

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

**LUIZ VITORINO DANTAS NETO**

**O PROCESSO DE CORROSÃO E A PROTEÇÃO CATÓDICA**

**RIO DE JANEIRO**  
**2016**

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

**LUIZ VITORINO DANTAS NETO**

**O PROCESSO DE CORROSÃO E A PROTEÇÃO CATÓDICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado 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.

Orientador: Profº Ricardo de Lima Barreto

**RIO DE JANEIRO**

**2016**

**LUIZ VITORINO DANTAS NETO**

**O PROCESSO DE CORROSÃO E A PROTEÇÃO CATÓDICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado 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: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Profº Ricardo de Lima Barreto

---

Assinatura do Orientador

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

**Dedico este trabalho a minha esposa Nilene, por toda dedicação, esforço e perseverança, numa luta sempre em benefício de todos nós, e aos meus maravilhosos filhos, netos e genro que, sempre com muita paciência, souberam esperar o momento em que, com a ajuda de Deus, pudemos buscar melhores condições de vida e segurança, paz e felicidade.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus, pela oportunidade de estar vivendo, com saúde.

Pelos meus pais, que não estão mais presentes, mas que me ensinaram tudo que sabiam com a finalidade de que eu pudesse seguir em frente quando já não estivessem mais aqui.

Minhas irmãs, sempre presentes em minha vida.

A minha maravilhosa esposa, por ter me dado todo seu amor, carinho e dedicação, e sempre me ajudando e mostrando o caminho correto para que eu pudesse crescer internamente.

Aos meus valiosos filhos, que Deus me presenteou e que me fizeram ganhar dois tesouros, que são meus netos.

Aos professores, que fizeram todo o esforço para transmitir os conhecimentos necessários para nossa nova fase de vida e responsabilidade profissional.

Aos meus amigos de turma, que sempre procuraram me incentivar, ajudando nos momentos em que precisava de ajuda.

Ao CIAGA, que me proporcionou essa grande oportunidade de poder dar um passo tão importante na vida profissional.

## RESUMO

As causas, conseqüências e controle dos fenômenos relacionados à corrosão abrangem um grande número de conceitos químicos. Deste modo, é de suma importância ter ciência dos conceitos de tratamento e prevenção da corrosão e dos meios utilizados para a proteção dos materiais metálicos. Assim, este estudo é uma boa forma de envolver o profissionalismo em uma busca da construção de um conhecimento que seja um auxílio na compreensão de fenômenos relacionados à corrosão, possibilitando a intervenção em questões sociais e ambientais. Este trabalho tem como objetivo fazer uma análise dos principais fenômenos que envolvem a corrosão, assim como seus tipos e suas conseqüências, no que tange o setor marítimo.

**Palavra-chave:** Corrosão. Tratamento. Prevenção. Setor marítimo.

## **ABSTRACT**

The causes, consequences and the control of the phenomena related with the corrosion covers a great number of chemicals conceptions. Thus, it is very important to know the conceptions of treatment and prevention of the corrosion and the methods to protect the metal. So, this document is a good way to involve the professional in an investigation about the construction of a knowledge that will be a help in the understanding related to corrosion, making possible the intervention in some socials and environmental questions. This document have the objective to do an analysis of the main phenomena that involves corrosion, thus as yours types and consequences, related to the maritime department.

**Keyword:**Corrosion. Treatment.Prevention. Maritime department

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Ciclo dos metais	12
<b>Figura 2:</b>	Ciclo da corrosão	13
<b>Figura 3:</b>	Corrosão eletroquímica	14
<b>Figura 4:</b>	Corrosão eletroquímica	15
<b>Figura 5:</b>	Eletrólito	15
<b>Figura 6:</b>	Área anódica e catódica	16
<b>Figura 7:</b>	Concentração Iônica Diferencial	17
<b>Figura 8:</b>	Diferencial Iônico	17
<b>Figura 9:</b>	Aeração Diferencial	18
<b>Figura 10:</b>	Práticas boas e ruins em uniões	19
<b>Figura 11:</b>	Tipos de corrosão	20
<b>Figura 12:</b>	Corrosão Uniforme	21
<b>Figura 13:</b>	Corrosão por fadiga	22
<b>Figura 14:</b>	Corrosão por pites	22
<b>Figura 15:</b>	Corrosão galvânica	23
<b>Figura 16:</b>	Corrosão química	24
<b>Figura 17:</b>	Corrosão frestas	26
<b>Figura 18:</b>	Corrosão sob tensão	28
<b>Figura 19:</b>	Corrosão por erosão	30
<b>Figura 20:</b>	Corrosão por cavitação	31
<b>Figura 21 :</b>	Corrosão intergranular	32
<b>Figura 22:</b>	Pilha de Daniell	35
<b>Figura 23:</b>	Tabela de potenciais padrões de redução	36
<b>Figura 24:</b>	Mini-sensores	43
<b>Figura 25:</b>	Aço revestido	45
<b>Figura 26:</b>	Equipamento automatizado	46
<b>Figura 27:</b>	Posicionamento dos elementos utilizados	51
<b>Figura 28:</b>	Tubulação subterrânea com a utilização de anodos de sacrifício (de magnésio)	52
<b>Figura 29:</b>	Tanque subterrâneo com o uso de corrente impressa	52

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>A CORROSÃO E SEUS FENÔMENOS</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Corrosão</b>	<b>11</b>
2.1.1	Grupos de corrosão	12
<b>2.2</b>	<b>Como acontece a corrosão</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>Pilhas de corrosão eletroquímica</b>	<b>14</b>
2.3.1	Principais tipos de pilha	15
<b>2.4</b>	<b>Métodos de proteção da corrosão</b>	<b>18</b>
2.4.1	Umidade residual	18
2.4.1.1	<i>Parafusos de aço galvanizado unindo estruturas de aços patináveis</i>	19
<b>2.5</b>	<b>Tipos de corrosão</b>	<b>20</b>
2.5.1	Corrosão uniforme	21
2.5.2	Corrosão por fadiga	21
2.5.3	Corrosão por pites	22
2.5.4	Corrosão galvânica	23
2.5.5	Corrosão química	24
2.5.6	Corrosão por concentração diferencial	24
2.5.7	Corrosão por concentração iônica	25
2.5.8	Corrosão por aeração diferencial	25
2.5.9	Corrosão por frestas	26
2.5.10	Corrosão filiforme	27
2.5.11	Corrosão sob tensão	27
2.5.12	Corrosão seletiva	28
2.5.12.1	<i>Corrosão gráfitica</i>	28
2.5.12.2	<i>Corrosão por dezincificação</i>	29
2.5.13	Corrosão associada a escoamento de flúidos	29
2.5.13.1	<i>Corrosão por erosão</i>	29
2.5.13.2	<i>Corrosão por cavitação</i>	31
2.5.13.3	<i>Corrosão por turbulência</i>	31
2.5.14	Corrosão intergranular	32
2.5.15	Fissuração induzida pela pressão de hidrogênio	33

<b>2.6</b>	<b>A importância dos problemas de corrosão</b>	<b>33</b>
<b>2.7</b>	<b>Os metais e a metalurgia</b>	<b>34</b>
<b>2.8</b>	<b>As reações de oxidação-redução</b>	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>MAIORES CONHECIMENTOS SOBRE CORROSÃO</b>	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Nova técnica para o combate da corrosão</b>	<b>37</b>
<b>3.2</b>	<b>Tinta inteligente revela corrosão e fissuras em estruturas metálicas</b>	<b>38</b>
3.2.1	Monitoramento de estruturas metálicas	38
3.2.2	Tinta inteligente	38
3.2.3	Micro-fissuras e pontos de corrosão	39
<b>3.3</b>	<b>Planos preventivos da corrosão</b>	<b>39</b>
3.3.1	Prevenção da corrosão galvânica	40
3.3.2	Prevenção da corrosão por frestas	41
<b>3.4</b>	<b>Tecnologia anticorrosiva</b>	<b>41</b>
<b>3.5</b>	<b>A importância dos mini-sensores contra a corrosão</b>	<b>42</b>
3.5.1	Sensores anti-corrosão	43
3.5.2	Sensores inteligentes	44
<b>3.6</b>	<b>Revestimento protege aço e superligas metálicas contra corrosão</b>	<b>44</b>
<b>3.7</b>	<b>O controle da corrosão em ligas metálicas</b>	<b>45</b>
<b>3.8</b>	<b>Equipamento automatizado detecta corrosão e desgaste em peças</b>	<b>46</b>
<b>4</b>	<b>PROTEÇÃO CATÓDICA</b>	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>Definição de proteção catódica</b>	<b>48</b>
4.1.1	Proteção catódica galvânica	48
4.1.2	Proteção catódica por corrente impressa	49
<b>4.2</b>	<b>Projeto e instalação da proteção catódica</b>	<b>50</b>
<b>4.3</b>	<b>Aplicações práticas de proteção catódica</b>	<b>53</b>
<b>4.4</b>	<b>Processo de revestimento de estanho por eletrodeposição</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico é definido pela quantidade de materiais, metais e ligas metálicas que existem no globo terrestre. Em se tratando de metais, eles devem ser considerados por suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, mas dependendo das condições ambientais na qual ele é utilizado, pode haver características de corrosão. Até há pouco tempo, o termo corrosão era usado para descrever um determinado tipo de deterioração dos metais, não se aplicando a materiais não metálicos. Na atualidade, pode-se definir corrosão como o processo de deteriorização que ocorre tanto em materiais metálicos quanto em materiais não metálicos.

Quando há corrosão, o metal se converte para um estado não metálico, e com isso, perde suas qualidades essenciais, tais como elasticidade, ductibilidade e resistências mecânicas. Este fenômeno pode ser conhecido, também, como corrosão metálica.

Com a ação química ou eletroquímica do processo de corrosão acontece a destruição do material metálico. Isto ocorre nos mais importantes processos de corrosão, tais como corrosão sob fadiga e corrosão sob tensão fraturante.

## 2 A CORROSÃO E SEUS FENÔMENOS

No início da vivência na vida marítima, não havia muita tecnologia aplicada, em muitas coisas na construção naval, para que pudesse haver uma durabilidade por mais tempo, no tratamento de corrosão e de proteção catódica. Como este assunto é de grande importância, por se tratar de uma área da embarcação que fica diretamente em contato com a água salgada e era um assunto no qual desconhecia a respeito da maneira correta dos procedimentos a bordo com a finalidade de proteção à corrosão, decidi fazer este trabalho explorando este tema.

A compreensão de que forma esses fenômenos que são relacionados à corrosão se processam, dando referência às causas, consequências e controle, e de como deve ser feito este tratamento contra as corrosões eletroquímicas e químicas.

Este trabalho teve como objetivos analisar as concepções, sobre os principais fenômenos que envolvem a corrosão e desenvolver material paradidático que auxilie, de forma interessante e interativa, o processo de ensino-aprendizagem relativo ao tema corrosão.

### 2.1 Corrosão

A corrosão consiste na deterioração dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio, podendo estar ou não associada a esforços mecânicos, e pode incidir sobre diversos tipos de materiais, metálico ou não metálico. Esta, também, pode ser definida como a transformação de um determinado metal, em sua forma metálica, em íons, pela ação da transferência de elétrons do mesmo para outro elemento químico, sendo metal ou não.

Nos processos de corrosão, os metais reagem com os elementos não metálicos presentes no meio, como exemplo tem-se:  $O_2$ , S,  $H_2S$ ,  $CO_2$ , entre outros. Eles produzem compostos semelhantes aos encontrados na natureza, dos quais foram extraídos. Neste caso, a corrosão funciona como o inverso dos processos metalúrgicos. Por isso a conclusão de que a corrosão corresponde ao inverso dos processos metalúrgicos, pois ele é o processo de transformação do minério metálico (matéria prima) em uma peça metálica (matéria manipulada).

### 2.1.1 Grupos de corrosão

Existem dois grupos diferentes de processos corrosivos, os quais abrangem todos os casos de corrosão, pois para cada meio corrosivo deve haver uma ação diferente para cada material. Estes grupos são conhecidos como corrosão química e corrosão eletroquímica.

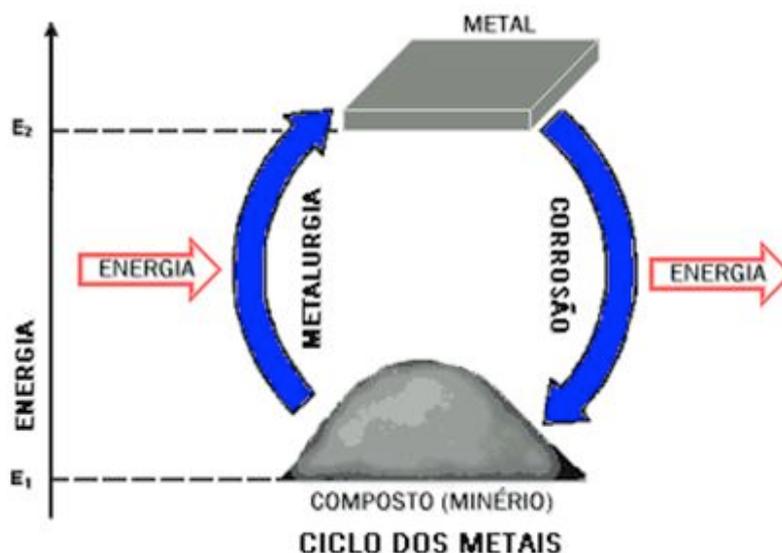
A primeira é a corrosão química, que pode ser chamada somente de corrosão, é menos frequente na natureza, e é caracterizada por:

- ter ausência da água líquida, por isto é também conhecida como corrosão em meio não aquoso ou corrosão seca;
- ter temperaturas elevadas, sempre acima do ponto de orvalho da água, por isto é também conhecida como oxidação em altas temperaturas;
- ter interação direta entre o metal e o meio corrosivo.

A segunda é a corrosão eletroquímica. Ela é mais frequente na natureza e se caracteriza por:

- estar, necessariamente, na presença de água no estado líquido, por isto é também conhecida como corrosão em meio aquoso;
- formação de uma pilha ou célula de corrosão, com a circulação de elétrons na superfície metálica;
- aparecer em temperaturas abaixo do ponto de orvalho da água.

**Figura 1:** Ciclo dos metais



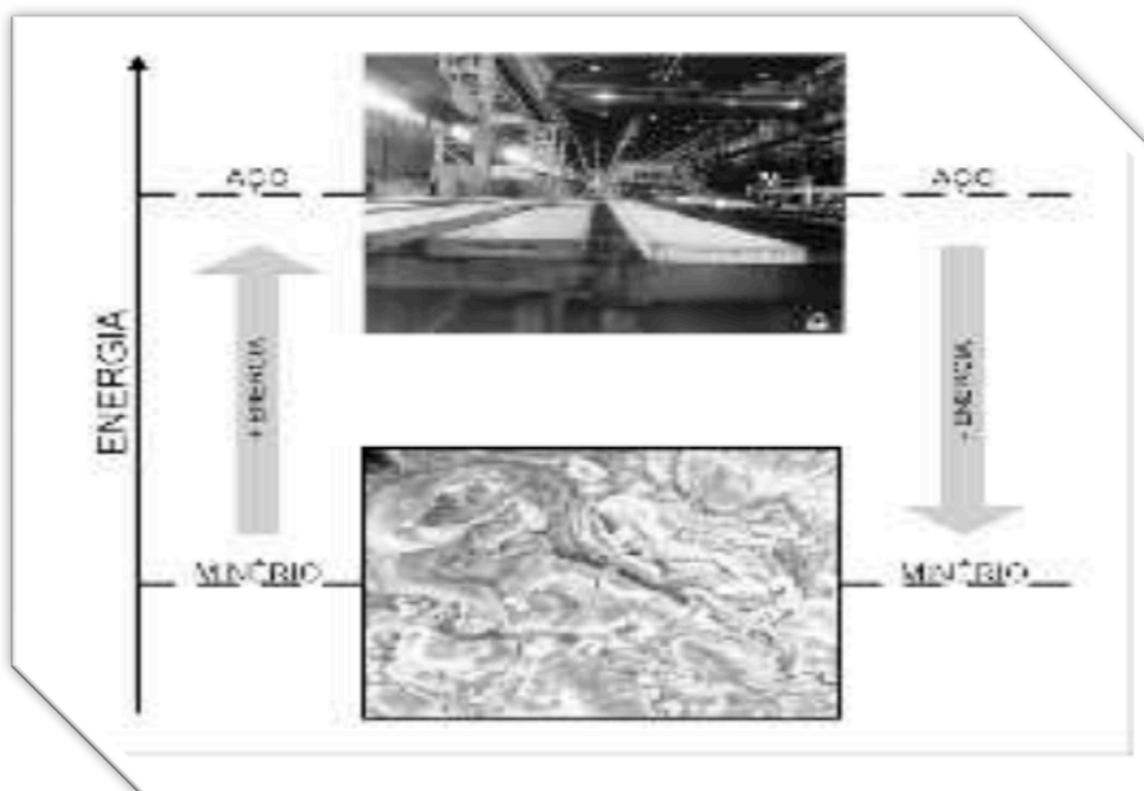
Fonte: ABRACO, 2013

## 2.2 Como acontece a corrosão

Os metais são encontrados, quase sempre, em conjunto com um ou mais elementos não-metálicos presentes no meio, ou seja, raramente eles estão no estado puro. Para reduzir os minérios aos metais puros deve-se fornecer uma grande quantidade de energia, sendo o minério uma forma oxidada do metal. Porém, para a fundição e conformação do metal há ainda mais gasto de energia.

Em outras palavras, a corrosão pode ser definida como a tendência espontânea do metal produzido e conformado de reverter ao seu estado original, de mais baixa energia livre.

**Figura 2:** Ciclo da corrosão



Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

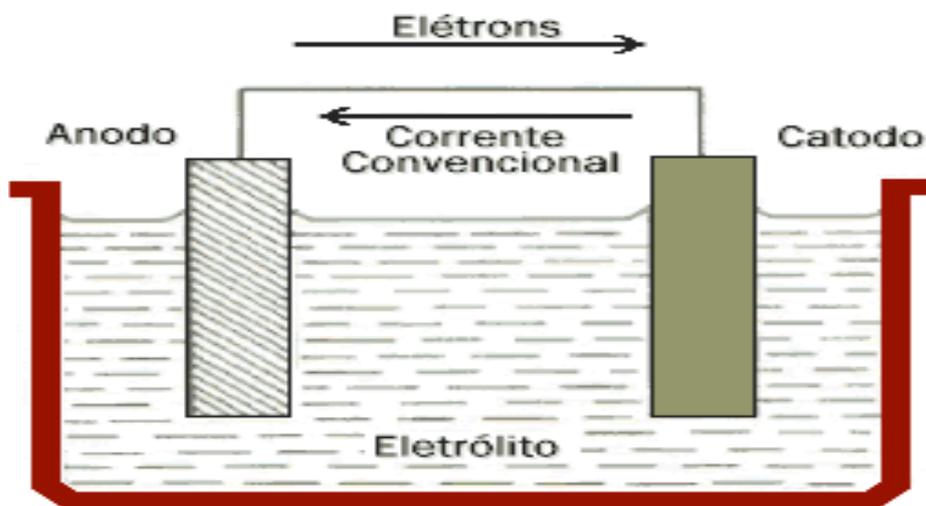
### 2.3 Pilhas de corrosão eletroquímica

As pilhas de corrosão eletroquímica são constituídas de quatro elementos fundamentais:

- área catódica: superfície protegida onde não há corrosão (reações de redução) em um dos eletrodos;
- área anódica: superfície onde existe a corrosão (reações de oxidação) em um dos eletrodos;
- eletrólito: solução condutora ou condutor iônico que envolve, simultaneamente, as áreas anódicas e catódicas;
- ligação elétrica: entre as áreas anódicas e catódicas.

As pilhas de corrosão são consequências da diferença de potenciais nos eletrodos. Elas são a reação da oxidação e da redução, pois as reações da corrosão eletroquímica envolvem reações de oxi-redução.

**Figura 3:** Corrosão eletroquímica



Fonte: Site Engenhariax - <http://www.engenhariax.com>

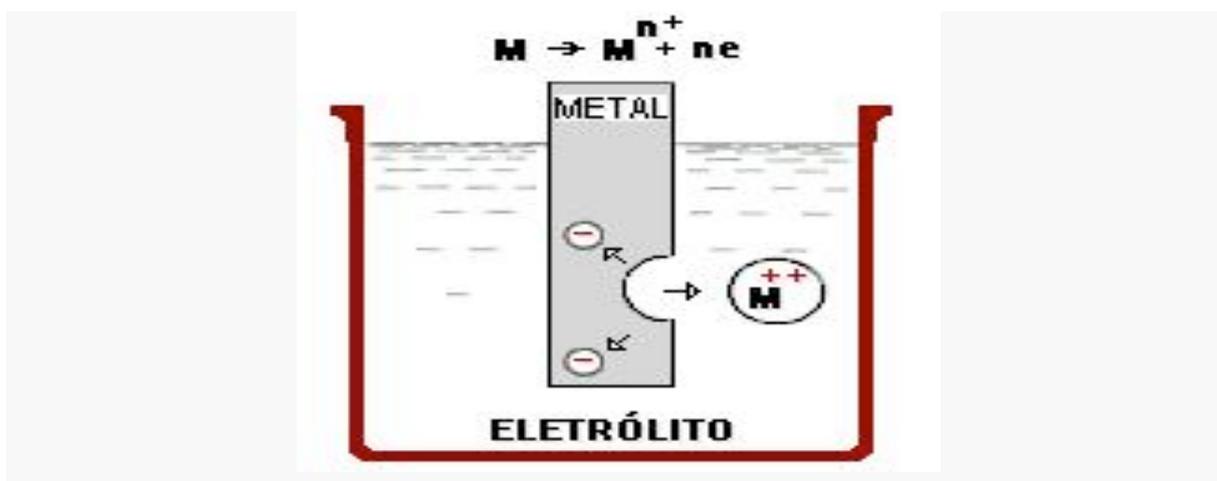
Na área anódica acontece reação de oxidação e na área catódica acontece reação de redução de íons do meio corrosivo, e as principais reações são:

- em meio aerados: Caso normal de água do mar e naturais.  

$$\text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$$
- em meios desaerados: Caso comum em águas doces industriais.  

$$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$$

**Figura 4:** Corrosão eletroquímica



Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

### 2.3.1 Principais tipos de pilha

Os principais tipos de pilha são:

- a) pilha de ação local: É, provavelmente, a mais frequente que existe, pois devido às diferenças de composição química, textura do material, tensões internas e outras coisas, ela aparece em um mesmo metal. As causas da ocorrência dela são: materiais de diferentes épocas de fabricação; estados diferentes de tensões e deformações; inclusões, segregações, bolhas, trincas; acabamento superficial da superfície; gradiente de temperatura; tratamentos térmicos diferentes; e diferença no tamanho e contornos de grão.

A pilha de ação local está ilustrada na figura abaixo:

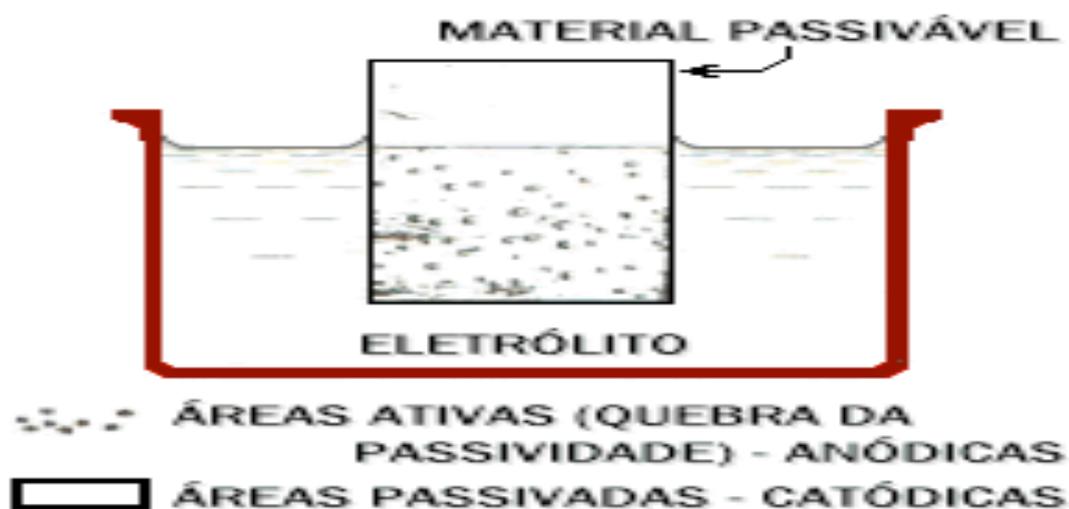
**Figura 5:** Eletrólito



Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

- b) pilha Ativa-Passiva: Este tipo de pilha acontece nos metais que formam uma película protetora, como o alumínio, cromo, titânio, aços inoxidáveis e etc. Esta película protetora é constituída por uma fina camada do produto da corrosão do material. Se ela for danificada por ação mecânica em algum ponto será formada uma área ativa (anódica) na presença de uma área passiva (catódica) com o aparecimento de uma forte pilha, que proporciona corrosão, de acordo com a figura.

**Figura 6:** Área anódica e catódica

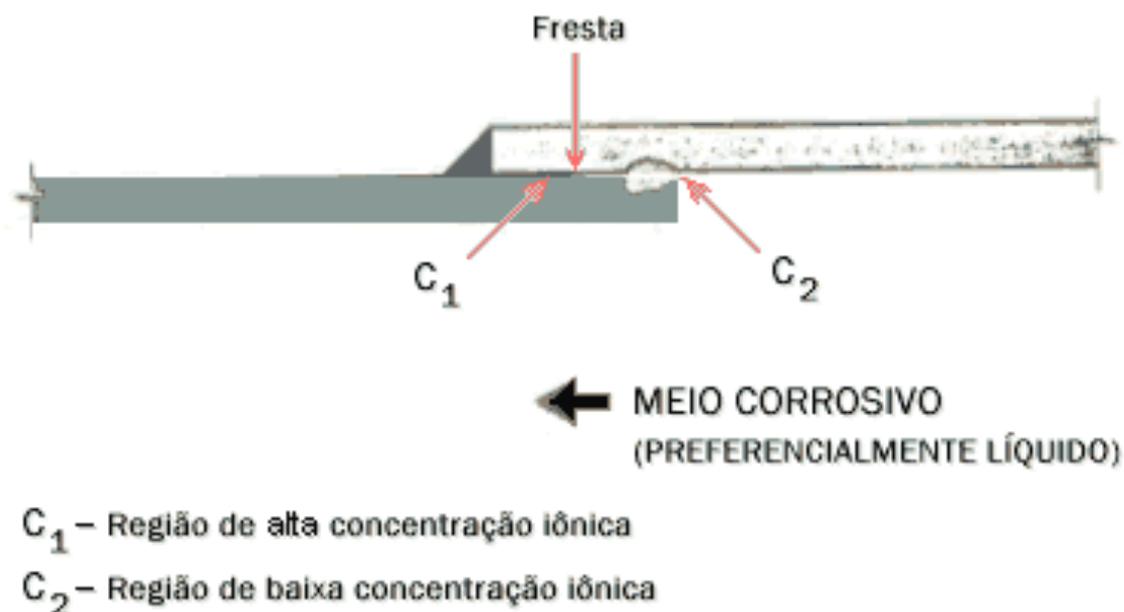


Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

- c) pilha De Eletrodo Diferente: Ela pilha surge sempre que dois metais ou ligas metálicas diferentes são postos em contato elétrico junto com um eletrólito. Quanto mais distante estiverem os materiais na tabela de potenciais no eletrólito usado, mais será a diferença de potencial da pilha. Esta pilha também é denominada pilha galvânica.
- d) Pilha De Concentração Iônica Diferencial: Esta pilha surge sempre que um material metálico é colocado em concentrações diferentes dos seus próprios íons, e ela acontece porque o eletrodo se torna mais ativo quando decresce a concentração de seus íons no eletrólito.

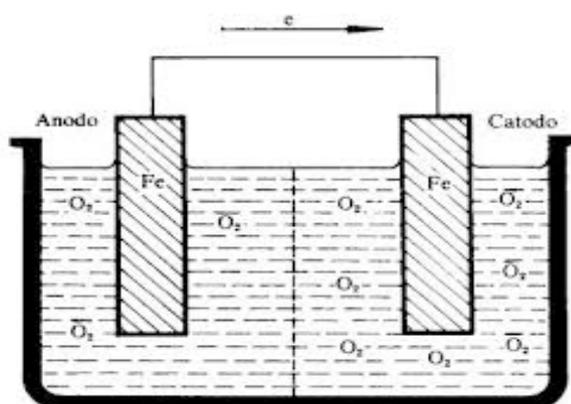
Esta pilha é bem frequente em frestas quando o meio corrosivo é um líquido, pois o interior da fresta recebe pouca movimentação de eletrólito neste caso, o que faz com que haja a tendência de ficar mais concentrado com íons de metal (área catódica), enquanto que a parte externa da fresta fica menos concentrada (área anódica), gerando a corrosão das bordas da fresta. Vide a figura.

**Figura 7: Concentração Iônica Diferencial**



Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

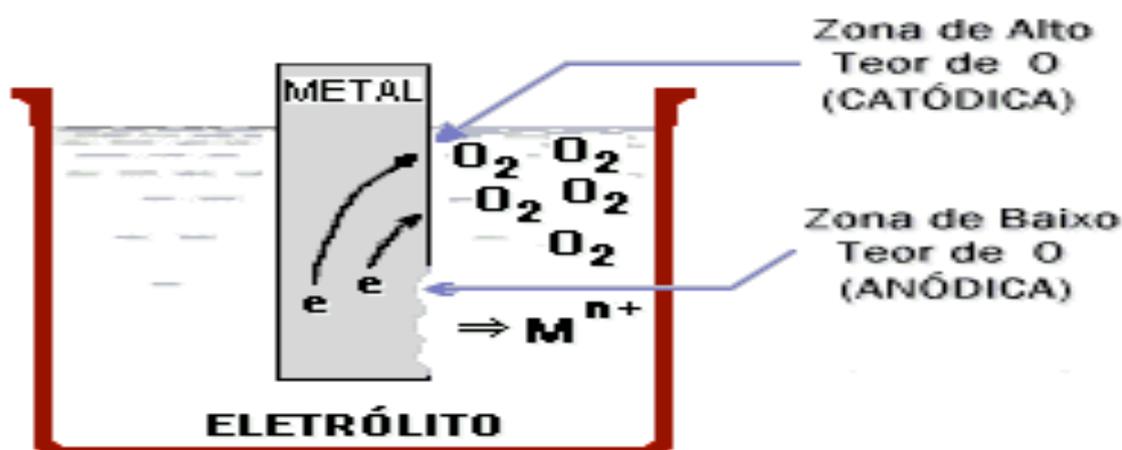
**Figura 8: Diferencial Iônico**



Fonte: Site Engquimicasantosp - <http://www.engquimicasantosp.com.br>

- e) **Pilha De Aeração Diferencial:** Esta pilha é formada por concentrações diferentes do teor de oxigênio e ocorre, frequentemente, em frestas. No interior, a área fica menos concentrada em oxigênio (área anódica) devido à maior dificuldade de renovação do eletrólito; e no exterior há uma maior concentração de íons de metal (área catódica), pois o eletrólito é renovado facilmente. Com isso, o desgaste acontece no interior da fresta. Vide figura.

**Figura 9:** Aeração Diferencial



Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

## 2.4 Métodos de proteção da corrosão

A forma mais eficaz e econômica de evitar a corrosão é projetar corretamente a obra do navio e da forma mais simples possível, pois aumentam as chances de haver uma maior proteção. Um dos fatores mais importantes para que seja controlada a corrosão é o de evitar frestas, pois nelas podem ser acumulados compostos solúveis em água e umidade e estes não são visíveis ou acessíveis para uma manutenção.

### 2.4.1 Umidade residual

Uma das tarefas mais importantes do engenheiro, que irá construir o navio, é garantir que a construção esteja protegida da umidade, pois a corrosão não ocorre na ausência da umidade.

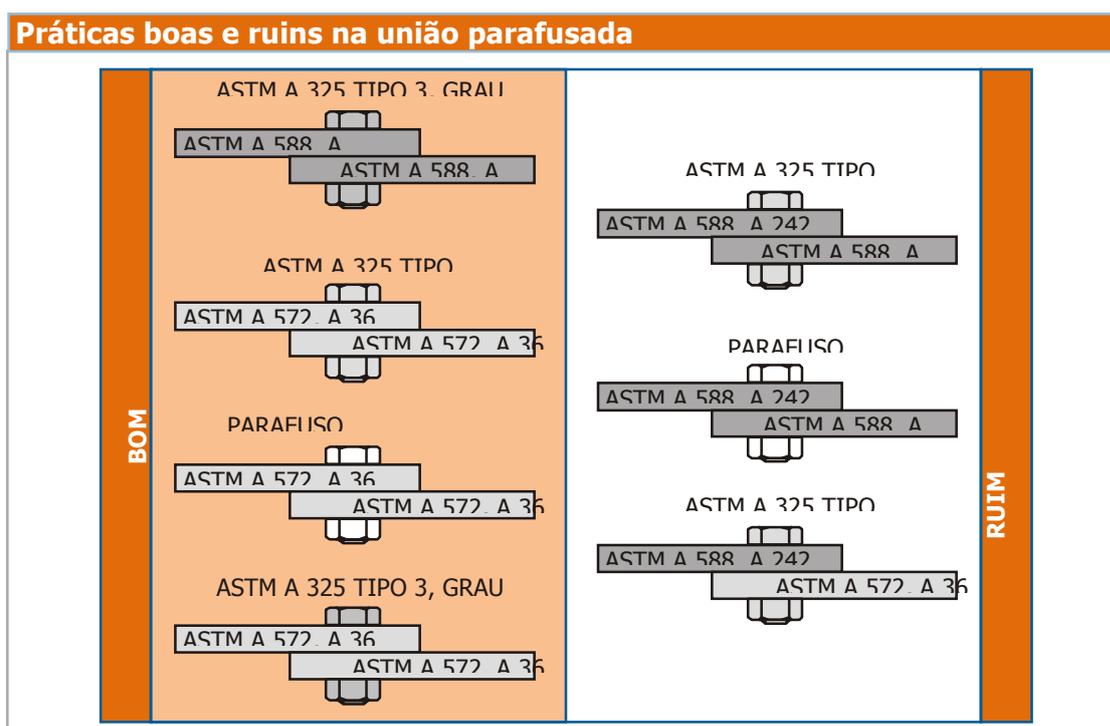
Devem-se criar condições para que a umidade depositada em alguma cavidade possa secar. Porém, deve-se evitar a criação de cavidades por juntas parafusadas, que são melhores que as soldadas, pois necessitam de controle e testes.

### 2.4.1.1 Parafusos de aço galvanizado unindo estruturas de aços patináveis

Esta é uma solução utilizada em nosso mercado, às vezes. Os aços patináveis têm, em sua composição, elementos químicos como níquel, cobre, cromo, nióbio e vanadium que aumentam a resistência frente à corrosão atmosférica. Os parafusos recomendados para a união destes materiais devem, obrigatoriamente, possuir composição química parecida com aquela dos aços patináveis, sob o risco do aparecimento da corrosão galvânica. Parafusos de aço carbono galvanizados tem sido utilizados algumas vezes para substituir os de aço patináveis (ASTM A325 Tipo 3 Grau A).

O zinco, que é mais anódico que os aços carbono, protegerá a estrutura e, também, os próprios parafusos, enquanto estiver presente. Portanto, os aços patináveis, utilizados nas estruturas, por serem mais catódicos do que os aços carbono comuns, promovem a rápida deterioração da camada de zinco do parafuso. Quando todo o zinco estiver oxidado, restará o parafuso que, não tendo composição química comparável aos aços patináveis, sofrerá uma rápida degradação, tanto pela razão de áreas desfavoráveis quanto pela própria característica anódica dos aços comuns quando comparados aos aços patináveis.

**Figura 10:** Práticas boas e ruins em uniões

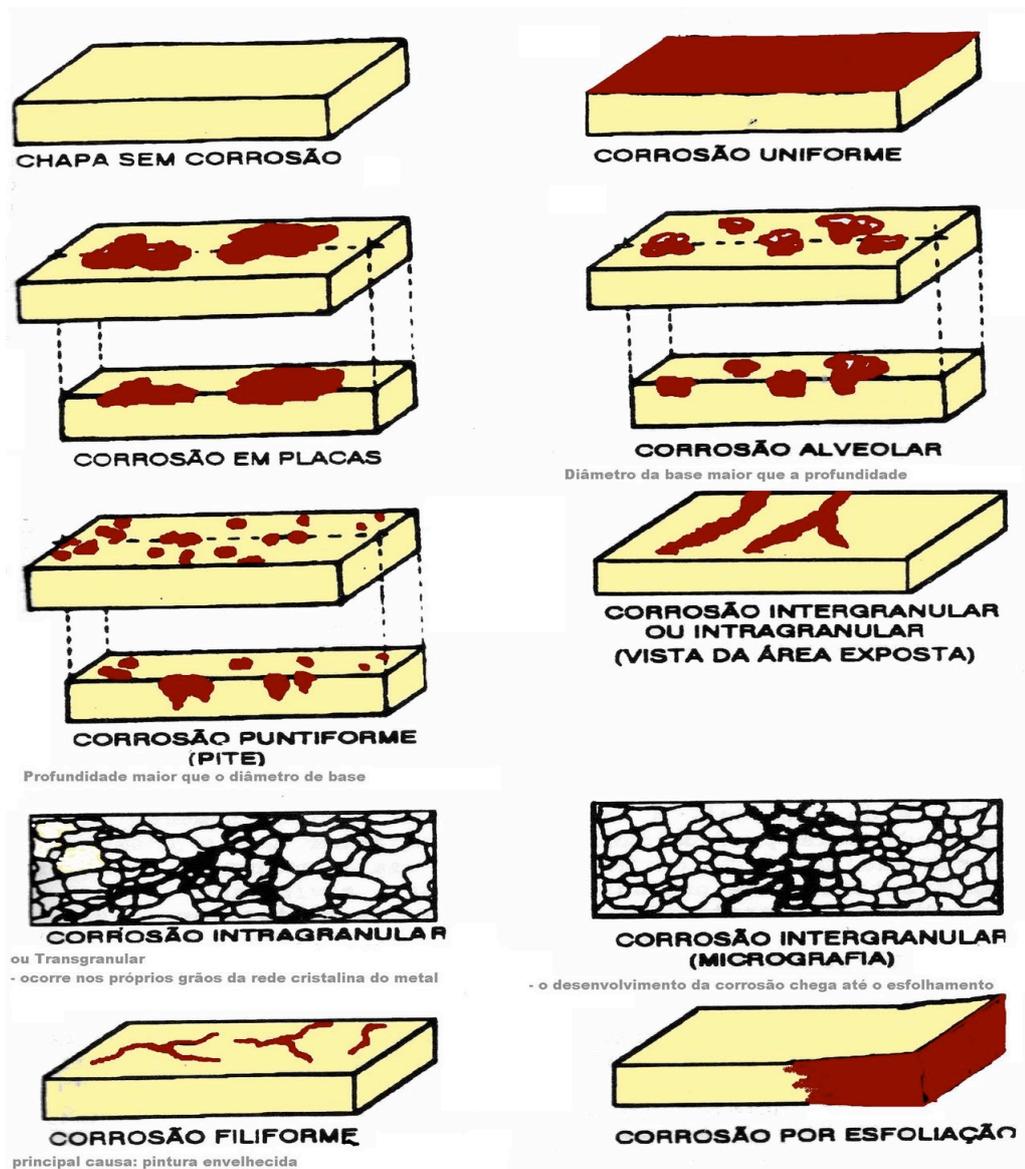


## 2.5 Tipos de corrosão

Os processos corrosivos de natureza eletroquímica apresentam mecanismos idênticos porque são constituídos por áreas anódicas e catódicas, entre as quais uma corrente de elétron e uma corrente de íons circulam. Entretanto, o modo de ataque sobre o material e também, a perda de massa acontece de diferentes formas.

A figura abaixo mostra alguns tipos de corrosão e logo após, serão citados e explicados alguns tipos de corrosão e seus mecanismos específicos.

**Figura 11:** Tipos de corrosão



Fonte: Site Megaarquivo - <https://megaarquivo.com>

### 2.5.1 Corrosão uniforme

A corrosão uniforme consiste no ataque de toda a superfície metálica em contato com o meio corrosivo com a consequente diminuição da espessura.

**Figura 12:** Corrosão Uniforme



Fonte: Site DCC - <http://www.dcc.ufpr.br>

### 2.5.2 Corrosão por fadiga

Quando um material é submetido a solicitações mecânicas cíclicas, pode acontecer a fratura do mesmo, pois pode progredir uma trinca pela existência da fadiga deste material.

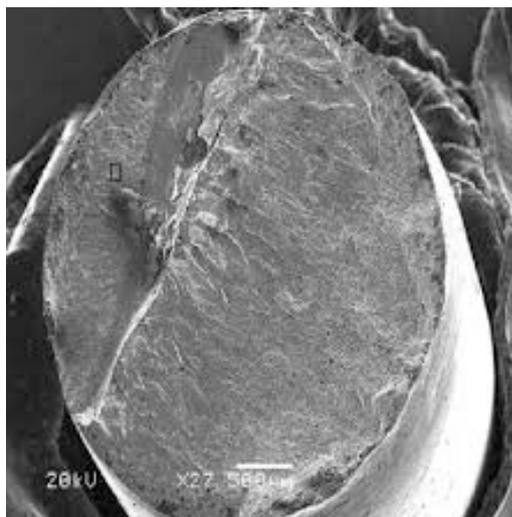
A fadiga inicia-se em uma imperfeição superficial, que é um ponto de concentração de tensões, e progride perpendicularmente a tensão.

Um processo corrosivo pode ser a causa do surgimento da trinca superficial por onde se inicia a fadiga. A base da trinca é uma região tensionada e encruada que age como uma área anódica em relação ao resto do material, logo é provocada a corrosão e aceleração da progressão da base pela presença de um eletrólito no interior da trinca.

A associação dos dois efeitos causa a falha do material em um número bem menor de ciclos do que se o fenômeno de fadiga ou corrosão isoladamente.

Este tipo de corrosão é muito comum em estruturas submetidas a esforços cíclicos, sistemas de sustentação e manobras de aeronaves.

**Figura 13:** Corrosão por fadiga



Fonte: Site Scielo - <http://www.scielo.mec.pt/>

### 2.5.3 Corrosão por pites

A corrosão por pites é uma forma de corrosão localizada que consiste na formação de cavidades de pequena extensão e razoável profundidade. Normalmente ocorre em poucos pontos da superfície, sendo outros pontos mantidos intactos.

Este tipo de corrosão é característica dos materiais metálicos que formam películas protetoras, o que resulta na atuação da ilha ativo-passiva nos pontos dos quais a camada passiva é rompida.

**Figura 14:** Corrosão por pites



Fonte: Site Scientia - <https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/corrosao>

#### 2.5.4 Corrosão galvânica

É o processo corrosivo resultante do contato elétrico de materiais diferentes ou dissimilares. Quanto mais distantes forem os materiais na tabela de potenciais eletroquímicos, este tipo de corrosão se torna mais intenso.

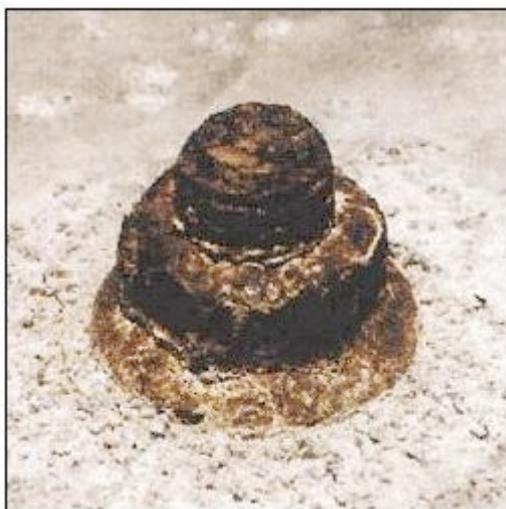
Nela ocorrerá, também, uma grande influência da relação entre as áreas catódicas e anódicas. A fim de se obter um menor e mais uniforme desgaste na área anódica, esta relação deverá ser a menor possível.

Outro aspecto importante é a presença de íons metálicos no eletrólito, quando estes íons forem de materiais mais catódicos que outros materiais aonde venham haver contato, poderá ocorrer corrosão devido à redução dos íons do meio com a consequente oxidação do metal do equipamento ou instalação.

Porém, a corrosão galvânica só acontecerá se uma cela galvânica se formar, ou seja, se houver dois metais ou ligas metálicas situadas distantes na série galvânica conectados eletricamente e imersos em um mesmo eletrólito. Então metais distantes na série galvânica não significam, necessariamente, que provocarão problemas de corrosão, pois existem exemplos de metais ou ligas que nunca deram problemas corrosivos.

Os efeitos galvânicos acontecem quando a diferença de potencial medida, com um multímetro, por exemplo, entre os dois metais ou ligas imersos no mesmo eletrólito particular é maior que 0,05 V.

**Figura 15:** Corrosão galvânica



Fonte: Site Scientia - <https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/corrosao/corrosao-galvanica>

### 2.5.5 Corrosão química

A corrosão química é um processo que acontece na ausência de água em altas temperaturas, ou seja, na temperatura acima do ponto de orvalho da água, devido à direta interação entre o metal e o meio corrosivo.

Este tipo de corrosão ocorre em equipamentos que trabalham aquecidos, como fornos, caldeiras, unidades de processo, entre outros.

**Figura 16:** Corrosão química



Fonte: Site Brasil Escola - <http://brasilecola.uol.com.br>

### 2.5.6 Corrosão por concentração diferencial

Os processos corrosivos ocasionados por variação na concentração de determinados agentes no meio provocam, também, corrosão localizada. Isto é resultado da ação de pilhas de concentração iônica diferencial e pilhas de aeração diferencial.

Os principais processos corrosivos por concentração diferencial são:

- a) a corrosão por concentração iônica diferencial;
- b) a corrosão por aeração diferencial;

- c) a corrosão em frestas;
- d) corrosão filiforme.

#### 2.5.7 Corrosão por concentração iônica

A corrosão por concentração iônica ocorre sempre que existem variações na concentração de íons do metal no eletrólito. Como resultado haverá potenciais eletroquímicos diferentes e conseqüentemente uma pilha onde a área em contato com menor concentração funcionará como anodo e a área em contato com maior concentração como catodo.

#### 2.5.8 Corrosão por aeração diferencial

A corrosão por aeração diferencial ocorre sempre que existem variações na concentração de oxigênio no eletrólito. Como o potencial eletroquímico de um material metálico torna-se cada vez mais catódico quanto maior for a concentração de oxigênio no meio ao seu redor, as áreas com contato com maior concentração de oxigênio serão catódicas, e aquelas com contato com menor concentração serão anódicas.

A corrosão bimetálica é bastante comum, porém, destrutiva. As celas de aeração diferencial, causadas por diferenças no nível de oxigenação do eletrólito, são ainda mais observadas e costumam causar grandes estragos.

Uma cela de aeração diferencial pode ser desenvolvida em qualquer situação onde a água estiver em contato com uma superfície. Assim, deve-se tomar cuidado com o ingresso de água em áreas onde ela possa ficar retida por bastante tempo. As frestas potenciais devem ser preenchidas com secantes (epoxídicas, poliuretânicas ou à base de silicone); os componentes devem, como costume, possuir furos de drenagem. Deve ser permitida a ventilação de todo conjunto, para que a água possa evaporar.

Devem ser evitados materiais absorventes, como filtros e tecidos, em contato com superfícies metálicas, pois estes materiais são muito utilizados como isolantes térmicos, acústicos e etc. Eles podem absorver água, possibilitando a ocorrência de celas de aeração diferencial na interface do material absorvente/metal. Os materiais

absorventes devem ser evitados em todas as situações em que a umidade relativa do ambiente exceda, normalmente, os 60%.

Exemplos de pilhas de aeração diferencial:

- a) sujeiras depositadas: São sujeiras que absorvem ou mantêm água (ou lama), produtos de corrosão, folhas, tecidos e papel em contato com a estrutura e com isso, promovem a formação de pilhas de aeração diferencial e devem ser evitadas.
- b) drenagem e ventilação: Quando a chuva ou o orvalho umedece uma estrutura metálica, pontos de ferrugem devem ser observados após a evaporação da água. Cada gota age como uma cela de aeração diferencial, mas se a superfície tiver a oportunidade de secar (isto é, se existir ventilação adequada), a corrosão será limitada. Onde a ventilação é menos eficiente podem acontecer problemas sérios.

#### 2.5.9 Corrosão por frestas

A corrosão por frestas pode acontecer porque as frestas são regiões onde duas superfícies ficam muito próximas e podem coletar água, líquidos ou depósitos sólidos como lama e diversos pós. Elas estão sujeitas a formação de pilhas de aeração diferencial e de concentração iônica diferencial. Quando o meio é líquido ocorrem preferencialmente às pilhas de concentração iônica diferencial e quando o meio é gasoso tende a ocorrer às pilhas de aeração diferencial.

Frestas ocorrem normalmente em juntas soldadas com chapas sobrepostas, em ligações flangeadas, em revestimentos com chapas aparafusadas, em juntas rebitadas, em ligações roscadas, dentre outros.

**Figura 17:** Corrosão frestas



Fonte: Site Sientia - <https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/corrosao>

### 2.5.10 Corrosão filiforme

Corrosão filiforme é um tipo de corrosão que é processada sob filmes de revestimentos, especialmente de pintura.

Este tipo de corrosão tem um mecanismo semelhante à corrosão em frestas, devido à aeração diferencial provocada por defeito no filme de pintura, embora o mecanismo real não seja bem conhecido.

De modo geral, o processo corrosivo começa nas bordas, progride unifilarmente e apresenta a característica de refletir com o mesmo ângulo de incidência em obstáculos.

### 2.5.11 Corrosão sob tensão

A corrosão sob tensão ocorre quando um material é submetido a tensões de tração, sendo elas aplicadas ou residuais, e é colocado em contato com algum meio corrosivo específico.

Neste tipo de corrosão formam-se trincas no material, sendo a perda de espessura, muitas vezes, desprezível. As trincas decorrentes da corrosão sob tensão podem ser:

- a) intergranulares: Ocorre quando a direção preferencial para a corrosão é o contorno de grão; e
- b) transgranulares.

A propagação de trinca por corrosão sob tensão é geralmente lenta, até atingir o tamanho crítico para uma ruptura brusca.

Não existe um mecanismo geral para explicar o fenômeno da corrosão sob tensão, porque cada conjunto, formado por material e meio, específico apresenta uma determinada particularidade. e

De um modo geral, as combinações resultam na formação de filme ou película na superfície do material, gerando uma grande resistência a corrosão uniforme.

A prevenção da corrosão sob tensão é mais fácil na etapa de projeto, pois existem muito menos opções para a correção de uma situação já existente e recai na utilização de práticas normais de prevenção contra a corrosão eletroquímica.

**Figura 18:** Corrosão sob tensão



Fonte: Site Manutenção e suprimentos - <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br>

#### 2.5.12 Corrosão seletiva

Corrosão seletiva é o conjunto de processos corrosivos, formados por um par galvânico, que se dá pela diferença entre a nobreza de dois elementos constituintes de uma liga metálica. Os dois principais tipos de corrosão seletiva são:

- a) grafítica; e
- b) dezincificação.

##### 2.5.12.1 Corrosão grafítica

A corrosão grafítica é um tipo de corrosão seletiva, na qual é um processo corrosivo que ocorre nos ferros fundidos cinzentos e nos ferros fundidos nodulares. O ferro fundido é, normalmente, usado nas tubulações de água, drenagem, esgoto e etc.

O grafite é um material muito mais catódico que o ferro. Os nódulos de grafite do ferro fundido agem como uma área catódica e o ferro age como uma área anódica, o que gera um produto de corrosão.

O revestimento dos tubos com argamassa de cimento internamente e com um revestimento correto para tubulações enterradas, externamente, é uma prática usual para minimizar os problemas da corrosão gráfitica.

#### *2.5.12.2 Corrosão por dezincificação*

Corrosão por dezincificação é um tipo de corrosão seletiva, na qual é um processo corrosivo observado nas ligas de zinco, especialmente latões, utilizados em tubulações para água salgada e trocadores de calor, como resfriadores e condensadores.

No processo desta corrosão resulta a destruição do zinco (material mais anódico) restando o cobre e produtos de corrosão.

Os latões com alto teor de zinco, como latão alumínio (76% Cu, 22% Zn e 2% Al), latão amarelo (67% Cu e 33% Zn) são os que possuem maior tendência a dezincificação.

Este tipo de corrosão pode ser evitado com tratamento térmico de solubilização da liga e com uso das ligas que contenha elementos inibidores como As e o Sb.

#### *2.5.13 Corrosão associada a escoamento de flúidos*

No escoamento de fluidos pode-se ter a aceleração dos processos corrosivos em virtude da associação do efeito mecânico com a ação corrosiva.

Os principais tipos de corrosão associada com escoamento são:

- a) corrosão por erosão;
- b) corrosão por cavitação; e
- c) corrosão por turbulência.

##### *2.5.13.1 Corrosão por erosão*

Um processo corrosivo torna-se mais intenso quando combinado com erosão, pois a corrosão produz uma película de um produto da corrosão e o processo erosivo remove este produto, expondo a superfície a outro desgaste corrosivo,

criando um desgaste ainda maior do que se houvesse apenas um dos processos agindo no material.

Isto acontece porque a erosão de um material metálico é o desgaste mecânico provocado pela abrasão superficial de uma substância líquida, sólida ou gasosa.

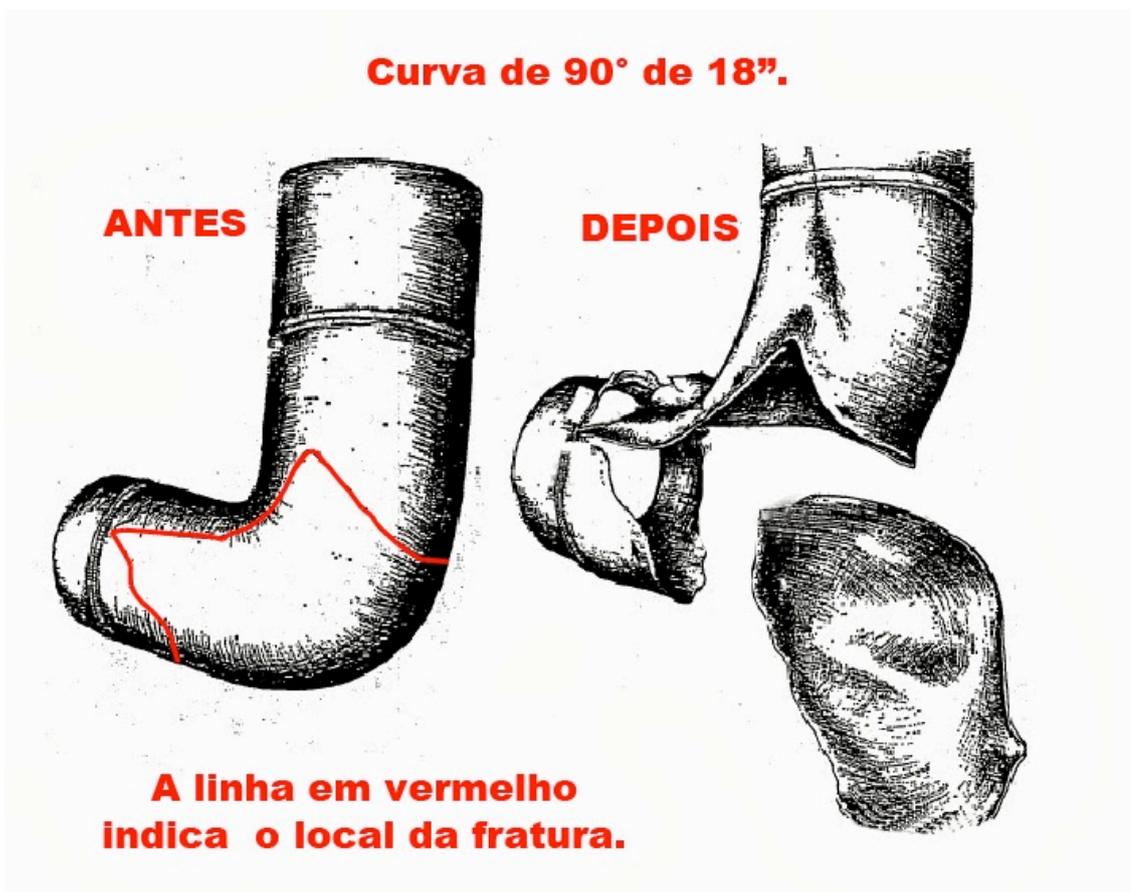
A ação erosiva em um material metálico é mais frequente nos seguintes casos:

- a) quando há o deslocamento de um líquido contendo partículas sólidas;
- b) quando há o deslocamento de um material sólido; e
- c) Quando já o deslocamento de um gás contendo partículas líquidas ou sólidas.

No caso dos líquidos e dos gases, a ação erosiva ocorre normalmente, em tubulações, em permutadores e em pás de turbinas.

A erosão é tão forte que provoca o desgaste superficial, que é capaz de remover as películas protetoras constituídas dos produtos de corrosão.

**Figura 19:** Corrosão por erosão



Fonte: Site Inspeção e equipamento - <http://inspecaoequipto.blogspot.com.br/>

### 2.5.13.2 Corrosão por cavitação

A cavitação acontece em zonas de baixa pressão, nas quais o líquido entra em ebulição formando bolhas, que entram em contato com zonas de alta pressão e são destruídas instantaneamente criando onda de choque no líquido, o que causa desgaste na superfície do metal.

A cavitação destrói as películas dos produtos da corrosão, expondo o material a outro desgaste corrosivo e também provoca a deformação plástica com encruamento devido à incidência de ondas de choque de alta pressão e, com isso, acontece a criação de áreas anódicas e um desgaste maior do que no caso da ação dos fenômenos isolados.

A corrosão por cavitação acontece em propulsores em rotações excessivas ou em alta taxa de ar dissolvida no mar. Em casos de submarino o efeito da cavitação forma assinatura acústica de fácil detecção.

**Figura 20:** Corrosão por cavitação



Fonte: Site Excellbombas - <http://excellbombas.com.br>

### 2.5.13.3 Corrosão por turbulência

A corrosão por turbulência é um processo corrosivo associado ao fluxo turbulento de um líquido e ocorre, particularmente, quando há redução na área de fluxo.

Se houver o aparecimento de bolhas gasosas provocado por este movimento turbulento, pode acontecer o choque destas bolhas com a superfície metálica e o processo erosivo resultante é denominado de impingimento. O ataque é diferente da cavitação quanto à forma do desgaste, sendo no caso do impingimento comum alvéolos sob a forma de ferradura e as bolhas causadoras são em geral de ar, enquanto que na cavitação são bolhas de vapor do produto.

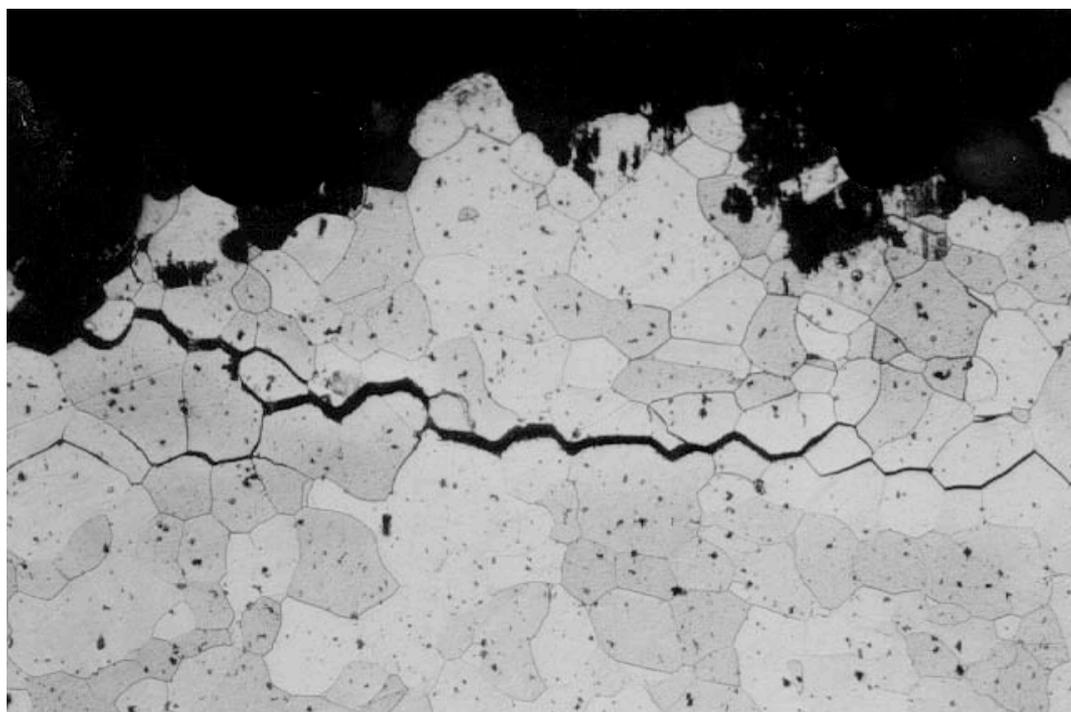
#### 2.5.14 Corrosão intergranular

A corrosão intergranular ocorre quando existe um caminho preferencial para a corrosão na região dos contornos de grão, observando-se que os grãos vão sendo destacados à medida que a corrosão está se propagando.

O principal fator responsável pela diferença na resistência a corrosão da matriz (material no meio do grão) e do material vizinho ao contorno é a diferença que apresentam na composição química nestes locais.

Este tipo de corrosão não requer, ao mesmo tempo, a presença do meio corrosivo e dos esforços de tração, como é o caso da corrosão sob tensão.

**Figura 21:** Corrosão intergranular



Fonte: Site Inspeção e equipamento - [inspecaoequipto.blogspot.com.br](http://inspecaoequipto.blogspot.com.br)

### 2.5.15 Fissuração induzida pela pressão de hidrogênio

O hidrogênio, no estado nascente ou atômico, tem grande capacidade de difusão em materiais metálicos, então, se o hidrogênio for gerado na superfície de um material, ele migra para o interior e acumula-se em falhas existentes. Este hidrogênio acumulado se transforma da forma nascente à molecular e provoca o aparecimento de altas pressões no interior da falha.

As tensões oriundas da pressão do gás poderão ser suficientes para escoar o material e os danos são irreversíveis, ou então, apenas para torná-lo mais frágil, com a eliminação do hidrogênio antes da solicitação, o material voltará as suas condições normais.

Quando há o acúmulo de hidrogênio, em falhas, próximas à superfície, a deformação pode provocar empolamentos, sendo, este processo, denominado de empolamento pelo hidrogênio.

As principais causas do aparecimento de hidrogênio podem ser:

- a) processos de decapagem ácida;
- b) reações de corrosão que liberam oxigênio;
- c) reações catódicas em estruturas protegidas catodicamente;
- d) ação de gases ricos em hidrogênio;
- e) decomposição da umidade e água de cristalização contida em alguns tipos de revestimento de eletrodo que gera hidrogênio atômico no processo de soldagem por eletrodo revestido.

## 2.6 A importância dos problemas de corrosão

A importância dos problemas de corrosão é encarada de acordo com dois principais aspectos. O primeiro aspecto é o econômico, devido ao fato do seu custo assumir valores muito altos e expansivos, e baseados em estimativas do PNB de cada país, alguns apresentam valores muito altos de acordo com este número. Este aspecto é bastante relevante, pois abrange dois aspectos de perda com relação aos danos, perdas estas classificadas como diretas ou indiretas. As perdas diretas possuem custos para substituição de peças que sofrem corrosão, incluindo mão de obra e energia e custos de manutenção de processo, tais como proteção catódica, recobrimento, pintura, entre outras. Já as perdas indiretas acontecem devido às

paralisações acidentais, perdas e contaminação de produto, diminuição da eficiência e super dimensionamento de projetos. Os dados apresentados permitem concluir que quanto mais avançado tecnologicamente for um país, mais elevado é o seu gasto com a corrosão, ou seja, a corrosão aumenta paralelamente com o desenvolvimento tecnológico de um país.

O segundo aspecto está relacionado com a preservação das reservas minerais, porque a corrosão é um processo espontâneo e consome os metais. Por isto, há a necessidade de uma produção adicionais destes materiais para que haja a reposição do que já foi deteriorado. Esta reposição faz com que reservas naturais de alguns metais tenham a tendência de esgotamento.

Esse processo espontâneo mencionado é o elemento, em forma metálica, em um nível de energia interna maior do que o elemento oxidado. A tendência universal de um sistema diminuir sua energia interna constitui a força motriz para os processos de corrosão.

Esse conhecimento leva o ser humano a tomar decisões mais conscientes, como levar em consideração o material utilizado na confecção de um determinado bem de consumo e ter precaução quanto ao controle e prevenção da corrosão dos materiais que são usados.

## **2.7Os metais e a metalurgia**

A maioria dos metais são encontrados na natureza em forma de minérios, no estado oxidado. Entretanto, para que aconteça uma utilização prática, devem ser reduzidos através de processos metalúrgicos, os quais envolvem alto consumo de energia. Estes processos metalúrgicos e os processos de corrosão são considerados opostos, pois a corrosão é um processo natural que tem a tendência de oxidar os metais enquanto que a metalurgia é a ciência que estuda e gerencia os metais desde a extração do subsolo até a transformação em produtos de procedimentos e técnicas para extração, fabricação, fundição e tratamento dos metais e suas ligas.

Porém, os metais apresentam diferentes tendências de se oxidarem. Podendo ser ordenados numa fila decrescente de facilidade em sofrer oxidação.

## 2.8 As reações de oxidação-redução

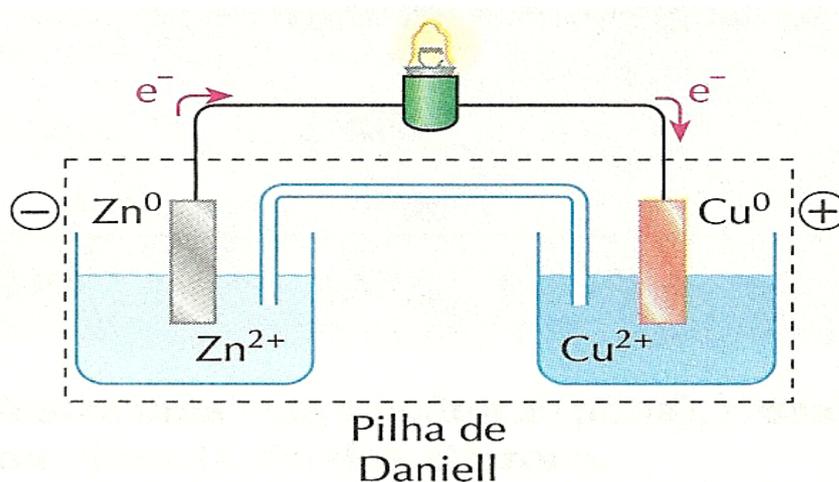
As reações de oxidação-redução são bem comuns no cotidiano do ser humano.

A oxidação e a redução são fenômenos que ocorrem simultaneamente nas reações em que acontece a transferência de elétrons entre os átomos. Estes fenômenos também são conhecidos como oxirredução, oxidoredução ou redox, apenas.

A oxidação ocorre quando há a perda de elétrons e o aumento do número de oxidação do elemento, e a redução ocorre quando há o ganho de elétrons e a diminuição do número de oxidação do elemento. Este número de oxidação é conhecido como nox, e sua definição é conhecida como a carga elétrica que o elemento adquire quando realiza uma ligação iônica ou o caráter parcial que ele adquire quando realiza uma ligação predominantemente covalente.

Um dispositivo prático de aplicação das reações de Oxidação-redução são as pilhas eletroquímicas, que utilizam essas reações para produzir eletricidade. Como pode ser observado na figura abaixo que mostra uma representação esquemática da pilha de Daniell.

**Figura 22:** Pilha de Daniell



Fonte: Site Eletroquímicas - <https://eletroquimicas.wordpress.com>

Analisando a tabela abaixo, que mostra os potenciais padrões de redução, é observado que o zinco possui menor potencial padrão de redução que o cobre. Consequentemente tende a oxidar, transferindo seus elétrons para o eletrodo de

cobre, através do fio condutor. Nisto, há uma passagem de corrente elétrica e uma diferença de potencial, conhecida como ddp, entre os eletrodos.

As reações de oxidação-redução, além de gerarem energia elétrica, são a base para o estudo dos processos corrosivos. Por isso, são de suma importância e fundamentais no controle e na prevenção da corrosão o conhecimento dos mecanismos e o uso da tabela de potencial padrão de redução para a previsão da ocorrência destas reações.

**Figura 23:** Tabela de potenciais padrões de redução

Semi-reação	$E^{\circ}$ (V)		
$\text{Li}^+(\text{aq}) + e^- \rightarrow \text{Li}(\text{s})$	-3,05	$\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-(\text{aq})$	+0,40
$\text{K}^+(\text{aq}) + e^- \rightarrow \text{K}(\text{s})$	-2,93	$\text{I}_2(\text{s}) + 2e^- \rightarrow 2\text{I}^-(\text{aq})$	+0,53
$\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Ba}(\text{s})$	-2,90	$\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$	+0,68
$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Ca}(\text{s})$	-2,87	$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + e^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	+0,77
$\text{Na}^+(\text{aq}) + e^- \rightarrow \text{Na}(\text{s})$	-2,71	$\text{Ag}^+(\text{aq}) + e^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$	+0,80
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Mg}(\text{s})$	-2,3	$\text{Hg}_2^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow 2\text{Hg}(\text{l})$	+0,85
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3e^- \rightarrow \text{Al}(\text{s})$	-1,66	$2\text{Hg}_2^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Hg}_2^{2+}(\text{aq})$	+0,92
$\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Mn}(\text{s})$	-1,18	$\text{Br}_2(\text{l}) + 2e^- \rightarrow 2\text{Br}^-(\text{aq})$	+1,07
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Zn}(\text{s})$	-0,76	$\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4e^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1,23
$\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3e^- \rightarrow \text{Cr}(\text{s})$	-0,74	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 14\text{H}^+(\text{aq}) + 6e^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 7\text{H}_2\text{O}$	+1,33
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Fe}(\text{s})$	-0,44	$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2e^- \rightarrow 2\text{Cl}^-(\text{aq})$	+1,36
$\text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Cd}(\text{s})$	-0,40	$\text{Au}^{3+}(\text{aq}) + 3e^- \rightarrow \text{Au}(\text{s})$	+1,50
$\text{Co}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Co}(\text{s})$	-0,28	$\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 8\text{H}^+(\text{aq}) + 5e^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,51
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Ni}(\text{s})$	-0,25	$\text{PbO}_2(\text{s}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,70
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Sn}(\text{s})$	-0,14	$\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1,77
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Pb}(\text{s})$	-0,13	$\text{Co}^{3+}(\text{aq}) + e^- \rightarrow \text{Co}^{2+}(\text{aq})$	+1,82
$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$	0,00	$\text{O}_3(\text{g}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+2,07
$\text{Sn}^{4+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$	+0,13	$\text{F}_2(\text{g}) + 2e^- \rightarrow 2\text{F}^-(\text{aq})$	+2,87
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + e^- \rightarrow \text{Cu}^+(\text{aq})$	+0,15		
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$	+0,34		

Fonte: Site Naciências - <http://naciencias.blogspot.com.br>

### **3. MAIORES CONHECIMENTOS SOBRE CORROSÃO**

Com o acontecimento da corrosão, existem diversos métodos para que haja a proteção contra ela. Um dos métodos bastante utilizados é o da pintura, pois a pintura dos metais forma uma película entre a superfície deles e o ambiente, evitando a formação de uma pilha eletroquímica entre a superfície do metal e o ambiente. Quanto mais próximo do litoral, maior será a possibilidade de existir uma pilha entre o metal e o ambiente, pois a umidade existente no ar possui água do mar, que por sua vez, possui íons servindo de ponte salina da pilha eletroquímica.

#### **3.1 Nova técnica para o combate da corrosão**

Novas técnicas estão sendo estudadas para combater a corrosão. Uma nova técnica para localizada em aço e outros metais poderá ajudar a indústria a evitar custos com manutenção. Em alguns casos, a técnica poderá mesmo ajudar a prevenir sérios problemas de segurança em plantas industriais e outras construções de grande porte. A pesquisa foi feita por engenheiros de materiais da Universidade Sheffield Hallam, na Inglaterra.

Esta nova técnica é bem diferente dos métodos tradicionais, pois é capaz de detectar a corrosão em um nível muito menor. Isto significa que a ação preventiva pode acontecer mais rapidamente, economizando tempo, dinheiro e possíveis vidas humanas.

A corrosão localizada pode afetar a integridade estrutural e a durabilidade de metais e ligas utilizadas em dutos, tanques e em diversos equipamentos metálicos. Embora a perda total de metal possa ser insignificante, 5% ou até menos do que isso, a corrosão localizada pode continuar perfurando o metal, o que pode acarretar na quebra ou na fratura do equipamento. Uma vez que os métodos tradicionais assumem que a corrosão ocorre uniformemente, verifica-se, historicamente, uma falta de técnicas para a detecção desse tipo de perda de metal.

Nos últimos anos, novas técnicas de escaneamento estão sendo desenvolvidas e estão sendo capazes de fornecer informações úteis sobre a corrosão localizada. A utilização dessas técnicas está crescendo em todo o mundo. O esforço dos pesquisadores ingleses visa desenvolver uma técnica desse tipo,

chamada "ScanningVibratingElectrodeTechnique" (SVET), ou Técnica de Varredura por Eletrodo Vibracional.

A SVET tem como função realizar a passagem de um eletrodo que vibra sobre a superfície de um material imerso em uma solução de teste e ao mesmo tempo realizar medições na atividade de corrosão que está ocorrendo na interface solução-metal. A nova técnica difere das outras baseadas em escaneamento porque ela mede a atividade em nível microscópico, o que permite a medição da taxa e da distribuição dos danos causados pela corrosão localizada. O uso de um eletrodo que vibra também oferece uma saída de sinal mais forte e resolução acima de outras técnicas de nova geração. (Fonte site inovações tecnológicas - 05.09.2003).

### **3.2 Tinta inteligente revela corrosão e fissuras em estruturas metálicas**

Pesquisadores dos Estados Unidos estão se preocupando bastante com o monitoramento de grandes estruturas metálicas. Já foram mostradas diversas propostas com soluções, baseadas nas redes de sensores, principalmente. Porém, há o surgimento de novas técnicas, cada vez mais aprimoradas, para se obter melhor êxito nos resultados.

#### **3.2.1 Monitoramento de estruturas metálicas**

Um grupo de engenheiros da Universidade de Michigan, nos Estados Unidos, desenvolveu uma espécie de tinta inteligente, feita com diversas camadas de polímeros, capaz de monitorar as estruturas sem a necessidade de um exame físico. A tinta inteligente pode monitorar fraturas, trincas e corrosão e também serve para pontes, edifícios e qualquer outra estrutura metálica.

"Esta é realmente uma tecnologia automatizada que não requer intervenção humana para funcionar", diz o coordenador da pesquisa, professor Jerome Lynch.

#### **3.2.2 Tinta inteligente**

A tinta é composta de diversas camadas de polímeros, por isto os pesquisadores estão chamando o novo material de "pele sensorial artificial para metais". O seu funcionamento consiste na dispersão de nanotubos de carbono ao

longo dessas camadas, e as propriedades elétricas delas transformam a tinta em um sensor multi-uso.

Cada camada da pele artificial consegue fazer a medição de algo diferente. Por exemplo: Uma faz o teste do pH da estrutura (há alteração quando existem corrosão), outra faz o registro de trincas e fissuras quebrando-se junto com o metal, da mesma forma que a tinta de uma casa não esconde a trinca que está acontecendo na parede.

### 3.2.3 Micro-fissuras e pontos de corrosão

Eletrodos são fixados nas bordas da tinta inteligente e são conectados a um microprocessador autônomo, que cria um mapa bidimensional de uma resistência elétrica nas camadas de polímeros e nanotubos, que é alterada pela corrosão e trincas. Isto acontece quando é realizada inspeção, pois há a aplicação de tensão elétrica sobre a tinta.

O mapa criado pelo microprocessador tem alta precisão, por isso permite a localização de micro-fissuras e pontos de corrosão microscópicos, que ainda não podem ser visualizados pelo olho humano. Por esta descoberta, a ação corretiva pode começar antes que haja qualquer risco para a estrutura.

É de suma importância a existência de materiais que conseguem repelir a água, para que haja menos casos de corrosão, por isto existem diversos grupos de pesquisa tentando desenvolver materiais hidrofóbicos, ou seja, materiais capazes de repelir inteiramente esta água.

Pesquisadores da Queens University, na Irlanda do Norte, conseguiram desenvolver uma técnica que dá a característica de repelência da água aos metais, gerando um maior número de indústrias em desenvolvimento.

Essas pesquisas ajudarão a criar equipamentos mais resistentes à corrosão e também, equipamentos para separação de líquidos, novos dispositivos biomédicos e dispositivos para redução da turbulência em aquedutos.

## 3.3 Planos preventivos da corrosão

A operação segura de muitas indústrias, usinas de geração de eletricidade, oleodutos, gasodutos e até mesmo de minúsculos equipamentos médicos

dependem da estabilidade do material utilizado na fabricação deles: as ligas metálicas.

Porém, há a existência do risco de corrosão nessas ligas metálicas, pois a corrosão não existe somente nos cantos escondidos dos grandes equipamentos, elas também podem existir em pequenos equipamentos e em pequenas ligas metálicas, independente da localização ou da aplicabilidade.

Os cientistas da Universidade do Arizona, nos Estados Unidos, fizeram uma pesquisa que deverá auxiliar uma melhor previsão desses riscos. Ou seja, as pessoas que fazem parte da manutenção das indústrias têm o conhecimento dos riscos de corrosão e podem agir de forma que evite a ação da corrosão, geralmente lenta, e coloque em risco as vidas dos trabalhadores, e também, as operações das fábricas, gasodutos e trens.

Segundo o pesquisador Karl Sieradzki: "Muitos problemas operacionais com usinas nucleares, locais de armazenamento de lixo nuclear, oleodutos ou com aeronaves mais antigas, são primariamente falhas induzidas pela corrosão".

### 3.3.1 Prevenção da corrosão galvânica

Uma forma comum de prevenir a corrosão galvânica é intercalar, entre duas ligas ou dois metais, um isolante elétrico. Porém, este isolante não deve ser poroso, pois pode absorver água e causar a formação da corrosão por frestas, ou seja, a utilização de juntas coladas auxilia bastante a prevenção da corrosão galvânica, impedindo o aparecimento de eletrólitos.

É conveniente a introdução de uma peça intermediária ou com um potencial intermediário que possa ser facilmente substituída. O uso de arruelas de zinco entre parafusos de aço conectando chapas de alumínio é um exemplo disto.

Outra possível solução é o uso de pintura, deve-se pintar os componentes mais nobres e menos nobres. Caso isso não seja possível, o ideal é pintar o membro mais nobre do par galvânico, que é o membro catódico, pois a pintura do menos nobre, que é o mais anódico, pode levar ao intenso ataque por pies nos poros do revestimento e agravar a situação.

### 3.3.2 Prevenção da corrosão por frestas

Uma forma comum de prevenir a corrosão por frestas é colocar as juntas de forma a propiciar linhas limpas e contínuas. É preferível o uso de juntas soldadas à parafusadas ou rebitadas.

Deve ser feito o lixamento de cantos vivos, soldas, respingos e a proteção adicional da tinta de fundo para evitar o desenvolvimento de frestas. As soldas devem ser bem feitas e com boa penetração a fim de que evite porosidades e consequentemente, o desenvolvimento de frestas.

### 3.4 Tecnologia anticorrosiva

Karl Sieradzki é um dos autores de um novo trabalho que procura criar métodos para estimar com maior precisão e rapidez os riscos da corrosão em certos tipos de ligas metálicas. Por mais que o trabalho seja fundamentalmente teórico, ele é essencial para o entendimento de como a corrosão age nessas ligas.

Houve o desenvolvimento de técnicas para predizer por quanto tempo e sob as quais condições essas ligas metálicas irão resistir à corrosão e o que aconteceria a elas quando se der o início da corrosão, e isso foi possível devido ao conhecimento do comportamento da corrosão.

Essas técnicas permitem a criação de um "prazo de validade" das ligas metálicas, que é um período além do qual elas deverão ser avaliadas com um maior cuidado ou, no caso de operações muito críticas, como em usinas nucleares, deverão ser simplesmente substituídas.

Na revista *NatureMaterials* foi publicado um artigo, no qual os pesquisadores descreveram os avanços no que tange ao entendimento dos processos que lidam com a corrosão em ligas de solução sólida e o processo de esfoliação ou separação química da liga, mais conhecido como dealloying.

Pesquisadores da Universidade da Califórnia, nos Estados Unidos, descobriram que diversos metais podem ser adequadamente protegidos com a utilização de uma bactéria.

A equipe do Dr. ErsaKus descobriu que, ao invés de ser um agente de corrosão, como a maioria das bactérias, a *Shewanellaoneidensis* MR-1 protege os

metais, além de dar um brilho de ótimo aspecto, o que chama bastante atenção do ser humano.

A MR-1 apresenta um comportamento inusitado, sendo capaz de incorporar metais em seu metabolismo, "inalando certos óxidos metálicos e compostos em uma forma, e exalando-os em outra," explica o Dr. Kus. Segundo o cientista: "Ela consegue se desenvolver em praticamente qualquer lugar e não causa doenças em humanos ou animais".

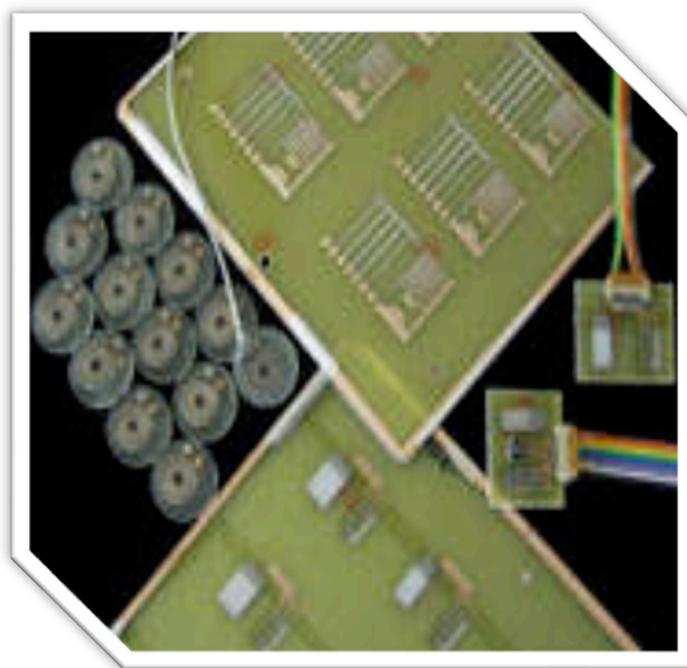
O experimento foi feita da seguinte forma: Foi pego pares de amostras de quatro metais (alumínio, aço, cobre e zinco), eles foram inseridos em recipientes de mesmas condições físico-químicas. Porém, um deles tinha a bactéria MR-1 e o outro era completamente estéril, ou seja, não possuía nenhum organismo vivo. O processo foi totalmente monitorado ao longo de uma semana, visualmente e pela medição de impedância das amostras (resistência à condução de corrente alternada), e sabendo-se que quanto maior a corrosão, maior a impedância.

Os resultados foram claros, as placas metálicas onde continham a bactéria estavam intactas, já as que estavam estéreis no início apresentaram marcas de corrosão bem notórias.

O alumínio e o cobre foram os metais que possuíram melhores resultados, em especial o cobre, no qual a amostra com bactérias obteve o mesmo resultado quando o metal foi recoberto por um filme plástico protetor.

### **3.5 A importância dos mini-sensores contra a corrosão**

A corrosão é um verdadeiro pesadelo para toda e qualquer indústria. Além de danificar os equipamentos utilizados e interromper os processos produtivos, ela normalmente se inicia nos cantos mais escondidos e impede que o problema seja solucionado de forma rápida. Desta forma, pesquisadores começaram a desenvolver micro-sensores para verificar este tipo de problema.

**Figura 24:** Mini-sensores

Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

### 3.5.1 Sensores anti-corrosão

Cientistas australianos desenvolveram minúsculos sensores que poderão colocar um fim ao problema da corrosão. Estes sensores conseguem acompanhar a aparência e a continuidade da corrosão, além de acompanhar, também, seu comportamento em relação às diferentes condições atmosféricas, incluindo temperatura, umidade, salinidade e direção do vento e da chuva.

Os sensores monitoram continuamente o ambiente onde foram colocados, por isso eles têm a capacidade de detectar precoces sinais de uma possível corrosão e com isso, ela não se alastra e não coloca as instalações em perigo por serem contornadas da melhor forma possível.

O cientista Tim Muster, do centro de pesquisas CSIRO afirmou: "Isso irá tornar as decisões de manutenção e inspeção mais fáceis e mais precisas".

### 3.5.2 Sensores inteligentes

Os pesquisadores, com a finalidade de automatizar este processo, criaram uma rede autônoma de sensores interligados por rede sem fios. Eles podem ser colocados em uma planta industrial, por exemplo, passando dados em tempo real para um programa de computador, que avisa quando uma manutenção é necessária.

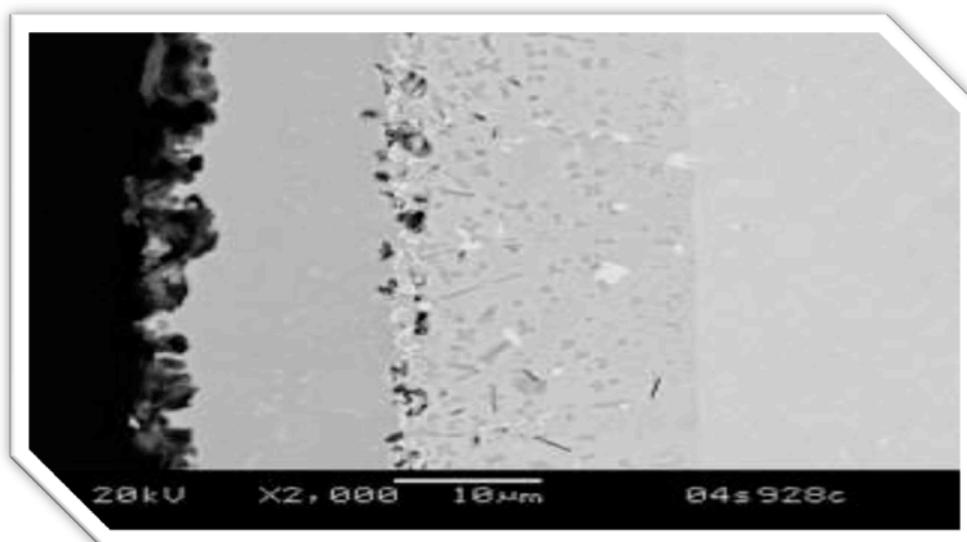
### 3.6 Revestimento protege aço e superligas metálicas contra corrosão

Pesquisadores do laboratório PNNL, nos Estados Unidos, desenvolveram um novo revestimento à base de cerâmica que pode ser aplicado sobre aço e superligas metálicas, protegendo contra corrosão, oxidação e outros processos que degradam materiais metálicos.

Esse revestimento pode ser bastante útil em ambientes corrosivos, nos quais os equipamentos estejam em contato com gases, líquidos e vapores. Os cientistas afirmam que este novo material pode ser industrializado em um custo muito baixo, por isso, estão procurando parceiros na indústria para colocá-lo no mercado.

Este revestimento protetor foi criado pelos pesquisadores em uma mistura de polímero pré-cerâmico com pós-metálicos à base de alumínio. Esta mistura se tornou uma pasta que pode ser aplicada com pintura, imersão ou spray, aderindo naturalmente ao aço e às ligas metálicas. Depois disto, a peça deve ser aquecida a altas temperaturas, por exemplo, entre 700 e 900° C, para ser protegida. Este calor converte a crua em uma camada de alumínio de reação u difusão, o que permeia o aço e protege a superfície dele. Por isso, a peça se torna muito mais resistente do que as camadas externas porque a camada de proteção se torna uma parte integrante da peça.

Na figura a seguir pode-se analisar, da esquerda para a direita, primeiramente a camada externa de óxido de alumínio (que passa a ser a superfície externa da peça), uma camada de FeAl, uma camada interna de Fe<sub>3</sub>Al e, finalmente, o aço original.

**Figura 25: Aço revestido**

Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

### 3.70 controle da corrosão em ligas metálicas

A corrosão ou ferrugem é um dos maiores inimigos dos equipamentos, máquinas e materiais metálicos. Estimativas afirmam que a corrosão em ligas importantes, como o aço inoxidável, é responsável por prejuízos equivalente a três por cento de toda a produção mundial por ano.

Apesar disso, os cientistas não têm completa compreensão a respeito deste problema, eles sabem o que acontece e quais são os resultados dela, porém não se sabe, exatamente, o porquê, nem como acontece. Isto acontece em outros campos da ciência também.

Por esse motivo, uma equipe de pesquisadores europeus, do Instituto Max Planck, na Alemanha, conseguiu, pela primeira vez, acompanhar o processo de corrosão em nível atômico, pois estava numa resolução na faixa dos picômetros. Um picômetro é um milésimo de um nanômetro ou de 10-12 metros.

Neste experimento, o que mais impressionou os cientistas é que o processo corrosivo cria uma camada cristalina protetora perfeita, ou seja, ele não é totalmente um processo destruidor. Utilizando uma fonte de radiação síncroton altamente brilhante, que funciona como uma sonda não-destrutiva de alta resolução, eles

conseguiram caracterizar com precisão esta camada, determinando sua estrutura cristalina e sua composição química.

### **3.8 Equipamento automatizado detecta corrosão e desgaste em peças**

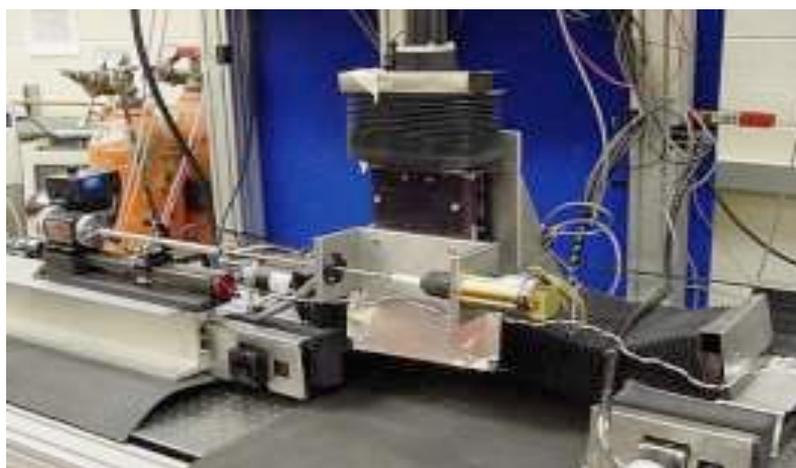
Engenheiros de um dos laboratórios do Departamento de Energia dos Estados Unidos desenvolveram um sistema novo, completamente automatizado, capaz de detectar corrosão e desgaste em peças, mesmo se os problemas estiverem localizados em pontos virtualmente inalcançáveis no interior do objeto.

Eles utilizaram a tecnologia ESD ("ElectroSparkDeposition"), na qual o equipamento aplica uma camada de cobertura (uma espécie de solda) de forma bastante controlada e sob baixa temperatura, sobre todos os pontos onde a corrosão tiver sido detectada.

Um sensor monitora continuamente a corrente aplicada durante o processo de reparo ou revestimento, indicando a pressão que está sendo exercida sobre a peça. Sendo totalmente automatizado, o programa que roda no computador do equipamento se encarrega de manter sempre a força de contato em seu nível ótimo, economizando material e maximizando a qualidade do trabalho.

Segue abaixo a figura do equipamento mencionado acima.

**Figura 26:** Equipamento automatizado



Fonte: Site Inovação Tecnológica - <http://www.inovacaotecnologica.com.br>

Devido às questões ambientais, indústrias que trabalham com revestimentos de cromo têm se deparado com aumento significativo de custos. A automação da

tecnologia ESD pode gerar uma redução significativa desses altos custos nos reparos de turbinas de aviões, sistemas hidráulicos e em peças automotivas. Além disso, o novo equipamento poderá viabilizar a utilização da técnica em peças que não se adaptam aos equipamentos manuais.

A tecnologia foi licenciada para a empresa AdvancedSurfacesandProcess Inc. para a utilização do mesmo nas indústrias.

## 4 PROTEÇÃO CATÓDICA

### 4.1 Definição de proteção catódica

A proteção catódica é um método de controle da corrosão em superfícies metálicas ou submersas que consiste na transformação da estrutura para proteger o catodo de uma célula eletroquímica ou eletrolítica. É empregado para resguardar estruturas enterradas ou submersas tais como dutos, tanques, pés-de-torre, navios e plataformas. Ela inibe o processo de corrosão em áreas onde haja falhas ou insuficiência no revestimento anticorrosivo. Por isto, trata-se de outro sistema de defesa contra a corrosão externa.

Existem dois tipos de proteção catódica para estruturas metálicas para a obtenção da proteção pela injeção de corrente na estrutura através do meio em que ela se encontra, são eles:

- a) proteção catódica galvânica: Também conhecida como proteção por anodos de sacrifício, nela há a instalação de um anodo galvânico paralelo à tubulação. Com a perda de elétrons da estrutura para o meio deve haver a ligação da estrutura metálica ao anodo de sacrifício. O direcionamento da corrente elétrica preserva a tubulação metálica e conseqüentemente, a corrosão; e
- b) Proteção catódica por corrente impressa: Nesta a estrutura metálica é ligada a um retificador de corrente elétrica. De acordo com a perda da eficiência do revestimento externo, há o aumento da intensidade da corrente no retificador.

#### 4.1.1 Proteção catódica galvânica

O sistema de proteção catódica galvânica ou por ânodo de sacrifício é aquele que utiliza uma força eletromotriz de natureza galvânica para imprimir a corrente necessária à proteção da estrutura considerada. Esta força eletromotriz é resultante da diferença do potencial natural do anodo e o potencial da estrutura a ser protegida. Este sistema depende das características do anodo, do material que compõe a estrutura a ser protegida e, de certa forma, do próprio eletrólito.

Como a diferença de potencial extraído desse sistema é relativamente pequena, ele é aplicado somente em meios em que a resistividade elétrica da ordem

é de no máximo, 6000ohm.cm. Este sistema é muito utilizado em instalações marítimas, pois a baixa resistividade da água do mar possibilita uma baixa resistência no circuito de proteção catódica, permitindo a injeção de uma corrente de maior intensidade no sistema.

Existem materiais que são tradicionalmente utilizados como ânodos galvânicos. São eles:

- a) ligas de alumínio;
- b) ligas de magnésio;
- c) ligas de zinco.

Outros materiais podem, em sistemas particulares, ser utilizados como anodos galvânicos. Como exemplo, o uso de chapas de aço carbono para proteção de peças de bronze, latão ou cobre, em serviço na água do mar.

Quando há a ligação do anodo com a estrutura e eles estão em contato simultâneo com o eletrólito, forma-se uma pilha na qual a corrente circulante resulta da dissolução eletroquímica do anodo.

Analisando isso, a conclusão é de que o ânodo galvânico representa certa quantidade de energia acumulada, que será liberada aos poucos, proporcionando uma corrente elétrica que exercerá uma ação protetora sobre a superfície da estrutura, ou seja, ao catodo. Esta circulação no sistema dá origem a um processo de polarização, fazendo com que os potenciais do anodo e do catodo sejam deslocados em sentidos convergentes. Assim, o anodo sofrerá uma polarização anódica, que deve ser bem pequena, e a estrutura (catodo) sofrerá uma grande polarização catódica, de forma a atingir o potencial de imunidade ou de estabilidade termodinâmica do metal ou liga no meio considerado.

#### 4.1.2 Proteção catódica por corrente impressa

O sistema de proteção catódica por corrente impressa utiliza uma força eletromotriz, proveniente de uma fonte de corrente contínua, para imprimir a corrente necessária à proteção da estrutura considerada. Esta força eletromotriz pode vir de baterias solares, baterias convencionais, conjuntos motor-gerador, termo-geradores ou retificadores de corrente. Os retificadores constituem a fonte mais utilizada

normalmente e é através deles que é retificada uma corrente alternada, obtendo-se uma corrente contínua que é injetada no circuito de proteção.

Já que a diferença da potência de saída da fonte pode ser estipulada em valores baixos ou elevados, a proteção catódica por corrente impressa aplica-se a estruturas situadas em eletrólitos de baixa, média e alta resistividade. Ela, também, é aplicada onde são exigidas maiores correntes, ou seja, em estruturas de média para grande porte. Não excetuando o seu uso em estruturas pequenas, caso seja necessário.

Os equipamentos e materiais comumente empregados nos sistemas por corrente impressa são:

- a) os retificadores: que podem ser de silício ou selênio;
- b) refrigeradores a ar ou a óleo, com alimentação monofásica ou trifásica.

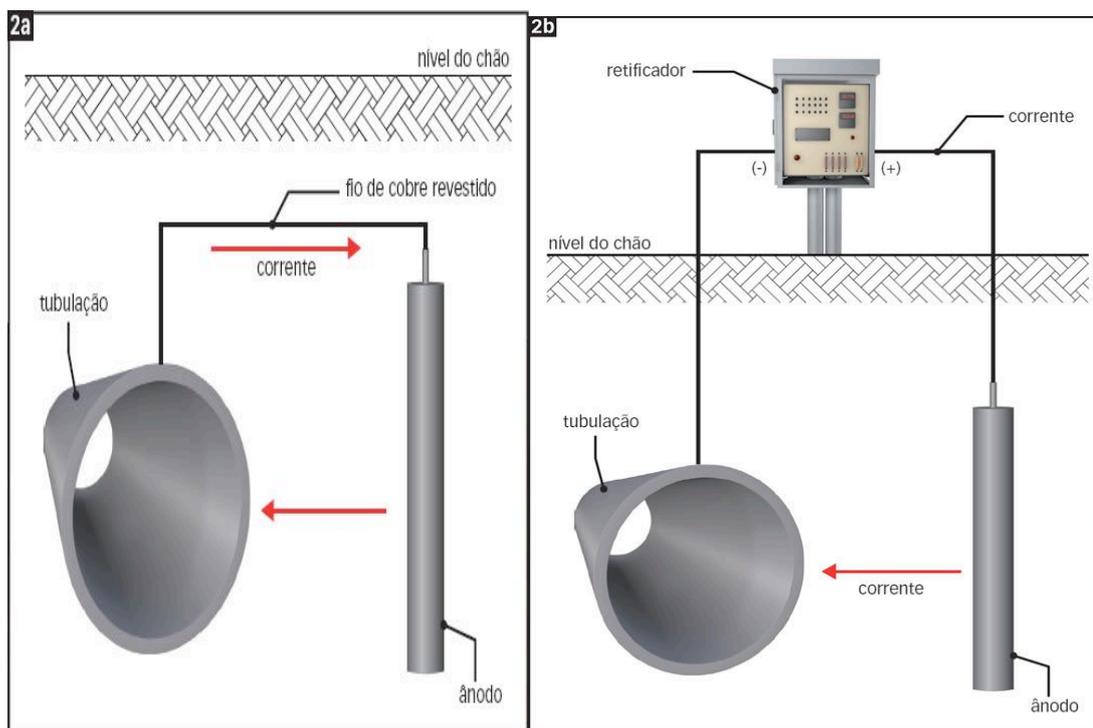
Porém, existem alternativas caso não utilize um desses materiais. Como alternativas aos retificadores, podem ser usadas baterias solares, termo geradores, baterias convencionais, empregada onde não haja energia elétrica em corrente alternada. Esses geradores, em geral, são de baixa potência, sendo, portanto restritos a locais de pouca exigência de corrente.

Os anodos mais empregados são os de grafite, ferro-silício, ferro-silício-cromo, chumbo-antimônio-prata, titânio platinizado, nióbio platinizado e magnetita. Os anodos de grafite, ferro-silício e magnetita são geralmente usados em solos e os demais usados em água do mar. Os cabos para interligação dos anodos e ligação na estrutura devem ser cabos de cobre com capacidade de condução adequada ao sistema e com isolamento de boa qualidade, em geral de polietileno de alta densidade e alto peso molecular.

#### **4.2 Projeto e instalação da proteção catódica**

O posicionamento e o dimensionamento dos elementos do sistema dependem de fatores como a geometria das tubulações e o meio onde os materiais são instalados. Pode-se usar simulações em computador aliadas a experimentos em laboratório e em campo para avaliar os parâmetros do projeto. Também é preciso ter cuidado para que a corrente de proteção não atue como corrente de corrosão de outras estruturas subterrâneas adjacentes. Os sistemas de proteção podem ser executados antes ou depois do assentamento das tubulações.

**Figura 27:** Posicionamento dos elementos utilizados



Fonte: Site Infraestrutura Urbana - <http://infraestruturaurbana.pini.com.br>

A aplicação de proteção catódica se contrasta com os custos devidos à corrosão, algo que é de grande preocupação dos técnicos dos diversos seguimentos industriais, pois há perda de materiais, custos de manutenção, problemas de poluição e riscos de acidentes por possíveis falhas nos equipamentos e estruturas. Nos casos em que a proteção catódica é aplicada constitui a uma fração muito pequena daqueles custos, e também em uma expressiva segurança operacional, pela certeza de que não haverá possibilidade de falha do equipamento por corrosão, desde que o sistema seja eficazmente operado e mantido.

Dependendo do seu dimensionamento, complexidade e sofisticação, o custo da proteção catódica, em termos de investimento, quando é projetada corretamente no sistema, varia de 0,5 a 5% do investimento global.

Todo o material metálico enterrado ou submerso, se não estiver com a devida proteção, interage com o meio no qual está instalado, sendo atacado por ele, ou seja, sofre um processo de deterioração (corrosão cuja velocidade depende de uma série de fatores, incluindo as características do material e do meio).

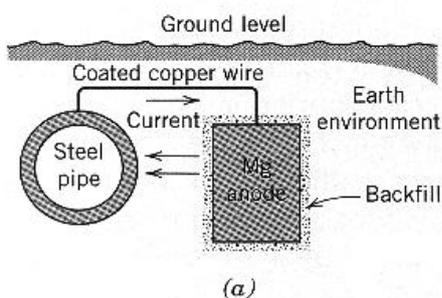
O controle da corrosão, através da proteção catódica, é aplicado a qualquer estrutura metálica enterrada ou submersa, portanto não é aplicado às superfícies

aéreas ou completamente isoladas do meio eletrolítico. Entretanto, uma estrutura aérea, por exemplo, uma tubulação, na qual circule eletrólito, pode ter sua superfície interna protegida.

O sistema de proteção catódica tem algumas aplicações comuns, são elas:

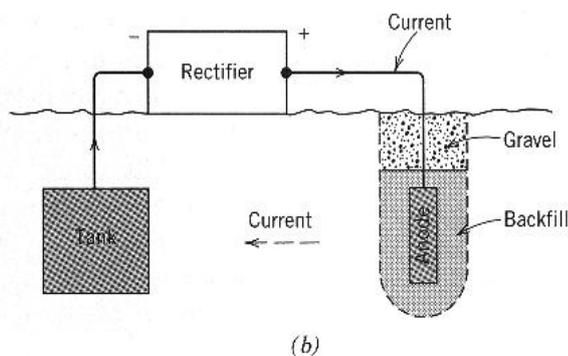
- tanques de armazenamento: superfícies externas do fundo e internas do costado e fundo;
- estruturas “offshore”: plataformas, tubulações, bóias e outras instalações portuárias;
- tubulações enterradas ou submersas: superfícies externas e internas conduzindo eletrólitos, exemplo: adutoras, gasodutos, oleodutos, mineriodutos, linhas de crus e derivados;
- estacas de fundações e de portos e ancoradouros.

**Figura 28:** Tubulação subterrânea com a utilização de anodos de sacrifício (de magnésio)



Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

**Figura 29:** Tanque subterrâneo com o uso de corrente impressa



Fonte: Site Ebah - <http://www.ebah.com.br>

### **4.3 Aplicações práticas de proteção catódica**

Os condensadores e resfriadores geralmente são construídos em aço carbono, com tubos de cobre ou de suas ligas. É normal ver carretel, tampo e espelho em aço carbono e tubos em latão de alumínio. Juntando estes materiais com a água do mar há a formação de um par galvânico dando origem a um processo de corrosão galvânica, na qual o aço é atingido.

Dessa forma, a proteção catódica é indispensável para que haja a erradicação desta ação corrosiva. Para isto, usam-se anodos de liga de zinco ou então anodos de liga de alumínio.

Os cabos de transmissão de energia e cabos de telecomunicações enterrados estão sujeitos a problemas de corrosão no revestimento metálico de chumbo, embora muitas vezes esta chapa de chumbo seja protegida por um revestimento adicional de PVC ou de polietileno.

### **4.4 Processo de revestimento de estanho por eletrodeposição**

O estanho é um metal que, quando exposto ao ar atmosférico e em contato com soluções aquosas de cloreto de sódio e ácidos fracos, possui grande resistência à corrosão. Ele potencial de redução padrão maior que o ferro e não apresentar toxidade, por isto tem larga aplicação na indústria alimentícia como revestimento para proteção anticorrosiva de latas que são confeccionadas em chapas de Fe – C.

O revestimento de estanho por eletrodeposição consiste em transferir corrente contínua através de uma célula eletrolítica contendo um eletrólito constituído por uma solução aquosa de sulfato de estanho e ácido sulfúrico. Como anodo, ele utiliza placas de estanho puro e como catodo, a chapa de aço que se deseja revestir. No anodo haverá oxidação da placa de estanho com liberação de íons  $\text{Sn}^{2+}$  para o eletrólito. Já na placa de aço ocorrerá redução dos íons  $\text{Sn}^{2+}$  a  $\text{Sn}^0$  formando assim, uma camada de estanho sobre a superfície da mesma.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste trabalho podem-se observar diversas descobertas bastante importantes para pessoas que trabalham ligados a materiais corrosivos, como os aspectos de custos da tecnologia de manutenção, onde muitas empresas, até hoje, erram no exercício correto desta, pois elas optam, apenas, por manutenções corretivas e não preditivas, algo bastante decorrente atualmente, porém, com a manutenção preditiva os custos seriam bastante diminuídos. Estas indústrias e empresas pensam, ainda, que existe um maior custo na manutenção preditiva, mas na realidade, é um investimento futuro visível.

Muitos avanços tecnológicos foram descobertos e observados, e eles visam aumentar o tempo de vida útil dos materiais metálicos diminuindo a corrosão e efeitos da corrosão neles. Com isto, torna-se mais fácil e viável a detecção, o combate e as soluções dos problemas originados dos processos corrosivos.

Devido a esses fatos e tudo que fora mencionado nesta monografia, é de suma importância o conhecimento e a consciência de novas informações e descobertas com a finalidade de que haja uma melhor avaliação, otimização e aplicabilidade para a diminuição dos gastos e custos da corrosão e para um futuro com maiores investimentos e lucros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO. Disponível em: <[www.abraco.com.br](http://www.abraco.com.br)>. Acesso em: mai.2016.

BRASIL. Ministério da Educação – MEC, Secretaria de Educação Média e Tecnologia Semtec. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília: MEC/Semtec, 1999.

BRASIL. Semtec. PCN+ Ensino Médio: orientações complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

ELETROQUÍMICA. Disponível em: <[www.quiprocura.net/eletroquimica](http://www.quiprocura.net/eletroquimica)>. Acesso em: mai.2016.

FOLHA ONLINE. Disponível em: <[www.folha.com.br](http://www.folha.com.br)>. Acesso em: mai.2016.

GENTIL, V. Corrosão. 3ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996.

INOVAÇÕES tecnológica. Disponível em: <[www.inovaçãotecnológicas.com.br](http://www.inovaçãotecnológicas.com.br)>. Acesso em: mai.2016.

Proteção Catódica: Técnica de Combate à Corrosão ALDO CORDEIRO DUTRA; LAERCE DE PAULA NUNES, 4ª edição Revisada e Ampliada. Editora: Interciência.

QUADROS, A.L. A Química na Formação do Técnico potencialidades inexploradas. Ijuí, col. UNIJUÍ, 2000.

SCHNETZLER, R.P.; ARAGÃO, R.M.R. Importância, Sentido e Contribuições de Pesquisas para o Ensino Médio de Química. Química Nova na Escola, n. 1, p. 27-31, 1994.

SOLANGE, B.B.R. Química na Siderurgia. Porto Alegre: Área de Educação em Química do Instituto de Química da UFRGS, 1997.

VERNO, K; CESAR, V.M.L. e ALEXANDRE, R.S. Eletroquímica para o Ensino Médio. Porto Alegre: Área de Educação em Química do Instituto de Química da UFRGS, 1997.

VYGOTSKI, L.S. *Pensamento e Linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 1993.

WILDSON, L.P.S.; GERSON, S.M.; ROSELI, T, M.; SILAND, M.F.D.; GENTIL, S.S.; SANDRA, M.O.S. e SAIVIA, B.S. Química e Sociedade. 1ª ed. São Paulo: Nova Geração, 2005.