressed current, the synergy of the system will cause the approaching of the full the protection against corrosion of the component parts of a ship partially submerged in its main surroundings corrosive, water and air.

Keywords: Painting. Protection. Corrosion. Steel. Galvanic. Synergy.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Corrosão química	17
Figura 2 -	Corrosão por erosão em impelidores	19
Figura 3 -	Erosão por cavitação em turbinas	20
Figura 4 -	Corrosão devido à tensão aplicada	22
Figura 5 -	Corrosão por fadiga devido à ação da água do mar	23
Figura 6 -	Limpeza com martetele pneumático	29
Figura 7 -	Limpeza por jateamento abrasivo	30
Figura 8 -	Aplicação de tinta de fundo (primer)	32
Figura 9 -	Anodos de proteção catódica galvânica aplicada ao casco e leme do navio	34
Figura 10 -	Proteção Catódica	35
Figura 11 -	Prevenção da corrosão com anodos de sacrifício	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>PRINCIPAIS COMPONENTES DA CORROSÃO</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Formas de corrosão</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Taxas de corrosão</b>	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>Meios corrosivos</b>	<b>13</b>
<b>2.4</b>	<b>Tipos de corrosão</b>	<b>13</b>
<b>2.5</b>	<b>Classificação dos processos de corrosão</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>PROCESSOS BÁSICOS DE CORROSÃO</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Corrosão sob ação química</b>	<b>16</b>
3.1.1	Corrosão química	16
3.1.2	Corrosão eletroquímica	18
<b>3.2</b>	<b>Corrosão sob esforços mecânicos</b>	<b>18</b>
3.2.1	Corrosão - erosão	18
3.2.2	Corrosão - cavitação	19
3.2.3	Corrosão - tensão	21
3.2.4	Corrosão - fadiga	22
<b>4</b>	<b>INFLUENCIADORES DE CORROSÃO</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Influência da composição química do metal</b>	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>Influência da aeração do meio</b>	<b>24</b>
<b>4.3</b>	<b>Influência de micro-organismos</b>	<b>25</b>
<b>4.4</b>	<b>Influência de águas naturais</b>	<b>26</b>
4.4.1	Corrosão por água doce	26
4.4.2	Corrosão por água salgada	26
<b>5</b>	<b>MÉTODOS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO</b>	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>Ação mecânica</b>	<b>29</b>
<b>5.2</b>	<b>Revestimento</b>	<b>31</b>
<b>5.3</b>	<b>Técnicas de modificação do meio</b>	<b>33</b>
<b>5.4</b>	<b>Proteção catódica galvânica e por corrente impressa</b>	<b>33</b>
5.4.1	Proteção catódica galvânica	33
5.4.2	Proteção catódica por corrente impressa	35
<b>6</b>	<b>MEIOS CORROSIVOS</b>	<b>37</b>
<b>6.1</b>	<b>Considerações sobre caldeiras e sistemas de resfriamento</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>PREVENÇÃO DA CORROSÃO</b>	<b>39</b>
<b>7.1</b>	<b>Prevenção da corrosão no propulsor</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>43</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

A revitalização experimentada pela indústria naval brasileira cria grandes expectativas para um setor não muito divulgado que é dos profissionais ligados a ações para prevenção da corrosão. Embora a corrosão tenha um conceito químico empregado no cotidiano e que comumente é muito restrito e associado apenas aos metais, ela é um fenômeno muito mais amplo e também pode ocorrer com materiais não metálicos. Este processo está presente em diferentes situações e sempre associado à redução da vida útil de um determinado bem.

A corrosão é um processo natural e resulta da inerente tendência dos metais reverterem para sua forma mais estável, normalmente óxidos. A maioria dos metais é encontrada na natureza na forma de compostos estáveis denominados minérios. E durante o processo de extração e refino, é adicionada uma quantidade de energia ao minério para extrair o metal nele contido. É esta energia que possibilita o aparecimento de forças capazes de reverter o metal a sua forma primitiva de composto mais estável. A corrosão pode ocorrer por ação química e por associação de esforços mecânicos. Desta forma se torna evidente que garantir a existência de excelentes condições técnicas estruturais por muitos anos é um dos maiores desafios quando se trata de corrosão, ainda mais ligada ao setor naval que é responsável em produzir uma imensa estrutura denominada navio que fica sempre em exposição à água do mar que é um elemento com alta ação corrosiva.

Portanto, neste trabalho será possível conhecer mais sobre os conceitos teóricos da corrosão, entender como pode afetar o sistema de propulsão que muito preocupa quando interferem no ambiente financeiro de uma empresa destinada a atividade comercial com auxílio do transporte marítimo e os principais métodos desenvolvidos para cuidar e evitar esse processo que causa deterioração de estruturas. Este assunto requer atualização e dedicação de todos os profissionais que se envolvem, levando sempre a uma busca por inovações que preservem cada vez mais as estruturas construídas para atender a necessidade de sobrevivência do homem, que desde os tempos antigos luta para alcançar excelência em todo o tipo de trabalho que consegue desenvolver.

“O trabalhador não transforma apenas o material sobre o qual opera, ele imprime ao material o projeto que tinha conscientemente em mira, o qual constitui a lei determinante do seu modo de operar ao qual tem de subordinar sua vontade” (Aristóteles)

## **2 PRINCIPAIS COMPONENTES DA CORROSÃO**

Os principais componentes da corrosão são seis, descritos a seguir: meio corrosivo (é assim chamado o meio que está em contato com a superfície do metal que sofre a deterioração por corrosão. Este meio para provocar a corrosão tem que ser um eletrólito, em geral, quanto mais forte for esse eletrólito maior será a tendência de corrosão do metal), anodo (o anodo é o eletrodo ou parte de um eletrodo que sofre a deterioração por corrosão, a particularidade do anodo é que na sua interface com o meio corrosivo ocorrem reações de perda de elétrons, também chamadas de reações de oxidação ou simplesmente reações anódicas), catodo (o catodo é o eletrodo ou parte de um eletrodo que apenas ajuda o anodo a ser deteriorado, este não sofre corrosão, embora também esteja em contato com o meio corrosivo, a particularidade do catodo é que na sua interface com o meio, ocorrem reações de consumo de elétrons que procedem do anodo, também chamadas de reações de redução ou simplesmente reações catódicas), ligação elétrica entre eletrodos (no caso do anodo e catodo serem mais do que um eletrodo, é imprescindível que ambos estejam ligados eletricamente sem o que não ocorrerão as reações de corrosão), ligação elétrica entre meios corrosivos (no caso dos meios corrosivos em contato com o anodo e catodo não serem o mesmo, é necessário uma união elétrica entre esses meios, o que normalmente é feito como a utilização de uma ponte salina) e diferença de potencial entre anodo e catodo (quando anodo e catodo forem diferentes, normalmente, seus potenciais já serão diferentes, mas quando forem os mesmos metais essa diferença de potencial é em geral de origem microscópica, impossível de ser distinguida a olho nu ou algumas vezes a um processo de transformação mecânica ou metalúrgica a qual tenha sido submetido).

## 2.1 Formas de corrosão

As formas de corrosão definem a aparência da superfície corroída, de acordo com esse conceito, a corrosão pode ser dividida em três formas básicas:

- a) Corrosão uniforme: que é chamada de uniforme quando a deterioração se processa aproximadamente igual em toda a superfície exposta ao meio corrosivo, esta forma de corrosão é comum em processos nos quais o produto de corrosão é solúvel no meio ou quando não há formação de produto de corrosão.
- b) Corrosão localizada: costuma ser chamada de localizada quando o desgaste da superfície metálica exposta ao meio corrosivo é bem mais acentuado em algumas partes do que em outras, esta forma de corrosão costuma ser subdividida em duas outras, quando se levam em consideração as dimensões dos locais de maior corrosão. Assim, quando os locais de maior corrosão têm aspecto de pequenas crateras, lembrando pequenas bacias rasas, a corrosão é chamada de alveolar, caso os locais de maior corrosão tenham um aspecto de pequenas perfurações, lembrando furos de alfinete, a corrosão é chamada de pitting, esse tipo é mais comum nos metais cujo produto de corrosão é aderente à superfície metálica, quando expostos a meios que rompem a película formada pelo produto de corrosão.
- c) Corrosão por trincas: essa forma de corrosão se caracteriza por apresentar perda de espessura desprezível, em geral, a corrosão na forma de trincas está associada a um estado de tensões. A trinca não é uma perda de espessura, mas sim um rompimento das forças da atração atômica do metal que ocorrem na presença de meios corrosivos específicos associados a tensões de tração.

## 2.2 Taxas de corrosão

As taxas de corrosão expressam o desgaste verificado na superfície metálica. A avaliação correta das taxas de corrosão é de grande importância na determinação da vida útil de um equipamento, tubulação, uma estrutura metálica ou qualquer outra peça. Os métodos usuais de determinação da taxa de corrosão são: perda de espessura por unidade de tempo (usada principalmente em instalações industriais para avaliar o desgaste provocado pela corrosão uniforme ou localizada em equipamentos e outras peças utilizadas em instalações industriais), perda de peso por unidade de área na unidade de tempo (usada principalmente em experiências realizadas tanto em laboratórios quanto no campo, quando a corrosão for uniforme), aumento de peso por unidade de área na unidade de tempo (usada para avaliar a corrosão de metais em alta temperatura nas experiências de laboratório).

## 2.3 Meios corrosivos

Os principais meios de corrosão são:

- a) Atmosfera: o ar contém umidade, sais em suspensão, gases industriais, poeira etc. O eletrólito se constitui da água que condensa na superfície metálica, na presença de sais ou gases de enxofre. Outros constituintes como poeira e poluentes diversos, podem acelerar o processo corrosivo;
- b) Águas naturais (rios, lagos ou solos): estas águas podem conter sais minerais, eventualmente ácidos ou bases, resíduos industriais, poluentes diversos e gases dissolvidos. O eletrólito se constitui principalmente da água com sais dissolvidos, os outros constituintes podem acelerar o processo corrosivo;
- c) Água do mar: esta água contém uma quantidade apreciável de sais, sendo desta forma um eletrólito por excelência, outros constituintes como gases dissolvidos, podem acelerar o processo corrosivo;
- d) Produtos químicos: desde que em contato com a água ou com a umidade e sendo ionizáveis, formam um eletrólito, podendo provocar corrosão eletroquímica.

## 2.4 Tipos de corrosão

Os principais tipos de corrosão que se pode encontrar inclusive no meio marítimo são:

- a) Corrosão por concentração diferencial: essa corrosão se apresenta em quatro formas: corrosão por concentração iônica diferencial (pilhas de concentração iônica diferencial-anodo: área com menor concentração e catodo: área com maior concentração), corrosão por aeração diferencial (pilhas de aeração diferencial, interface de saída de uma estrutura do solo ou da água para a atmosfera), corrosão em frestas (pilhas de aeração diferencial-meio gasoso, e de concentração iônica diferencial- meio líquido. Juntas soldadas em chapas superpostas, juntas rebitadas, ligações roscadas, revestimentos com chapas perfuradas) e corrosão filiforme (filmes de revestimentos, especialmente tintas, pilha de aeração diferencial provocada por defeito no filme de pintura).
- b) Corrosão associada ao escoamento de fluido: aceleração dos processos corrosivos devido a associação do efeito mecânico com ação corrosiva, este tipo de corrosão esta dividida em corrosão-erosão (erosão-desgaste mecânico provocado pela abrasão superficial de uma substancia solida, liquida ou gasosa, desgaste maior do que apenas o processo corrosivo ou erosivo agisse isoladamente), corrosão com cavitação (cavitação-desgaste provocado em uma superfície metálica devido a ondas de choque liquida, oriundas do colapso de bolhas gasosas, cavitação surge em zonas de baixa pressão onde o liquido entra em ebulição formando bolhas, as quais ao tomarem contato com zonas de pressão mais alta são destruídas criando ondas de choque no liquido) e corrosão por turbulência (processo corrosivo associado ao fluxo turbulento de um liquido. Ocorre particularmente quando há redução na área de fluxo, aparecimento de bolhas gasosas).
- c) Fissuração por corrosão: corrosões que produzem trincas e que estão associadas a esforços mecânicos (tensões residuais, ou conseqüentes do próprio processo corrosivo), são trincas intergranulares ou transgranulares. Esta fissuração pode estar dividida em: corrosão sob tensão (material submetido a tensões de tração, aplicadas ou residuais, é colocado em contato com um meio corrosivo específico, os fatores decisivos são a dureza, o

encruamento e as fases presentes, a propagação de trinca por corrosão sob tensão é geralmente lenta, até atingir o tamanho crítico para uma ruptura brusca), fissuração induzida pela pressão de hidrogênio (hidrogênio no estado atômico tem grande capacidade de difusão em materiais metálicos, o hidrogênio atômico migra para o interior e se acumula em falhas existentes, causando aumento de pressão no interior da falha) e corrosão por fadiga (progressão de uma trinca, por onde se inicia a fadiga, a área anódica é a base da trinca- região tensionada e encruada, a associação dos dois efeitos causa a falha do material em um número muito menor de ciclos).

## 2.5 Classificação dos processos de corrosão

Os processos de corrosão são classificados em função do estado físico do meio corrosivo. Considerando que os estados físicos possíveis da natureza são três: sólido, líquido e gasoso e que no estado sólido a condutividade é muito baixa, tornando a corrosão praticamente desprezível em relação a outros meios deterioração, a corrosão costuma ser classificada em corrosão úmida e seca.

A corrosão úmida constitui nos processos de corrosão que ocorrem quando o meio corrosivo está no estado líquido. Nestes casos, o mecanismo da corrosão é de natureza eletroquímica. A corrosão úmida é a principal causa de deterioração de equipamentos, instalações industriais e utensílios de uso popular. A deterioração por corrosão úmida se caracteriza basicamente por se realizar necessariamente na presença de meio líquido, ocorrer em temperaturas abaixo do ponto de orvalho e estar associada a formação de uma pilha, como grande maioria dos meios líquidos, que são corrosivos, tem como solvente a água, a corrosão úmida é algumas vezes chamada de corrosão em meio aquoso.

A corrosão seca consiste num processo de corrosão que ocorre quando o meio corrosivo está no estado gasoso. Este processo é muitas vezes denominado de corrosão em alta temperatura. A natureza da corrosão química é considerada pela maioria dos autores como sendo química e não eletroquímica esse processo de corrosão não tem tanto interesse porque em temperaturas elevadas a perda de propriedade dos metais por outros motivos é mais importante. A corrosão seca se caracteriza basicamente por o meio corrosivo está sempre na forma de um gás, ocorrer em temperaturas elevadas, sempre acima do ponto de orvalho da água e em geral, existe uma interação direta entre o metal e algum agente presente no meio, geralmente o oxigênio, podendo ser chamada de oxidação.

### **3 PROCESSOS BÁSICOS DE CORROSÃO**

Os processos corrosivos são muito comuns em qualquer espaço, seja ele terrestre ou aéreo ou marítimo, visto que nestes espaços encontramos grande exposição dos materiais metálicos que compõe praticamente metade de grandes estruturas e demais meios utilizados para o desenvolvimento de atividades ligadas diretamente a economia de um país e ao sustento da espécie humana no planeta terra. Os metais são encontrados combinados na natureza, formando minérios, que são formas naturais, dos quais extraímos os metais. Os elementos químicos, com exceção dos gases nobres, são elementos instáveis, isto é, ligam-se facilmente, originando, através de reações, os compostos que são estáveis. A corrosão metálica é isto, a transformação natural dos metais em compostos estáveis, fazendo com que a corrosão do metal comece no momento em que ele é produzido, já no instante em que um metal é produzido, esse reage com o oxigênio da atmosfera formando óxido. Além da parte química, que é o tópico mais evidenciado quando o assunto é processo de corrosão, temos a parte mecânica, que é muito importante pelo fato de tudo que é feito com material metálico também sofre influência de ações mecânicas para ser produzido e usado, podendo sofrer ataques corrosivos. Os principais processos corrosivos são discriminados abaixo.

#### **3.1 Corrosão sob ação química**



A química é uma ciência que estuda as modificações e características dos elementos que encontramos na natureza. Trata das substâncias da natureza, dos elementos que a constituem, de suas propriedades, processos de obtenção, suas aplicações e sua identificação, estuda a maneira pela qual os elementos se ligam e reagem entre si, bem como a energia desprendida ou absorvida durante estas transformações. Sendo assim, a corrosão causada por problemas químicos, pode ser classificada em dois grandes grupos, abrangendo todos os casos de deterioração por corrosão, dependendo do tipo de ação do meio corrosivo.

### 3.1.1 Corrosão química

Também denominada de corrosão em meio não aquoso ou corrosão seca ou oxidação, como já dito anteriormente, esse processo é menos frequente e surgiu basicamente com a industrialização, envolvendo operações em temperaturas elevadas. Realiza-se na ausência de água e devido a interação direta entre meio corrosivo não havendo deslocamento de elétrons. A corrosão química corresponde ao ataque de um agente químico diretamente sobre o material, no caso de um metal, o processo consiste numa reação química entre o meio corrosivo e o material metálico, resultando na formação de um produto de corrosão sobre a sua superfície. Um exemplo desse processo é a corrosão de zinco metálico em presença de ácido sulfúrico. Essa corrosão também pode afetar a estabilidade e durabilidade das estruturas, sendo muito rápida e progressiva.

Figura 1 - Corrosão química



Fonte: <http://vejario.abril.com.br/blog/maresia-fluminense/sol-e-areia/o-canal-de-cabo-frio>

### 3.1.2 Corrosão eletroquímica

Os processos de corrosão eletroquímica são os mais frequentes na natureza e se caracterizam basicamente por: realizarem-se necessariamente na presença de água, em temperaturas abaixo do ponto de orvalho, que é a temperatura até a qual o ar deve ser resfriado, com pressão constante, para atingir a saturação (em relação à água líquida), sendo a grande maioria na temperatura ambiente e devido à formação de pilhas de corrosão. As reações que ocorrem na corrosão eletroquímica envolvem transferência de elétrons, com um fluxo destes se deslocando de uma área da superfície metálica para outra devido à diferença de potencial. Portanto, são reações anódicas e catódicas (reações de oxidação e redução). Nesta corrosão se tem a presença de uma solução que permite o movimento dos íons.

## 3.2 Corrosão sob esforços mecânicos

Diversos estudos são realizados e já se pode comprovar que a corrosão não esta apenas ligada a química, mas também a fatores que são responsáveis pelo funcionamento dos mais variados equipamentos utilizados pelo homem para produção de todo o ambiente que ocupa. Quando a corrosão depende apenas do meio corrosivo, ocorre acentuada perda de massa do material corroído, no entanto, a associação do meio com solicitações mecânicas pode ocasionar processos corrosivos acelerados mesmo sem perda acentuada de massa, podendo ocasionar apenas fraturas. Há determinados casos em que existe a interação entre o meio corrosivo, a tensão e os seus efeitos em termos de ataque por corrosão, ou seja, corrosão sob ação mecânica, e os tipos que se pode encontrar são descritos a seguir.

### 3.2.1 Corrosão-erosão

Este tipo de corrosão ocorre devido a deterioração das partículas protetoras recobrimo certos metais e ligas resultante de forças de turbulência do meio corrosivo em movimento (ação abrasiva do fluidos que podem ser devido a partículas solidas como produtos de corrosão, sais insolúveis,...). Ocorre a formação de uma região anódica pequena e conseqüentemente a corrosão acentuada nesta região, e geralmente quanto maior a velocidade do fluido, maior será a ocorrência da corrosão-erosão. A erosão provoca o desgaste superficial capaz de remover as películas protetoras constituídas de produtos de corrosão, desta forma, um processo corrosivo se torna mais intenso quando combinado com a erosão.

A corrosão produz a película de produto de corrosão, e o processo erosivo remove expondo a superfície a novo desgaste corrosivo. O resultado final será um desgaste muito maior do que se apenas um processo corrosivo ou erosivo agisse isoladamente. Essa corrosão consiste no aumento ou aceleração do ataque a um metal como resultado do movimento relativo entre o fluido corrosivo e a superfície metálica. E os materiais cuja resistência a corrosão depende da formação de um filme protetor e a remoção ou maior dificuldade de formação desse filme pode levar a corrosão por erosão.

Figura 2 - Corrosão por erosão em impelidores



Fonte: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/4227-mecanismo-de-corrosao-por-cavitacao/>

### 3.2.2 Corrosão-cavitação

Cavitação é o nome que se dá ao fenômeno de vaporização de um líquido pela redução da pressão durante seu movimento a uma temperatura constante. A formação de cavidades com vapor do próprio líquido, provocada pelo efeito do aumento da velocidade de escoamento do fluido ao passar por um orifício de passagem reduzido. Com o aumento da velocidade a pressão diminui como comprova o teorema de Bernoulli. Em determinadas situações, esta pressão fica abaixo da pressão de vapor do fluido para a temperatura de trabalho, provocando a cavitação. Logo após passar pela região de menor pressão, a pressão tende a recuperar, é quando estas cavidades são implodidas. Cabe lembrar que um fluido não precisa estar aquecido para cavitado, isto depende da temperatura de formação de vapor do fluido para determinada pressão, velocidade e do fator de recuperação de pressão da válvula de controle utilizada.

A cavitação é comum em bombas de água e de óleo, válvulas, turbinas hidráulicas, propulsores navais, pistões de automóveis e até em canais de concreto com altas velocidades. As bolhas de vapor que se formam no escoamento devido a baixa pressão, são sempre carregadas e podem chegar a uma região em que a pressão cresça novamente, então ocorrerá a implosão dessas bolhas. Se a região de colapso das bolhas for próxima a uma superfície sólida, as ondas de choque geradas pelas implosões sucessivas das bolhas podem provocar trincas microscópicas no material que com o tempo irão crescer e provocar o deslocamento de material da superfície, originando uma cavidade de erosão localizada. Este é um fenômeno físico a nível molecular e que se dissemina e tende a aumentar com o tempo causando total ruína. As cavidades que são formadas não causam nenhum tipo de defeito maléfico ao equipamento, o grande problema são as sucessivas implosões das bolhas que dissipam uma grande quantidade de energia, causando corrosão muito peculiar. Os danos

provocados pela cavitação dependem da intensidade da cavitação, ao tempo de exposição e da dureza do material utilizado.

Figura 3 - Erosão por cavitação em turbinas



Fonte: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/4227-mecanismo-de-corrosao-por-cavitacao/>

Assim se pode resumir que a cavitação surge em zonas de baixa pressão onde o líquido entra em ebulição formando bolhas, as quais ao entrarem em contato com zonas de pressão mais alta são destruídas instantaneamente criando ondas de choque no líquido. Como a erosão, a cavitação também destrói as películas de produtos de corrosão expondo o material a novo desgaste corrosivo, além de provocar a deformação plástica com encruamento em face da incidência de ondas de choque de alta pressão e, portanto a criação de áreas anódicas, como já citado. Para entender com mais teoria o processo de cavitação, busca-se uma pequena explicação do Teorema de Bernoulli.

### 3.2.3 Corrosão-tensão

A corrosão por tensão envolve a deterioração de material a presença simultânea de tensões aplicadas ou residuais e de um meio corrosivo. Dado que normalmente envolve rachadura do material. Verifica-se uma sinérgica da tensão e do meio corrosivo, pelo que a rachadura tem lugar em tempo mais curto do que o esperado pela soma das ações isoladas da tensão e do meio agressivo. Nem todas as combinações metal/meio são susceptíveis a corrosão sob tensão. A corrosão por tensão é um fenômeno localizado: a maior parte do material não é afetada, enquanto que alguns locais se formam fissuras que vão progredindo através do metal ou liga. Uma característica importante desta corrosão é o fato de praticamente não se verificar perda de massa do material. Este se mantém aparentemente em bom estado até ao momento em que se observa a sua rachadura. As diferenças entre as composições e as estruturas das ligas afetadas, bem como as propriedades dos meios envolvidos podem ser tão diferente, que não é possível encontrar um único mecanismo que explique este tipo de corrosão. As variáveis que intervêm na corrosão sob tensão são: a tensão aplicada, a natureza e concentração do meio corrosivo, a temperatura, a estrutura e composição do material. A variável tempo também é muito importante, uma vez que os

maiores danos ocorrem na fase final do processo. Embora a corrosão sob tensão seja uma forma de corrosão especialmente perigosa, permanecem pouco claros os seus mecanismos.

A diminuição desta corrosão pode ser feita com a redução da tensão para valores abaixo do limite mínimo para a ocorrência da mesma, através da eliminação de espécies críticas no meio corrosivo, substituição da liga por outra menos susceptível a corrosão, aplicação de proteção catódica, utilização de inibidores de corrosão, utilização de revestimentos e utilização de shot-peening que produz tensões de compressão residuais na superfície do metal.

Figura 4 - Corrosão devido à tensão aplicada



Fonte: <http://www.rijeza.com.br/pesquisas/artigos-tecnicos/categorias/tipos-de-desgaste>

### 3.2.4 Corrosão-fadiga

A corrosão por fadiga é a tendência que um metal tem a rachar quando sujeito a tensões cíclicas. Quando um componente é sujeito a esforços cíclicos num meio que pode atacar química ou eletroquimicamente, verificam-se condições para ocorrência desta corrosão. Pode-se encontrar uma acentuada dependência da agressividade do meio corrosivo quando se tem esse tipo de corrosão, e a velocidade de propagação é muito maior em meios agressivos como água do mar. A presença do meio corrosivo também reduz o tempo

necessário a iniciação da fissura.

Os meios corrosivos não apresentam especificidade, qualquer meio que corroa um metal reduz sua resistência a fadiga, tornando mais provável a sua ocorrência, deste modo, as variáveis que condicionam a agressividade do meio (ph, temperatura, teor de oxigênio) tem influencia no processo.

Figura 5 - Corrosão por fadiga devido à ação da água do mar



Fonte: <http://www.metacaulim.com.br/impermeabilizantes-metacaulim-hp-ultra.html>

## 4 INFLUENCIADORES DA CORROSÃO

Existem vários agentes que estão ligados diretamente ao processo de corrosão de determinado equipamento. A realidade vivida permite um estudo avançado desses fatores, que são inúmeros, para que o homem consiga manter em perfeitas condições o setor produtivo no mundo, atendendo ao crescimento econômico de forma excelente e inovadora. O objetivo deste capítulo é mostrar os fatores que possuem maior grau de interferência e que levam diretamente a um processo de corrosão.

### 4.1 Influencia da composição química do metal

Os metais se encontram na maior parte dos equipamentos que compõem a indústria e em todas as partes do cotidiano que se possa imaginar, logo sua forma, tamanho e disposição são fundamentais para o reconhecimento de propriedades que determinam como irá influenciar no funcionamento e durabilidade de um equipamento, e inclusive na maneira de prevenir da corrosão. Com isso temos os seguintes tipos de materiais para verificar como ocorre a deterioração pela corrosão: o aço que possui em sua composição química elementos de maior influencia sobre a corrosão como o enxofre, que é uma impureza, e os elementos de liga, como cobre, cromo e níquel, e os metais não-ferrosos como as ligas de cobre que são usadas quando se deseja boa resistência a corrosão em meio aquoso aerado, e as ligas de alumínio que tem maior aplicação na resistência a corrosão atmosférica quando não se necessita de alta resistência mecânica, sua resistência a corrosão esta associada a excelente característica protetora do produto de corrosão formado quando em meios aquosos aerados ou meios oxidantes.

### 4.2 Influencia da aeração do meio

Aeração significa a quantidade de oxigênio dissolvido no meio, sua interferência é maior em meios aquosos e na corrosão atmosférica. o efeito do oxigênio dissolvido no meio sobre taxa de corrosão depende fundamentalmente se o metal apresenta passivação em meio oxidante. Para metais que apresentam passivação em meio oxidantes, a aeração reduz a taxa de corrosão, enquanto que a ausência da aeração aumenta drasticamente esse valor. Para os metais que não apresentam passivação em meios aerados, a aeração aumenta a taxa de corrosão do metal até o limite de solubilidade do oxigênio no meio, porque o oxigênio tem um efeito despolarizante que é a quebra de uma barreira que o meio cria próximo a interface metal/solução que dificulta a aproximação dos íons até a superfície metálica para descarregarem.

### 4.3 Influencia de microorganismos

Bactérias anaeróbicas que são redutoras de sulfato causam corrosão das ligas ferrosas em meios não aerados. Essas bactérias têm a forma de larva e crescem em meios com muito pouco ou sem oxigênio, elas são chamadas de bactérias redutoras de sulfato porque reduzem o sulfato a sulfeto na presença de hidrogênio molecular ou materiais orgânicos. Na reação



característica das bactérias, o hidrogênio molecular pode ser fornecido por reações catódicas, derivados de celulose, açúcares ou outro produto orgânico presente no meio. O íon sulfeto produzido pela reação das bactérias influencia fortemente na velocidade das reações anódicas e catódicas, a tendência é retardar as reações catódicas e acelerar as anódicas, aumentando dessa maneira a corrosão.

Há influência também das bactérias aeróbicas, e as mais importantes na corrosão de ligas ferrosas são as oxidantes de ferro, capazes de oxidarem o enxofre nascente ou removerem este de um composto contendo enxofre, para formar ácido sulfúrico. Estes microorganismos crescem melhor em meios de baixo pH e podem produzir ácido sulfúrico. Assim, as bactérias oxidantes de enxofre são capazes de modificar completamente um meio corrosivo de maneira localizada.

Outros microorganismos também podem influenciar de maneira direta ou indiretamente nos processos corrosivos. Por exemplo, há microorganismos que utilizam hidrocarbonetos para seu crescimento e podem danificar revestimentos. As bactérias de ferro que se alimentam de íons que oxidam amônia até a formação de ácido nítrico que quando diluído ataca o aço carbono e outros metais. Existe ainda um grupo de bactérias chamadas macroorganismos que também podem acelerar um processo corrosivo, dentre esses macroorganismos se destaca os fungos que são um grupo de plantas caracterizadas por necessitarem de clorofila para crescerem, estes fungos são mais encontrados em água fresca e água do mar.

#### 4.4 Influência de águas naturais

As águas naturais possuem contaminantes que podem levar um material metálico em contato direto com elas a uma forte corrosão. Os contaminantes presentes em águas naturais são gases dissolvidos, sais dissolvidos, matéria orgânica, sólidos suspensos, bactérias, limos e algas. Todos esses elementos contribuem na corrosão pelo simples fato de afetarem a estrutura dos metais, fazendo os mesmos a voltarem a composição de como é encontrado na natureza. A água pode ser encontrada doce e salgada, com isso se pode ver como cada uma leva a corrosão.

##### 4.4.1 Corrosão por água doce

A água doce inclui todas as águas não salinas, a durabilidade dos aços em contato com este tipo de água depende das seguintes características, qualidade mineral da água, acidez, presença de oxigênio dissolvido, velocidade do fluxo, temperatura e condições ambientais. De todas as características da água que influenciam a taxa de corrosão, os gases dissolvidos são os mais importantes. Além do efeito dos gases dissolvidos, pode-se verificar também o efeito do pH da água e sais que a maioria dissolvida em água tende a reduzir tanto a solubilidade do oxigênio como a do hidróxido de ferro. As taxas de corrosão em soluções concentradas de sal são usualmente menores do que em soluções diluídas de sal. Alguns sais também tendem a elevar o pH, o que reduz a tendência a corrosão ácida, por outro lado a maioria dos sais dissolvidos se ioniza e aumenta a condutividade da água, que por sua vez tende a concentrar a corrosão levando a ataque severo.

##### 4.4.2 Corrosão por água salgada

A água do mar é uma solução salina uniforme constituindo de cloretos de sódio e

magnésio dissolvidos em água. Embora estejam presentes em pequenas quantidades muitos outros minerais solúveis, sofrem os efeitos individuais e cumulativos destes minerais que são insignificantes na presença dos cloretos dominantes. Assim, a água pode ser considerada equivalente a uma solução de 0,5N de cloreto de sódio. Nesta concentração a solução tem um pico de corrosividade, atuando mais agressivamente sobre o aço do que concentrações mais altas e mais baixas. Outros fatores que afetam a corrosão incluem a concentração de oxigênio, degradação de material biológico e velocidade e temperatura da água.

A corrosão em águas salinas, como encontradas em baías e estuários, aproxima-se do comportamento corrosivo da água do mar. A taxa de corrosão é praticamente a mesma em todos os lugares do mundo, na maioria dos casos a profundidade de ataque é maior em aços carbono cobertos com carepa do que os livres de carepa. Aços carbono e outros de baixa liga apresentam taxas de corrosão em curto prazo, quando completamente submersos em água do mar, em longo prazo essa taxa é reduzida. Não há variação significativa das taxas de corrosão em função do método de fabricação do aço ou de pequenas adições de elementos de liga como cobre ou cromo. O efeito do aumento da velocidade da água também faz aumentar a taxa de corrosão. As águas do mar em áreas tropicais resultam em taxas de corrosão mais altas do que para regiões de climas frios.

## **5 MÉTODOS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO**

O conhecimento do desenvolvimento das reações relacionadas aos processos corrosivos é pré-requisito para um controle efetivo das mesmas. No estudo de um processo corrosivo devem ser sempre respeitadas as variáveis dependentes do material metálico, da forma de emprego e do meio corrosivo. Somente o estudo conjunto dessas variáveis permitirá selecionar o material mais apropriado para determinado meio corrosivo.

Em todos esses métodos usados para regular a corrosão, o fator econômico é primordial. Qualquer medida de proteção será vantajosa, economicamente, se o custo da manutenção baixar. Daí ser necessário um balanço econômico para se poder julgar da vantagem das medidas de proteção recomendadas para um determinado equipamento. Assim, devem-se levar em consideração os gastos relacionados com a deterioração do equipamento, bem como os prejuízos resultantes dessas deteriorações, como, por exemplo, paradas de unidades, perda de eficiência, perda de produto, contaminações.

Dentre os métodos citados anteriormente, vale ressaltar que a aplicação de proteção catódica e o uso de revestimentos orgânicos (com ênfase para as tintas), serão o foco deste estudo.

A eficiência desses revestimentos ou recobrimentos protetores, depende, porém, da preparação da superfície receptora. Uma superfície bem limpa, livre de ferrugem, graxa, sujidades e umidade são tidas como o melhor substrato a um bom recobrimento protetor ou decorativo. Pode-se, então, dizer que esse recobrimento não é melhor do que a superfície à qual foi aplicado, e o seu desempenho é função direta da limpeza e preparo da superfície a proteger.

A limpeza das superfícies consiste basicamente na retirada das impurezas, substâncias encontradas nessas superfícies que podem interferir no processamento e/ou na qualidade da proteção visada, e são classificadas como:

- a) Oleosas;
- b) Semissólidas;
- c) Sólidas e;
- d) Óxidos e produtos de corrosão.

Uma vez classificadas, de maneira sucinta, as sujidades mais comuns que podem ser encontradas em uma superfície metálica, os meios de remoção mais frequentemente usados são detergência, solubilização, ação química e ação mecânica, podendo ser empregados isoladamente ou associados. São muitos os fatores que devem ser considerados, entre os quais o estado inicial do material a ser tratado, o fim a que se destina, as condições econômicas e o equipamento disponível. No geral, os meios de remoção de impurezas são:

- a) Detergência (desengraxamento alcalino);
- b) Solubilização;
- c) Ação química (decapagem ácida e alcalina) e;
- d) Ação mecânica.

## 5.1 Ação mecânica

Outra maneira de remover óxidos ou sujidades de uma superfície metálica, sejam orgânicas ou inorgânicas, consiste no emprego de ação mecânica (abrasão), dando como resultante uma superfície limpa. Os métodos industriais de eliminação dessas camadas são aqueles que utilizam processos manuais e mecanizados.

No caso de processos manuais, são utilizadas escovas de aço, martelos de impacto, lixas, raspadoras, etc. e, nos mecanizados, raspadeiras, lixadeiras, politrizes, pistola de agulhas ou de estiletos, marteletes pneumáticos, etc.

Figura 6 - Limpeza com martelete pneumático



Fonte: <http://www.aircryoservices.com/nettoyage-cryo.htm>

Entre os processos mecânicos, a limpeza por jateamento constitui o procedimento mais completo para a remoção de escamas e ferrugem. É o método preferido, por ser mais eficaz, apresentar os melhores resultados tanto em rapidez como em rendimento, e em qualidade de limpeza. O jateamento deixa a superfície diretamente no metal, nela produzindo uma rugosidade bastante propícia para uma melhor "ancoragem", aderência do *primer* ou primeira demão de tinta.

Basicamente, esse método consiste em se projetarem abrasivos a alta velocidade contra a superfície a ser limpa, o que pode ser feito por meio de ar comprimido (mais usual) ou da ação centrífuga de rotores providos de pás.

Muitas das estruturas de aço ou equipamentos recebem o jateamento abrasivo como método de preparação de superfícies e alguns cuidados devem ser tomados como: a escolha correta do abrasivo, o controle da contaminação do abrasivo após a sua reutilização, o correto perfil de rugosidade em função da espessura do revestimento, o controle da contaminação do ar comprimido, etc.

Figura 7 - Limpeza por jateamento abrasivo



Fonte: <http://mobilizapinturas.com.br/jateamento-abrasivo/>

## 5.2 Revestimentos

Os revestimentos constituem-se em películas interpostas entre o metal e o meio corrosivo, e esta pode dar ao material um comportamento mais nobre ou protegê-lo por ação galvânica,

aumento assim a resistência do material à corrosão. Dentre os materiais usados para fazer o revestimento de superfícies metálicas, o mais comumente utilizado é a tinta, e esta será o foco deste estudo.

Não se tem ao exato uma data para o surgimento da tinta. O homem não pretendia criar algo que desse vida ou protegesse sua moradia quando a tinta surgiu, já que ainda morava em cavernas. Foi devido à incessante vontade do homem de expressar seus pensamentos, emoções e a cultura de seu povo que a tinta foi descoberta.

A princípio, a tinta possuía apenas a função estética. Alguns anos mais tarde, quando introduzida nos países da América do Norte e da Europa, os quais possuem condições climáticas muito severas, a tinta passou a ser usada como "proteção".

Na indústria da Construção Metálica, a pintura, quando usada como forma de proteção anticorrosiva, exerce uma importantíssima função no produto final, visto que é através do acabamento e das cores que o produto é visualizado pelo seu comprador final. Porém, antes dos estudos realizados para determinar o melhor acabamento, existe um projeto de pintura que avalia o uso do aço, o local em que o produto será utilizado, a natureza e agressividade do meio, e outros fatores que influenciam a durabilidade do material.

Visto que a necessidade de se proteger os metais é incessante e crescente, as indústrias de fabricação de tintas e as empresas especializadas na aplicação do sistema pintura têm destinado grande parte de suas verbas para pesquisas e controle de qualidade para o desenvolvimento das tintas que são usadas como proteções anticorrosivas, para que estas estejam cada vez mais adequadas às necessidades do mercado. No Brasil, muitos equipamentos ainda são perdidos por falta de manutenção ou até mesmo erro na especificação técnica e/ou uso incorreto do revestimento anticorrosivo, e já sabemos que isto poderia ser evitado utilizando corretamente proteções anticorrosivas.

Para que um tratamento anticorrosivo tenha sucesso, ou seja, proteja o aço contra a corrosão, é necessário conhecimento técnico do material que está sendo empregado para proteção (as tintas), a correta especificação das tintas quanto à sua composição, a mão-de-obra especializada e o controle de qualidade, sem isto, fatalmente o sistema não funcionará. As tintas são fabricadas utilizando resinas diversas, aditivos, secantes, pigmentos de cor, solventes, etc. Muitos destes produtos são importados ou, se fabricados no Brasil, acompanham variações do mercado

internacional, assim sendo, seu custo por metro quadrado somado à aplicação deve ser cuidadosamente estudado para não sobrecarregar o projeto.

Como foi visto anteriormente, a preparação das superfícies é um cuidado muito importante e deve obedecer à normalização técnica. A má preparação ou o preparo incorreto das superfícies acarretará em um fraco desempenho da proteção anticorrosiva. Com isso, no projeto inicial, devem constar o controle adequado do preparo da superfície, o tempo de pintura inicial, as condições ambientais em que este preparo está sendo feito, contaminações, etc.

Da mesma forma que a preparação das superfícies para a aplicação das tintas, deve-se ter um rigoroso controle de qualidade, iniciando-se pela definição da metodologia de aplicação, a correta utilização de ferramentas, como rolos e pincéis, pistolas com ar e sem ar (Air Less), e também: o controle da espessura úmida e seca, os tempos máximos e mínimos de pintura entre camadas e repintura, a umidade relativa do ar, a temperatura ambiente da peça, o ponto de orvalho, a correta mistura dos componentes das tintas, o acompanhamento do tempo de vida útil da mistura normalmente reduzida devido à temperatura ambiente, o correto uso dos diluentes e o controle de aderência das tintas.

Figura 8 - Aplicação de tinta de fundo (primer)



Fonte: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/156/pintura-de-estruturas-metlicas-286684-1.aspx>

### 5.3 Técnicas de modificação do meio

Além do papel dos inibidores que atuam através do meio corrosivo há outras técnicas para se modificar o meio, e dentre elas vale ressaltar o controle do pH e a Desaeração. Esta última consiste na eliminação do oxigênio do meio porque, sendo o oxigênio um agente despolarizante, com sua retirada favorece-se a polarização catódica com uma conseqüente diminuição do processo corrosivo.

#### **5.4 Proteção catódica galvânica e por corrente impressa**

Para a obtenção da proteção catódica, dois métodos são empregados: a proteção catódica galvânica ou por anodos galvânicos ou de sacrifício e a proteção catódica por corrente impressa ou forçada. Ambos os métodos injetam corrente elétrica na estrutura através do eletrólito.

##### **5.4.1 Proteção catódica galvânica**

A proteção catódica é um método de aumento da resistência à corrosão, que consiste em tornar a estrutura a proteger em catodo, forçando um alto grau de polarização catódica (formação de hidrogênio e outros compostos sobre a superfície do catodo).

Neste método anticorrosivo, o fluxo de corrente elétrica fornecido tem sua origem na diferença de potencial existente entre o metal que se deseja proteger e outro escolhido como anodo e que tem potencial mais negativo segundo uma ordem de potenciais de oxidação dos metais.

Os materiais mais empregados como anodos de sacrifício são as ligas de magnésio, zinco e alumínio, e certas exigências devem ser cumpridas, como:

- a) Bom rendimento teórico da corrente em relação às massas consumidas;
- b) A corrente não deve diminuir com o tempo (formação de películas passivadoras) e;
- c) O rendimento prático da corrente não deve ser muito inferior ao teórico.



A tabela a seguir apresenta aplicações típicas dos anodos galvânicos.

Tabela 1 - Aplicações de anodos de sacrifício

<b>Anodos</b>	<b>Aplicações</b>
Alumínio	Estruturas metálicas imersas em água do mar
Magnésio	Estruturas metálicas imersas em água doce, de baixa resistividade ou enterradas em solos com resistividade elétrica até 3000 $\Omega$ .cm
Zinco	Estruturas metálicas imersas em água do mar ou enterradas em solos com resistividade elétrica até 1000 $\Omega$ .cm

Fonte:[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-92242010000200006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-92242010000200006&script=sci_arttext)

Para proteção de trocadores ou permutadores de calor, ou sistemas que operam com água aquecida, é recomendável o uso de anodos de magnésio devido ao fato de que o zinco, embora normalmente anódico em relação ao ferro, pode sofrer inversão de polaridade e tornar-se então, catódico em relação ao ferro, o que ocasionará a corrosão do ferro.

Figura 9 - Anodos de proteção catódica galvânica aplicada ao casco e leme do navio



Fonte:<http://inspecaoequipto.blogspot.com.br/2013/11/protecao-catodica.html>

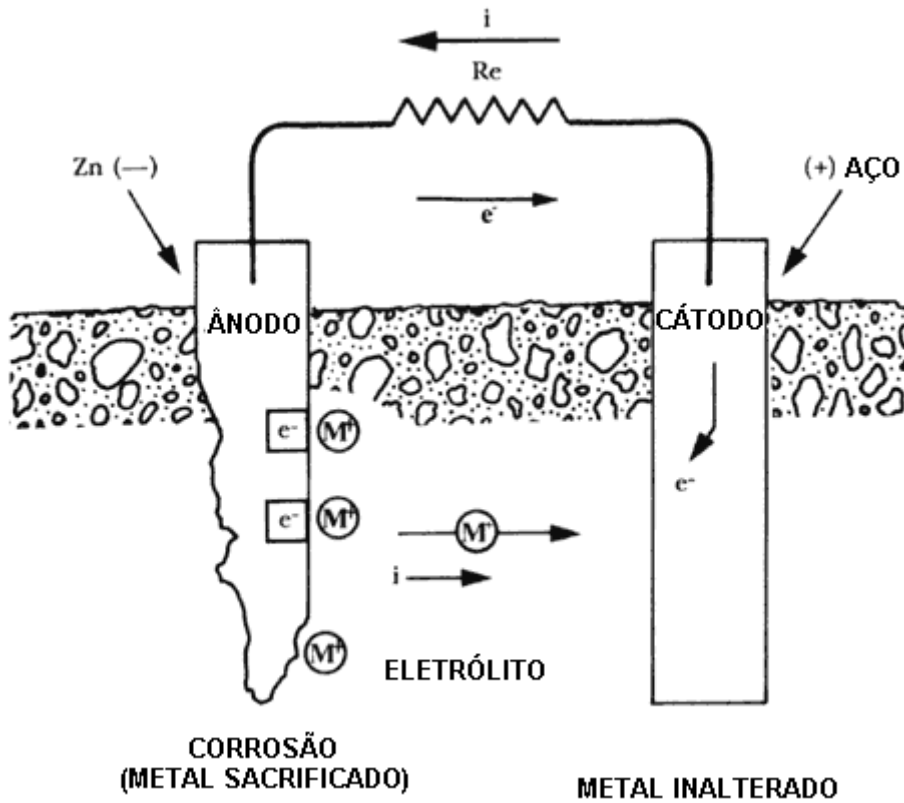
#### 5.4.2 Proteção catódica por corrente impressa

Nesse processo o fluxo de corrente fornecido origina-se da força eletromotriz de uma fonte geradora de corrente elétrica contínua, sendo largamente utilizados na prática os retificadores que, alimentados com corrente alternada, fornecem a corrente elétrica contínua necessária à proteção da estrutura metálica.

É um mecanismo de proteção cuja vantagem é a propriedade de o retificador apresentar potência e tensão de saída variadas de acordo com a necessidade da proteção, que depende da resistividade elétrica do eletrólito. Seu uso é muito comum para a proteção de estruturas em contato direto com eletrólitos de baixa, média, alta e altíssima resistividade elétrica.

Quando se realiza proteção catódica em navios, é ideal que se usem na proteção catódica interna de tanques de lastro, os sistemas galvânicos de zinco e alumínio. Na parte externa do navio, podem ser utilizados os dois sistemas de proteção catódica e tintas não saponificáveis.

Figura 10 – Proteção Catódica



Fonte: [sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/corrosao/corrosao-galvanica](https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/corrosao/corrosao-galvanica)

Este processo também visa proteger uma superfície metálica utilizando-se do sacrifício de um anodo inerte que possui diferentes aplicações, pois dependem do material que é composto. Existem diversos tipos de anodos que podem ser utilizados para uma mesma função, devendo ser feito um estudo sobre o qual é mais vantajoso para o metal que deve ser protegido. Os tipos de anodos e suas aplicações seguem a seguir.

Tabela 2 - Anodos e suas aplicações

Anodos	Aplicações
Grafite	Solos, água do mar não-profunda e água doce

Ferro-silício-cromo	Solos ou água do mar com teor de cloreto inferior a 60 ppm
Chumbo-antimônio-prata	Água do mar, suspensos, sem tocar o fundo do mar
Titânio, nióbio ou tântalo platinizado	Solos, água doce, água do mar e concreto
Titânio revestido com óxido de cério	Solos, água doce, água do mar e concreto
Magnetita	Solos, água doce e água do mar
Ferrita	Solos, água doce e água do mar

Fonte: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-92242010000200006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-92242010000200006&script=sci_arttext)

## 6 MEIOS CORROSIVOS

Os meios corrosivos mais frequentemente encontrados são a atmosfera, águas naturais, solo e produtos químicos mas, em menor escala, podemos considerar alimentos, substâncias fundidas, solventes orgânicos, madeiras e plásticos.

Deve-se destacar a importância que representa a natureza do meio corrosivo que se encontra proximidade da superfície metálica. Assim, por exemplo, no caso de trocadores ou permutadores de calor, o meio corrosivo vai apresentar uma temperatura mais elevada na parte em contato direto com a superfície metálica dos tubos. Tal fato pode acarretar uma decomposição dos

produtos usados para o tratamento da água. É evidente, também, que existe a possibilidade de o material metálico reagir com o meio corrosivo e formar uma película passivadora, que irá influenciar uma ação corrosiva do meio posteriormente.

Na maioria dos usos de estruturas metálicas estas estarão sujeitas a algum tipo de corrosão ambiental. Os meios de corrosão são mais geralmente classificados como aquosos e não aquosos, tendo seus agentes de corrosão mais comuns nos estados líquido, sólido ou gasoso. Os ambientes circundantes das estruturas podem ser aquosos e não aquosos:

- a) Aquosos: este engloba todo o tipo de água (natural, purificada e contaminada). Incluem-se desde águas deionizadas e destiladas, água doce, água de minas, poços, água do mar e águas processadas que contém ácidos, bases, sais e gases dissolvidos e;
- b) Não-aquoso: são, basicamente, gases, líquidos orgânicos e metais líquidos.

Nota: Em ambos os casos, geralmente, a água estará presente pelo menos em forma de umidade.

De acordo com a vasta aplicação das estruturas, pode-se classificar os processos de corrosão de acordo com o meio corrosivo em:

- a) Corrosão atmosférica;
- b) Corrosão do solo;
- c) Corrosão em concreto;
- d) Corrosão em água doce e;
- e) Corrosão em água salgada.

No caso de aplicação à este estudo, consideraremos o caso de um navio parcialmente imerso em um meio corrosivo aquoso. O material metálico do casco, assim como outros materiais metálicos em contato com a água, tendem a sofrer corrosão, a qual dependerá de determinadas substâncias que podem estar contaminando a mesma. Entre os contaminantes, os mais frequentes são:

- a) Gases dissolvidos (oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono, cloro, amônia, dióxido de enxofre, trióxido de enxofre e gás sulfídrico);
- b) Sólidos suspensos;
- c) Sais dissolvidos (cloretos de sódio, de ferro e de magnésio, carbonato de cálcio, bicarbonatos de cálcio, de magnésio e de ferro);
- d) Bactérias, limos e algas e;
- e) Matéria orgânica de origem animal ou vegetal.

Nota: Considerando-se o caráter corrosivo da água, devem ser considerados, também, seu pH, temperatura, velocidade e ação mecânica.

### **6.1 Considerações sobre caldeiras e sistemas de resfriamento**

Quando necessita-se de água para geração de vapor, como no uso de caldeiras, evita-se a presença de oxigênio e de sais incrustantes como bicarbonatos de cálcio e de magnésio. O oxigênio oxidaria a magnetita protetora, formando ferrugem não-protetora e os sais incrustantes, como o carbonato de cálcio, dificultaria a troca térmica. Para que tais considerações não ocorram, alguns procedimentos são aplicados à água de alimentação da caldeira, como:

- a) Deaeração (para eliminar oxigênio);
- b) Abrandamento ou desmineralização (para eliminar a dureza da água) e;
- c) Controle de pH.

Quando se necessita de água para sistemas de resfriamento, como no uso em trocadores de calor, procura-se evitar a presença de sólidos suspensos ou sais formadores de depósitos, e crescimento biológico, que poderiam, ao se depositarem, criar condições para corrosão sob depósito ou por aeração diferencial. Para evitar tais considerações alguns processos são considerados fundamentais, como:

- a) Cloração;
- b) Adição de inibidores de corrosão;
- c) Adição de dispersantes e;
- d) Controle de pH.

## **7 PREVENÇÃO DA CORROSÃO**

Na verdade um processo de corrosão e seu controle não podem ser tratados isoladamente, o estudo de um implica no estudo do outro, pois o próprio mecanismo da corrosão pode fornecer a forma através da qual se pode combater com mais eficiência. Em todos os métodos utilizados para controle de corrosão se deve levar em conta o fator econômico que é primordial, em vários casos o prejuízo causado pela corrosão não se concentra no custo da peça a ser trocada e sim na parada total de uma unidade em operação para que se possa processar a substituição.

Em âmbito geral de prevenção da corrosão, algumas soluções reduzem ou mesmo eliminam a velocidade da corrosão entre elas podemos citar: a mudança de materiais até

então usados, mudança completa do meio ambiente ou parcial alteração pela modificação do pH, aplicação de camadas de tinta orgânica ou eletro-deposição, utilização de técnicas eletroquímicas como tintas consumíveis, proteção catódica ou anódica, e prever maior tolerância de uma corrosão geral e controle de fatores como temperatura e velocidade em projetos.

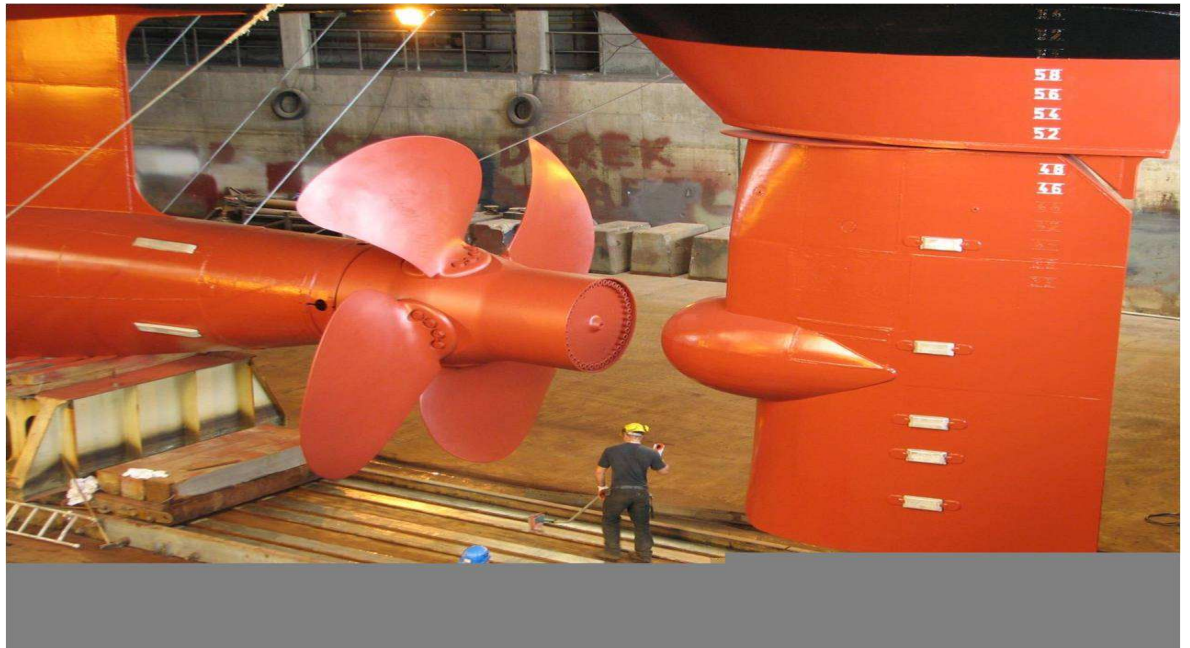
Os métodos de prevenção da corrosão mais populares usados na indústria em geral são: revestimentos, inibidores de corrosão, técnicas de modificação do meio corrosivo, zincagem, pintura e proteção catódica e anódica. Como o estudo deste trabalho está direcionado para a corrosão gerado no propulsor de um navio os métodos de prevenção são mais voltados para a forma do mesmo e alguns métodos conhecidos na indústria.

## 7.1 Prevenção da corrosão no propulsor

Em um navio para que ocorram procedimentos de prevenção da corrosão diversos fatores devem ser analisados antes, porque o mesmo está submetido a diversos tipos de normas e tudo relacionado a sua construção e manutenção está diretamente ligado a autoridades designadas para o desempenho das tarefas, nada pode ser feito sem antes ter um projeto e este ser autorizado por quem de respeito. Quando se fala em navio, se faz referência a um patrimônio cujo valor está associado a sua capacidade de trafegar internacionalmente transportando bens, cargas e pessoas. E para que isso seja possível, existem as Sociedades Classificadoras que estão estruturadas de forma a conceber o navio como uma unidade móvel internacional.

Os principais métodos utilizados na prevenção da corrosão no propulsor são basicamente: a limpeza que é feita primeiro pela necessidade de se retirar as incrustações e em segundo para o aumento da vida útil das embarcações com auxílio de raspagem por mergulhadores e utilização de equipamentos constituídos de escovas, a proteção catódica com anodos de sacrifício utilizados para formação de pares metálicos que consiste em se unir intimamente o metal a ser protegido com o metal protetor, o qual deve apresentar uma maior tendência de sofrer corrosão, os anodos são conectados eletricamente a estrutura a proteger, um par galvânico é formado e o potencial misto se posicionará em um valor intermediário, a quantidade, tamanho e distribuição dos anodos são de suma importância para conseguir efetiva proteção, a utilização de revestimentos metálicos que dependem de um correto tratamento de superfície, da técnica de aplicação, da espessura e da capacidade do revestimento atuar como um processo de sacrifício local na ocasião de se ter pequenos danos do revestimento que irão expor o substrato ao meio corrosivo e as prevenções mais importantes são efetuadas no processo de fabricação do hélice e no momento de encaixá-lo na estrutura do navio.

Figura 11 - Prevenção da corrosão com anodos de sacrifício



Fonte: <http://www.mundoeducacao.com/quimica/protecao-dos-metals-contra-corrosao.htm>

No momento no qual é realizado o projeto para fabricação do hélice, deve-se ter total preocupação com as pás, pois uma formação ruim das arestas e das pontas pode acelerar o processo de cavitação e causar um desgaste excessivo de material de que é feita e principalmente o caimento das pás que em excesso provoca alto nível de corrosão e apenas uma substituição irá solucionar o problema de deterioração que o movimento causará devido a má projeção da parte que é responsável pelo fornecimento de força para que haja deslocamento da água para propulsionar o navio. Além da preocupação no projeto, deve-se também atentar para o momento da instalação, porque depende da altura em que é colocado poderá ocorrer um contato com a superfície da água onde estará a presença de ar que ajudará no efeito de ventilação formando bolhas que ao chocarem a estrutura da pá provocaram corrosão e com o tempo o material irá perdendo sua espessura e fazendo com que a eficiência da propulsão seja totalmente reduzida e prejudicando demais partes do navio.



## **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O intuito deste trabalho foi demonstrar que apesar da corrosão em superfícies submersas ou parcialmente imersas em meios corrosivos ser um problema antigo, apenas há pouco tempo esta se tornou uma preocupação efetiva a nível internacional.

Através desse estudo foi possível compreender a importância da corrosão como um processo espontâneo que está constantemente transformando os materiais metálicos, de modo que sua durabilidade e desempenho deixam de satisfazer os fins aos quais se destinam, causando elevados prejuízos.

A proteção catódica, por possuir suas variações, por corrente impressa e por anodos de sacrifício, se torna eficaz na proteção de inúmeras superfícies metálicas, devendo ser avaliadas as condições em que tal estrutura se encontra para se determinar o melhor método a ser aplicado.

A pintura se mostrou um método de proteção anticorrosiva com satisfatória relação custo/benefício e de alta qualidade. Porém, para atingir tais parâmetros devemos levar em consideração fatores determinantes, tais como: condições de exposição e de trabalho dos equipamentos e das estruturas que serão utilizadas em todo o processo de pintura.

Destaca-se a importância da geração de corrosão devido às ações de cavitação e ventilação. Apesar de a corrosão ser um processo químico, a atuação de processos mecânicos permite que esta apareça causando total deterioração do equipamento que é produzido por materiais metálicos e funciona em contato direto com meio corrosivo.

Sendo assim, fica claro que o transporte marítimo é muito afetado com o fenômeno de corrosão, incentivando diversos profissionais ligados a esse assunto a pesquisarem novas técnicas, ligadas ao que a natureza química oferece que previna de forma eficiente uma embarcação para que não ocorra perda de capital que é o principal objetivo de qualquer atividade com fins lucrativos atualmente. Com isso tecnologias para construção de propulsores também se expandem para garantir que o caimento, ângulo, alturas, espessuras, áreas, tamanhos e demais elementos ligados a construção e instalação de um hélice não acelerem de forma irregular o processo de corrosão que é natural devido à necessidade de retorno a forma original que um material metálico tem.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACO, Associação brasileira de corrosão. **Corrosão e porteção/ciencia e tecnologia em corrosão**. Rio de Janeiro, 2010.

CARVALHO, Nestor Ferreira. **Fundamentos da corrosão**. 2002.

CAVITAÇÃO, 2011..Disponível em: <[www.mgstecnologia.com.br](http://www.mgstecnologia.com.br)>. Acesso em: 02maio 2014.

CORROSÃO. Disponível em: <[www.iope.com.br/3i\\_corrosão-htm](http://www.iope.com.br/3i_corrosão-htm)>. Acesso em: 02maio 2014.

DUTRA, A.C. e NUNES, L.P. **Proteção catódica: técnica de combate à corrosão**. Rio de Janeiro: Editora tecnica, 1987.

GENTIL, V. **Corrosão**. 4.ed., RO de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 2003.

HÉLICES, como selecionar. Disponível em: <[www.nautibras.com.br](http://www.nautibras.com.br)>. 02maio 2014.

MATOZO, H.C. e PIMENTA, E.F. **Apostila de eletroquímica**, EMIP-QUIMICA 2008.

PADOVEZI, Carlos Daher. **Aplicação de resultados de escala real no projeto de hélices de embarcações fluviais**. Universidade de São Paulo. Orientador. Dr. Mardel Bongiovanni de Conti. São Paulo, 1997.

PONTE, Haroldo Araújo. **Apostila de fundamentos da corrosão**. Curitiba, 2003.

REISSNER, H. **Theory of propellers**. p 48 (1942).

TELLES, P.C.S. **Materiais para equipamentos de processos**. Editora interciencia Ltda. 6.ed., Rio de Janeiro, 2003.