



16 a 20 de setembro
de 2013
Belo Horizonte

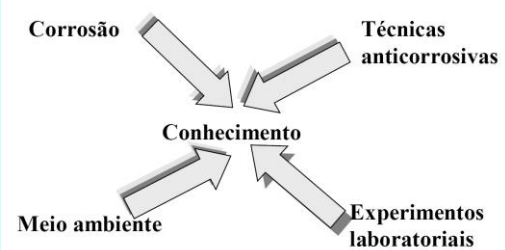


Corrosão - Custo x Prevenção

JORGE MACEDO, DSc.
Professor titular – FATEC-JF
Faculdade SENAI de Tecnologia



- A discussão que envolve **Corrosão** procura associar e integrar o conhecimento da corrosão e das técnicas anticorrosivas com o Meio Ambiente, no sentido de desenvolver uma abordagem técnico-científica que venha contemplar as idéias geradas e as experiências adquiridas no ensino e na pesquisa destas técnicas.



MAINIER, LETA, 2001.

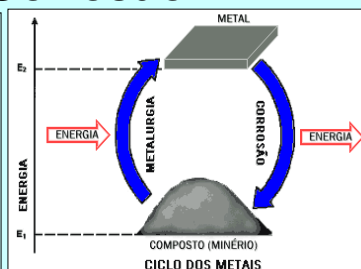
- Os processos corrosivos estão presentes em todos os locais e a todo instante da nossa vida diária.
- Os problemas de corrosão são freqüentes e ocorrem nas mais variadas atividades, como, por exemplo, nas indústrias:
 - química, petrolífera, petroquímica, naval, de construção civil, nos meios de transporte aéreo, ferroviário, marítimo, em sistemas de telecomunicações, na odontologia (restaurações metálicas, aparelhos de prótese), na medicina (uso de implantes cirúrgicos na ortopedia) e na preservação de monumentos históricos, deterioração de automóveis, eletrodomésticos, estruturas metálicas, instalações industriais, etc.
- Com o avanço tecnológico, mundialmente alcançado, o custo da corrosão se eleva tornando-se um fator de grande importância.

Fonte: (SILVA, 2009)

Corrosão

Definição
A corrosão é a deterioração ou perda de material devido a um ataque químico ou eletroquímico do meio ambiente associada ou não a uma ação física. Para ocorrer corrosão deverá ocorrer tanto alterações químicas como eletrônicas.

Deve-se entender os mecanismos de corrosão, a fim de minimizar seus efeitos.

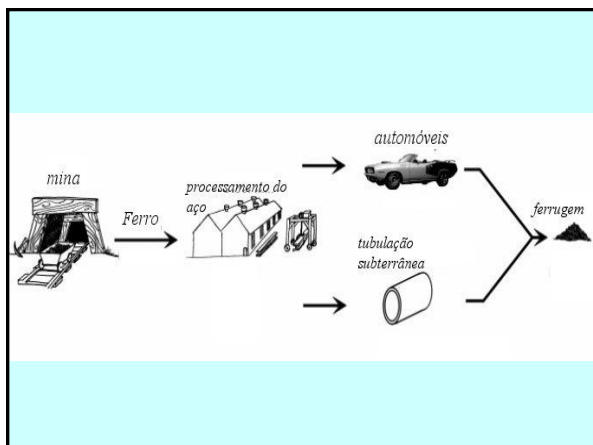
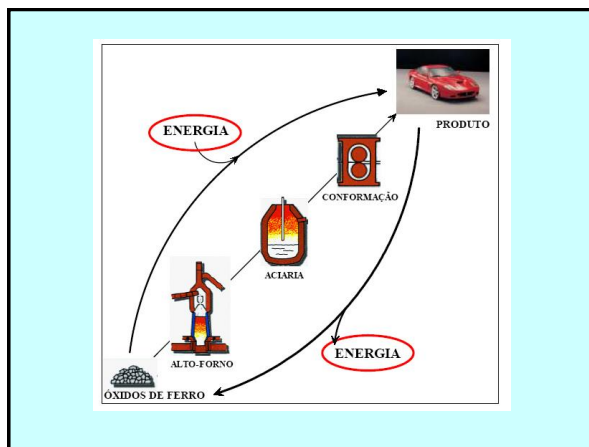


Corrosão: É a tendência natural dos metais retornarem ao seu estado mais estável, ou seja, na forma de óxidos e sais.

Corrosão

→ É o ataque destrutivo sofrido por um material em consequência de ação química ou eletroquímica do meio, podendo estar ou não associado a esforços mecânicos. A corrosão pode incidir sobre diversos tipos de materiais, sejam metálicos como os aços ou as ligas de cobre, por exemplo, ou não metálicos, como plásticos, cerâmicas ou concreto.

→ o termo corrosão refere-se à destruição ou deterioração de uma liga metálica, sob a ação química ou físico-química, na interface metal-meio, associada ou não a fatores mecânicos. Este fenômeno resulta na passagem de componentes da liga para um estado de combinação com as substâncias agressivas do meio.



REVISÃO: Corrosão

- ✓ É a degradação de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente.
- ✓ A degradação pode ser associada ou não a esforços mecânicos/físicos (tensões, cavitações).
- ✓ Geralmente ocorre em materiais metálicos mas pode ocorrer em outros tipos de materiais.

→ Processo inverso ao da Metalurgia Extrativa, o metal retorna ao seu estado original.



OBS: Cavitação: queda repentina na pressão.

Corrosão em materiais não metálicos

- Deterioração de cimento Portland por sulfato;
- Perda de elasticidade da borracha pela oxidação por ozônio;
- Perda de resistência da madeira pela exposição à soluções ácidas ou sais ácidos (hidrólise da celulose).



Deterioração de cimento Portland

Segunda-feira, 29 de abril de 2013

A URINA HUMANA DESTRÓI VIADUTOS EM SALVADOR TAMBÉM !!!

"A Prefeitura de Salvador (BA) apesar do pouco que faz, está gastando cerca de R\$ 500 mil para recuperar um viaduto cujas 14 pilastras foram desgastadas pela acidez de urina humana.

O superintendente de Conservação e Obras Públicas da capital baiana, Luciano Valladares, diz que todas as pilastras do viaduto Luiz Cabral, na região central da cidade, sofreram corrosão por causa do hábito dos frequentadores do entorno de fazer xixi nelas. Segundo informações do superintendente, a urina foi capaz de provocar a dilatação da parte metálica das pilastras, causando a gradual corrosão do concreto."



Corrosão em postes e viadutos em Salvador pela ação da amônia da urina



Importância da Corrosão

→ A corrosão é um **processo espontâneo** que diminui a durabilidade e o desempenho dos materiais.

- A corrosão provoca:
 - desgaste
 - variações na composição química
 - modificações estruturais



Mudança nas propriedades dos materiais



- O profissional deve:
 - Saber evitar a corrosão e
 - Proteger adequadamente os materiais

O estudo da corrosão envolve conhecimento de vários **campos da ciência**, dentre os quais podem ser destacados:

- Química;
- Eletroquímica;
- Metalurgia;
- Termodinâmica;
- Físico-Química;
- Cinética Química;
- Economia.

Melhore seu desempenho profissional aprendendo novas técnicas

**RESISTÊNCIA À CORROÇÃO
TEORIA & PRÁTICA**

De 12 a 16 de agosto de 2013
Das 08h30min às 17h30min
Carga Horária: 40 horas
Rio de Janeiro / RJ

Seja o primeiro de seus amigos a curtir

ASTD

Programação 2013

Local: Rio de Janeiro - RJ

Carga Horária: **40 horas**

Horário: Das 08h30min às 17h30min

Objetivo do Curso:
Ao término do curso, os participantes estarão perfeitamente capacitados a atuarem com segurança e desempenho nos diversos segmentos da área de corrosão.

Público Alvo:
Engenheiros e técnicos das áreas de projeto, operação e manutenção de empreendimentos industriais.

Melhore seu desempenho profissional aprendendo novas técnicas

**RESISTÊNCIA À CORROÇÃO
TEORIA & PRÁTICA**

De 12 a 16 de agosto de 2013
Das 08h30min às 17h30min
Carga Horária: 40 horas
Rio de Janeiro / RJ

Seja o primeiro de seus amigos a curtir

ASTD

Programação 2013

Investimento: **R\$6.980,00**

R\$ 6.980,00 - por participante, incluindo neste valor todo o material didático, amoças e corantes-brutas durante o evento. Para condições especiais de pagamento consulte o [site](#).

Para reservar sua vaga, basta preencher os dados abaixo e enviar para a nossa central:

Reserve sua vaga

Empresa:

Endereço:

Município:

Estado: Cep:

Responsável:

E-mail:

Telefone:

Nome dos Participantes:

Comentários:

Enviar Limpar

Importância: Perdas/Custos

→ Custos:

- **1949** – EUA: Conferência Científica sobre a Conservação e Utilização das Reservas Minerais (NY) – estimativa de US\$ 5,5 bilhões/ano
- **1965** – EUA: US\$ 10 bilhões/ano
- **1975** – EUA: missão do National Bureau of Standarts com o laboratório do Battelle Columbus estimaram US\$ 70 bilhões/ano (4,2 % do PIB).
- **1982** – EUA: Departamento do Comércio dos EUA estimou US\$ 126 bilhões/ano.
- **1995** – EUA: US\$ 300 bilhões/ano.

Custo da corrosão

PORTELLA, K.F.; GARCIA, C.M.; VERGÉS, G.R.; JOUKOSKI, A.; FREIRE, K.R.R.; CORRÊA, A.P. Desempenho físico-químico de metais e estruturas de concreto de redes de distribuição de energia: Estudo de caso na região de Manaus. Quím. Nova, vol.29, nº 4, 724-734, 2006.

→ As perdas financeiras totais ocasionadas pelos processos de degradação e corrosão das estruturas metálicas e de concreto são, em geral, muito elevadas e **variam de 3 a 4% do PIB**.

→ Estudo encomendado pelo Congresso dos Estados Unidos, realizado entre 1999 a 2001 com o título "*Corrosion Costs and Preventive Strategies in the USA*" elaborado pela CC Technologies Laboratories Inc. com o apoio da FHWA (Federal Highway Administration) e NACE International (*The Corrosion Society*), estimou que o custo total anual (direto e indireto) da corrosão que alcança **3,14% do PIB**, em 1998 o PIB dos USA foi de US8,79 trilhões, o custo da corrosão na época alcançou **US\$ 276 bilhões**.

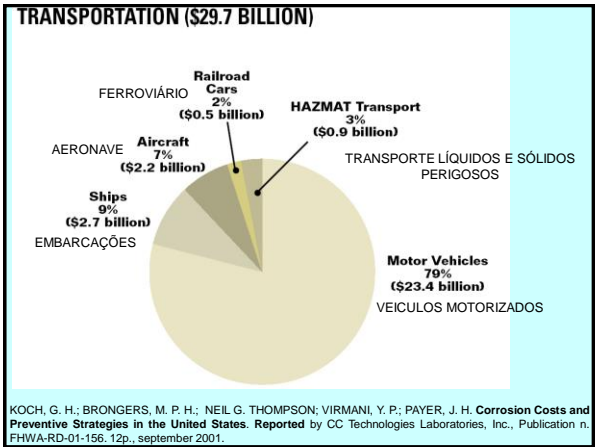
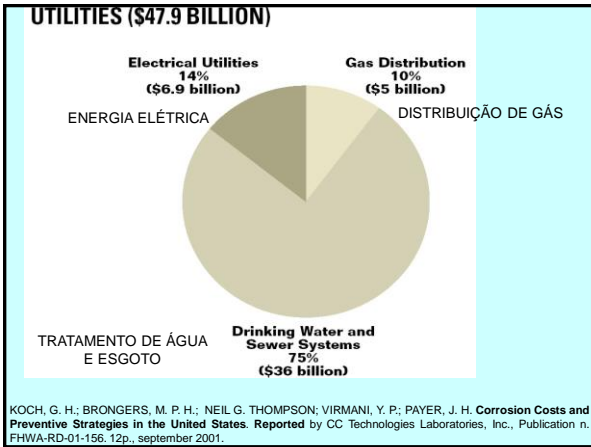
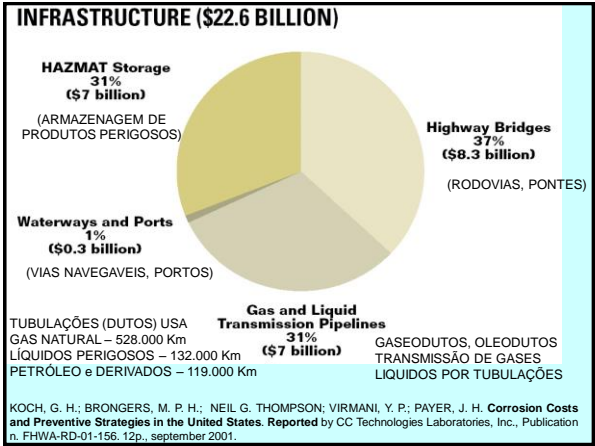
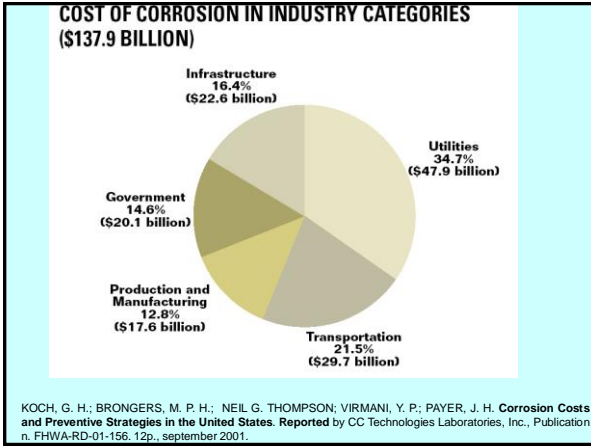
→ No Brasil o custo alcança 3,5% PIB. Apesar desse valor, não se tem motivado amplo desenvolvimento da pesquisa neste campo da Química.

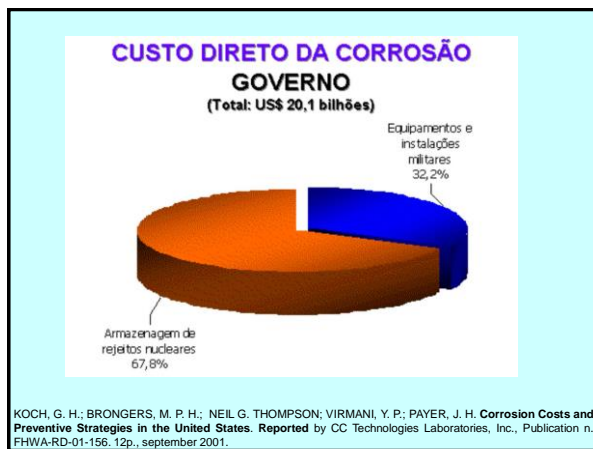
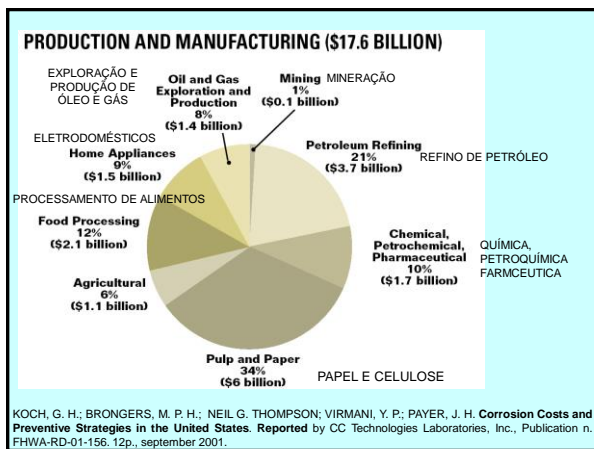
O PIB do Brasil no ano de 2010, em valores correntes, foi de R\$3,5 trilhões (US2,02 trilhões), logo 3,5%, corresponde a **R\$0,122 Trilhões (US\$0,070 trilhões) ou R\$122 bilhões (US\$70 bilhões)** de prejuízo anual com a corrosão.

HOJE representa um valor de **80,5 bilhões de dólares** por ano (GENTIL, 2011)

→ **Produto Interno Bruto (PIB) USA:** US\$14,72 trilhões (2010)

Prejuízo com corrosão 3,14% = US\$0,462 trilhões = US\$452.000.000.000 (**US\$452 bilhões**).





→ O Pentágono gasta cerca de 22,9 bilhões dólares por ano de combate à ferrugem, quase o dobro do custo de uma nova aeronave naval e tanto quanto um F-22 Raptor da Força Aérea. Por este motivo a Marinha dos EUA promoveu entre os dias 6 e 9 de junho de 2011 uma conferência para reunir especialistas na área de corrosão e discutir as mais recentes estratégias de prevenção.

Corrosão – o inimigo oculto
 4 de junho de 2011, em *Noticiário Internacional*, por *Guilherme Poggio*
<http://www.naval.com.br/blog/2011/06/04/corrosao-o-inimigo-oculto/>

Copyright © 2003 Hoescht Corrosion Lab. All rights reserved.





Importância da Corrosão

→ Por que se preocupar com a corrosão?

- Custo;
- Segurança;
- Conservação de recursos

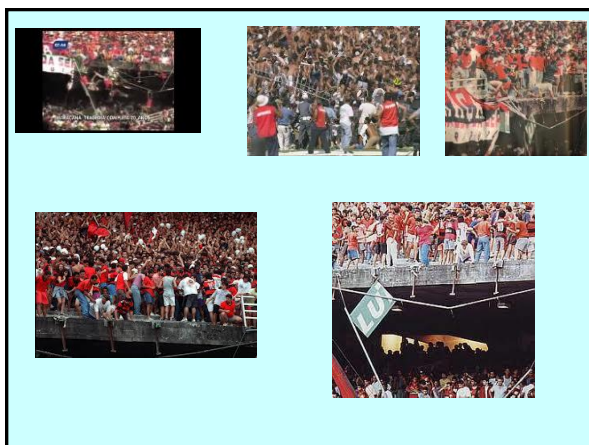
As reservas de metais e a energia disponível em nosso planeta são limitadas



Se os prejuízos ficassem só na área financeira, até que seria melhor tolerado, mas há quem se lembre do que aconteceu durante a final do Campeonato Brasileiro de 1992 no Maracanã: A grade da arquibancada cedeu, muitas pessoas caíram e se feriram gravemente (inclusive as que estavam embaixo) e três pessoas morreram. Um laudo sentenciou: **Corrosão**.

Grade cede e 82 caem da arquibancada

Pelo menos 82 pessoas ficaram feridas – três em estado grave, com transtornos cerebrais – ao caírem de uma altura de 7,5 metros sobre as cadeiras azuis do Maracanã. A grade de proteção cedeu à pressão da torcida do Flamengo. Foram três explosões e cinco profundos foram os ferimentos mais comuns, e o socorro saiu de um maridão envolvendo PMs, bombeiros e socorristas dos dois clubes. (O Dia Esportivo, página 4)



"Gasolina vaza e assusta moradores"

Um vazamento de gasolina no subsolo de dois prédios na avenida Cidade Jardim, Jardim Europa (zona oeste de SP) causou muita confusão no bairro ontem à tarde. Cerca de 300 funcionários da agência do Banco Itaii foram obrigados a sair do prédio. Muitas pessoas ficaram apavoradas com o risco da explosão. O posto é tido como o principal suspeito da origem do vazamento, pela inclinação da rua e proximidades do prédio ". (Folha de S. Paulo, 27/09/96, p.3-5)".

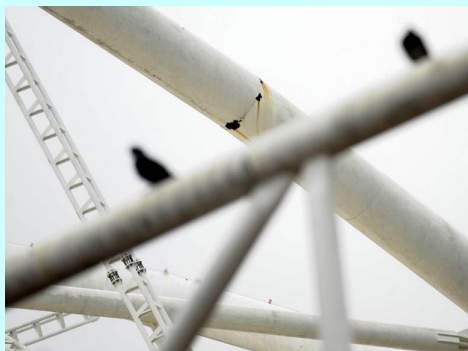
Explosão no subsolo do Itaii deixou 2 feridos

Cetesb detecta gasolina sob calçada de banco na zona oeste. Técnicos da Cetesb (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) fizeram perfurações ontem na calçada em frente ao prédio do Itaii na avenida Cidade Jardim (zona oeste) e detectaram a presença de combustível, provavelmente gasolina, em três pontos. O combustível foi detectado a cerca de três metros e meio de profundidade, no lençol subterrâneo de água que passa pelo local. Na última quinta-feira, foi encontrado combustível nos tanques de drenagem que ficam no subsolo dos prédios do Itaii e da agência de publicidade DPZ. Cerca de 300 litros do produto foram bombeados. No último sábado, uma explosão no subsolo do Itaii acabou deixando duas pessoas feridas. Os prédios foram interditados (Folha de S. Paulo, 02/10/96, p.3-6).

"Vazamento provoca interdição do posto"

A Agência Nacional de Petróleo (ANP) e a Defesa Civil do Município interditaram, ontem, por tempo indeterminado, o Posto Indianópolis, na Rua São Francisco Xavier 127, na Tijuca. Quinta-feira, moradores do prédio número 132, localizado em frente, começaram a sentir forte cheiro de gasolina e chamaram os bombeiros. Sob a garagem, existe um lençol de água, que acabou sendo contaminado pela gasolina ".(O Dia, 17/04/1999, p.4)".





Outros Exemplos

1967 → Queda da ponte Silver Bridge sobre rio Ohio devido a corrosão sob tensão → 46 mortes

1987 → Na Suíça ocorreu a queda da cobertura de uma piscina térmica devido à corrosão do aço pela produção de HCl através do tratamento da água com Cloro → falha de projeto → 12 mortes

1986 → No Minnesota (EUA) a corrosão de uma tubulação de gasolina provocou incêndio → 2 mortes

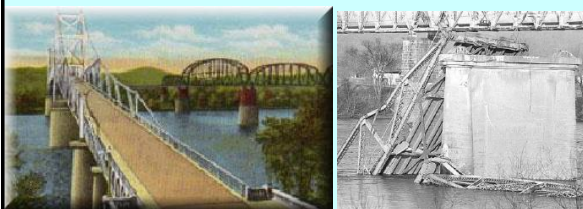
2009 → Brasil (Salvador) – corrosão de postes de iluminação e de pilstras de viadutos pela ação da amônia de urina humana, prejudicando a segurança da população e gerando um custo de recuperação próximo dos R\$ 500 mil.

• Segundo GENTIL (1994), o processo corrosivo tem acarretado no cotidiano uma série de problemas na:

→ construção civil, nas explosões de caldeiras, nos rompimentos de adutoras de água, nos derramamentos de petróleo, provocados por furos em tanques e oleodutos.

→ Nas instalações de refino de petróleo e nas petroquímicas, onde cerca de 50% das falhas de materiais estão creditadas à corrosão.

CORROSÃO



ANTES

DEPOIS

15 DE DEZEMBRO DE 1967 às 17 hs.

Point Pleasant, é um distrito localizado no estado americano de Nova Jérsei, ligava a Kanauga em Ohio através da ponte sobre o Rio Ohio.



TIPOS DE CORROSÃO

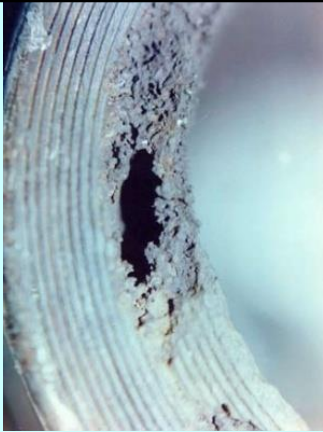


Corrosão Uniforme em Tubo Enterrado

Corrosão puntiforme em caldeira flamotubular



Corrosão por frestas



Corrosão por Erosão



Corrosão por picadas (alveolar)



Corrosão Alveolar Generalizada



Corrosão Localizada em Feixe de Permutador de Calor



Corrosão por amônia



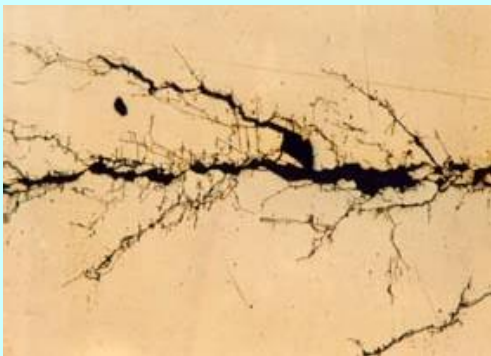
Corrosão por fadiga numa junta de expansão



Corrosão por fresta em Aço Inoxidável



Corrosão por par galvânico - Espelho de Permutador de Calor



Corrosão sob tensão

Trinca em tubo de grelha de caldeira causado pela presença de Depósitos no lado interno que impediu a sua refrigeração.



Obstrução na parede aquatubular na fornalha



Tubo de 3" de uma caldeira que sofreu ataque cáustico, pressão de operação: 150 Kg/cm².



Ruptura em um tubo de caldeira (pressão de operação: 136 Kg/ cm²) devido A fragilização por hidrogênio.



Tubulação de caldeira livre de corrosão e incrustações.



Corrosão induzida por cloretos





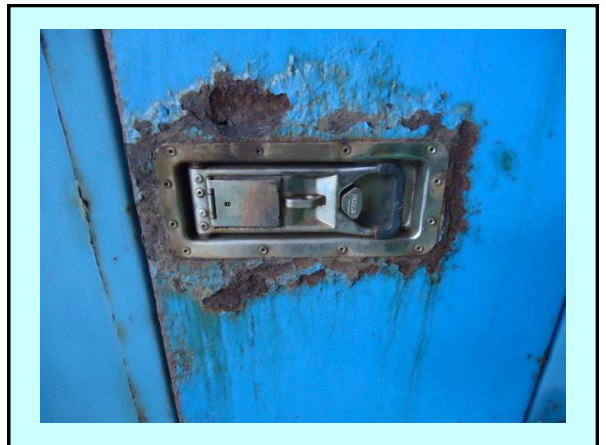
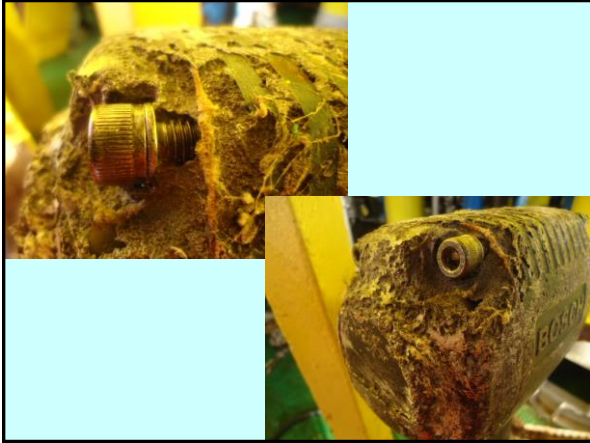
• **CORROSÃO EM PLATAFORMAS DE EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO**



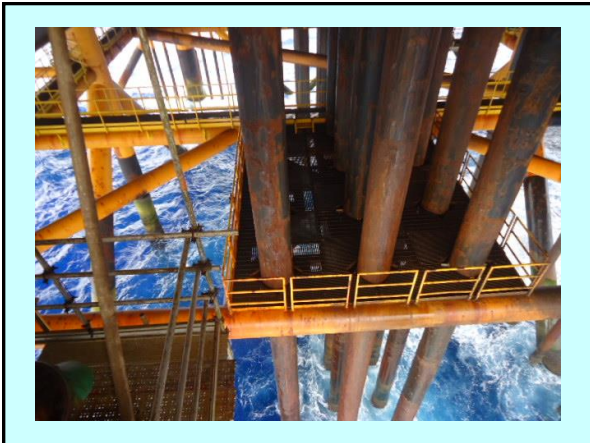


















QUÍMICA APLICADA – CORROSÃO
LIVRO AUTÓGRAFO
 DA FERRAMENTA CONTRATUAL
 SIMONE MARIA ALBERTO
 SUZANA REICHENBERG ZERBIVY

Equipe Ponteira
 Revisão: Alencar
 1700 Bopas, Bopas, Bopas, Bopas, Bopas, Bopas, Bopas, Bopas, Bopas, Bopas

CUBITIBA
 2002

- EFEITO DO DISTANCIAMENTO EM RELAÇÃO AO MAR NA AGRESSIVIDADE POR CLORETOS
- MEIRA, PADARATZ, 2002
- 44º Congresso Brasileiro do Concreto, 2002, Belo Horizonte

MEIRA, PADARATZ (2002) RESSALTARAM QUE A **TAXA DE DEPOSIÇÃO DE CLORETOS, ORIUNDOS DO AEROSOL MARINHO, APÓS OS DUZENTOS METROS INICIAIS, É MENOS ACENTUADA, ATINGINDO VALORES MÍNIMOS DE CONCENTRAÇÃO DE CLORETOS DEPOIS DO PRIMEIRO QUILOMETRO DE DISTÂNCIA EM RELAÇÃO AO MAR.**



**BALANÇAS
ELETRÔNICAS
UTILIZADAS NA
ORLA MARÍTIMA**



**TEMPO DE DURABILIDADE DE UMA BALANÇA
ELETRÔNICA NA ORLA – BEIRA MAR???**

DE 3 A 6 MESES

→ Calcula-se que **20% do ferro produzido anualmente em todo o mundo** presta-se a repor as peças atacadas por este terrível monstro que é tão temido pelos engenheiros e químicos.

→ A produção de minério de ferro em 2010 foi o grande destaque do ano, quando atingiu **370 milhões de toneladas**.

→ 20 % para repor perdas por corrosão = **74 milhões de toneladas**.

→ A produção brasileira em 2010 representou 16% do total mundial (**2,3 bilhões de toneladas**).

→ 20% corresponde a **0,46 bt** (bilhões de toneladas) = **460 milhões de toneladas para repor peças com corrosão**.

- Em termos de quantidade de material danificado pela corrosão, estima-se que uma parcela superior a 30% do aço produzido no mundo seja usada para reposição de peças e partes de equipamentos e instalações deterioradas pela corrosão.

Fonte: **SILVA, 2009; MERÇON, CANESSO, MAINIER, 2004.**

IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA CORROSÃO

A importância do estudo da corrosão está consubstanciada em:

- **a) Viabilizar economicamente as instalações industriais** construídas com materiais metálicos;
- **b) Manter a Integridade Física dos Equipamentos e instalações industriais;**
- **c) Garantir a Máxima Segurança Operacional,** evitando-se paradas operacionais não-programadas e lucros cessantes;
- **d) Garantir a máxima Segurança Industrial,** evitando-se acidentes e problemas de poluição ambiental.

• Fonte: SILVA, 2009.

→ Perdas Diretas:

- Os custos de substituição das peças que sofrem corrosão;
- Mão de obra;
- Energia;
- Os custos e a manutenção dos processos de proteção (recobrimentos, pinturas, proteção catódica).

→ Perdas indiretas:

- As paralisações acidentais para a substituição de um tubo corroído;
- A perda dos produtos;
- A perda da eficiência, proveniente da diminuição de transferência de calor através de produtos de corrosão acumulados.

→ As perdas indiretas são mais difíceis de serem avaliadas, mas pode-se afirmar que, em muitos casos, totalizam custos mais elevados do que aqueles causados por perdas diretas. Pode-se citar como exemplo de perdas indiretas:

- **a) Paralisações acidentais, para limpeza de** permutadores ou trocadores de calor ou para substituição de tubos corroídos, podem custar relativamente pouco, mas a parada da unidade representa grandes custos no valor da produção;
- **b) Perda de produto, como perdas de óleo, gás ou água** através de tubulações corroídas;
- **c) Perda de eficiência proveniente da** diminuição da transferência de calor através de depósitos ou produtos de corrosão, como no caso de caldeiras de trocadores de calor;
- **d) Perda de carga em tubulações de** condução de água potável devida aos depósitos de tubérculos de óxido de ferro;
- **e) Contaminação de produtos por sais** metálicos provenientes da corrosão de embalagens metálicas ou tubulações metálicas;
- **f) Superdimensionamento nos projetos de** reatores, oleodutos, tanques de armazenamento, vasos de pressão, etc. (SILVA, 2009)

Em alguns setores, embora a corrosão não seja muito representativa em termo de custo direto deve-se levar em consideração o que ela pode representar em:

- **a) Questões de segurança: corrosão** localizada muitas vezes resulta em fraturas repentinas de partes críticas de equipamentos, aviões e pontes causando além de perdas materiais, **perdas de vidas humanas;**
- **b) Interrupção de comunicações: corrosão** em cabos telefônicos e em sistemas de telecomunicações;
- **c) Preservação de monumentos de valor** históricos inestimável: corrosão atmosférica acelerada pelos poluentes atmosféricos como óxidos de enxofre que formam ácido sulfuroso e sulfúrico, componentes da chuva ácida que não só ataca materiais metálicos, mas também ocasiona a deterioração de materiais não metálicos como mármore e argamassa de cimento, usados em obras de grande importância histórica;

- **d) Inconvenientes para o ser humano:** a odontologia e diferentes setores da medicina utilizam diferentes materiais metálicos sob a forma de instrumental cirúrgico, restaurações, próteses e implantes cirúrgicos, para consolidação de fraturas ósseas que devem resistir à ação corrosiva do soro fisiológico (solução aquosa com cerca de 1% de cloreto de sódio);
- **e) Conservação de reservas naturais:** tendo em vista a destruição dos materiais metálicos pela corrosão, há necessidade de produção adicional para repor o que foi destruído.

CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARTICULADOS RESULTANTES DE ENSAIOS DE "FRETING-CORROSION" EM IMPLANTES CIRÚRGICOS.
67º Congresso Internacional ABM 2012 – RIO DE JANEIRO ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO.



próteses modulares para artroplastia total de quadril

As próteses são fabricadas em aço inoxidável ASTM F 138, a formação de uma camada de óxido passiva na superfície é o principal obstáculo ao processo de corrosão.

A norma ASTM F 1875, prescreve uma solução salina com 0,9% NaCl, simulando assim condições in vivo.




IMPORTÂNCIA SOCIAL DA DETERIORAÇÃO

- **Acidentes (perda de vidas ou invalidez):** queda de pontes e aviões, explosão de caldeiras, vazamento de oleodutos (Vila Socó).
- A tragédia no incêndio da Vila Socó em Cubatão 25/02/1984, 93 mortes.
- Zero hora e 50 minutos da madrugada: moradores da Vila Socó, nas margens do km 57 da Via Anchieta, em Cubatão, corriam para tentar escapar de um incêndio provocado pelo vazamento de 700 litros de gasolina da tubulação corroída que atravessava o mangue da favela, rumo ao Porto de Santos.
- **Contaminação (deterioração da saúde):** canalizações de chumbo, alambiques de cobre.
- **Insalubridade:** umidade causada por vazamentos, vazamento de produtos tóxicos (p.ex.gás).
- **Economia popular:** produtos de consumo de durabilidade comprometida pela deterioração.

• CLASSIFICAÇÃO

Para seu estudo, os processos de corrosão podem ser classificados:

- **segundo o MEIO** em que ocorrem.
- **segundo sua MORFOLOGIA.**

- Os processos corrosivos podem ser classificados segundo o MEIO em dois grandes grupos, abrangendo todos os casos deterioração por corrosão:
- - **Corrosão Eletroquímica;**
- - Corrosão Química.

Principais meios corrosivos

- Atmosfera (poeira, poluição, umidade, temperatura, intensidade e direção dos ventos, chuvas, radiação, gases: CO, CO₂, SO₂, H₂S, NO₂,....)
- Água (bactérias dispersas, chuva ácida, etc.)
- Solo (acidez, porosidade)
- Produtos químicos



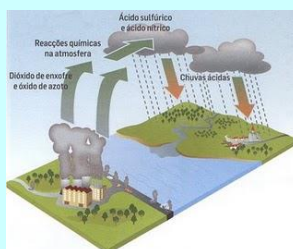
OBS: Um determinado meio pode ser extremamente agressivo para um determinado material e inofensivo para outro.

Meios corrosivos: aquoso

- **Águas naturais:** água salgada e água doce,

→ Fatores "corrosivos":

- Gases e sais dissolvidos
- Material orgânico
- Bactérias e algas
- Sólidos em suspensão
- pH e temperatura
- Movimentação da água



Meios corrosivos: artificiais e solo

- **Meios artificiais:** produtos químicos em geral
- **Solos:**
 - Aeração
 - Umidade
 - pH
 - Microorganismos
 - Condições climáticas
 - Heterogeneidades do solo
 - Presença de sais, água e gases

112

Classificação da corrosão em relação ao meio

- **Corrosão química** - O meio não é iônico. Gases a alta temperatura, líquidos anidros e metais fundidos.
- **Corrosão eletroquímica** - O meio é iônico, envolvendo principalmente os ions H^+ e OH^- .

Corrosão microbiológica (biocorrosão) - Se processa sob a ação de microorganismos (bactérias, fungos e algas).

Corrosão eletroquímica

- é um processo que se **realiza na presença de água, em geral na temperatura ambiente**, devido à formação de uma pilha ou célula de corrosão.
- Também denominada **corrosão em meio aquoso**.

O processo de corrosão eletroquímica

- são mais freqüentes na natureza e se caracterizam basicamente por:
- • Necessariamente na presença **de água no estado líquido**;
- • Formação de uma pilha ou célula de corrosão, com a circulação de elétrons na superfície metálica.
- • O processo eletrolítico de corrosão pode ser decomposto em três etapas principais, tais como:
- * **Processo catódico** – recepção de elétrons, na área catódica, pelos ions ou moléculas existentes na solução;
- * **Processo anódico** – passagem de íons para a solução;
- * **Deslocamento dos elétrons e íons** – ocorre a transferência dos elétrons das regiões anódicas para as catódicas pelo circuito metálico e uma difusão de ânions e cátions na solução.

Corrosão eletroquímica constituída de quatro elementos fundamentais:

- **Área anódica: superfície onde se verifica o desgaste** (reações de oxidação);
- **Área catódica: superfície protegida onde não há desgaste** (reações de redução);
- **Eletrólito: solução condutora ou condutor iônico**, que envolve simultaneamente as áreas anódicas e catódicas;
- **Ligação elétrica: entre as áreas anódicas e catódicas.**

Corrosão

Todos os metais estão sujeitos a corrosão se o meio for suficientemente agressivo:

Au, Pt → água régia (HCl e HNO₃)
 Aços inoxidáveis → íons cloretos
 Al → HCl, bases fortes, Hg
 Ti → ácido fluorídrico (HF)
 Cu e ligas → soluções amoniacais, HNO₃

Possibilidade de uso do material requer estudo do material metálico, meio corrosivo e condições operacionais.

Classificação segundo a Morfologia

A classificação segundo o meio é útil no estudo dos mecanismos de ataque, entretanto, querendo-se avaliar os danos causados pela corrosão torna-se mais conveniente se fazer uma classificação conforme apresentado:

- a) Corrosão Uniforme
- b) Corrosão em Placas
- c) Corrosão Alveolar
- d) Corrosão Puntiforme (pite)
- e) Corrosão em Frestas
- f) Corrosão Intergranular (intercristalina)
- g) Corrosão Transgranular (transcristalina)
- h) Corrosão Filiforme
- i) Corrosão por Esfoliação
- j) Corrosão gráfrica
- l) Corrosão por dezinficação

Fonte: PONTE, 2003;
SILVA, 2009.

O controle da corrosão inclui todas as medidas tomadas em cada etapa desde o projeto até a fabricação, instalação e utilização do equipamento.

Os diferentes métodos de controle da corrosão podem ser divididos nas seguintes categorias:

- - controle no estágio do projeto
- - controle pela influência no metal
- - controle pela influência no meio
- - controle com revestimentos

CONTROLE NO ESTÁGIO DO PROJETO

•Neste estágio devem ser especificados:

•- os materiais de construção

- o projeto da instalação , do processo e dos equipamentos
- as condições do processo
- a prática de operação

O controle da corrosão a nível do projeto deve considerar aspetos tais como:

- **seleção de materiais**
- **compatibilidade dos materiais**
- mudanças possíveis nas condições do processo
- geometria dos componentes
- fatores mecânicos
- métodos de proteção
- facilidade de manutenção
- fatores econômicos

A) Seleção de materiais

- - Deve se definir qual é o critério preponderante: **resistência mecânica** ou **resistência à corrosão** ?
- - Não se deve esquecer que um material menos nobre mas de boa resistência mecânica poderá ser protegido durante sua utilização.

Os seguintes fatores devem ser considerados:

- - propriedades químicas
- - propriedades mecânicas
- - propriedades físicas
- - disponibilidade
- - fabricabilidade
- - custo

Na construção de um grupo de prédios para famílias de baixa renda

- Janelas de todos os apartamentos de alumínio.
- Janelas foram todas fixadas por parafusos de ferro.

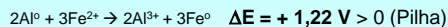
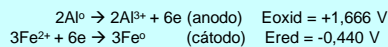
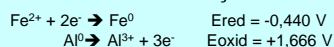
→ PASSADOS ALGUM TEMPO DEPOIS DO PRIMEIRO PERÍODO DE CHUVAS NOS BAIRROS DOS PRÉDIOS, TODAS AS JANELAS FICARAM SOLTAS, NÃO ESTAVAM MAIS FIXAS.

O que aconteceu???

- Tabela de potencial de oxirredução padrão:
- $\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^0$ $E_{\text{red}} = -0,440 \text{ V}$
- $\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}^0$ $E_{\text{red}} = -1,666 \text{ V}$

Ered Ferro (-0,440 V) > Ered Alumínio (-1,666 V)

→ Ferro vai sofrer redução e alumínio vai sofrer oxidação.



Com a presença de água da chuva (pH < 7) formou-se uma pilha galvânica.

MÉTODOS PARA COMBATER A CORROSÃO

Métodos que se fundamentam na modificação do meio corrosivo

- Desaeração; Purificação ou diminuição da umidade do ar; Emprego de inibidores

Métodos que se fundamentam em revestimentos protetores

- Revestimentos com produtos da própria reação (tratamento químico ou eletroquímico)
- Revestimentos metálicos
- Revestimentos orgânicos (tintas e resinas)
- Revestimentos inorgânicos (esmalte e cimentos)

Métodos que se fundamentam na modificação do processo

- Proteção catódica com ânodos de sacrifício
- Proteção catódica com tensões elétricas impostas

PROTEÇÃO CATÓDICA

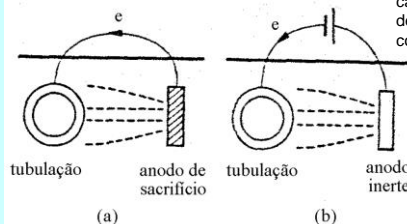
- A proteção catódica é um dos métodos mais empregados para a proteção de grandes estruturas quer seja enterradas ou submersas (parcial ou totalmente).
- Assim, tubulações e tanques de estocagem de gás e combustíveis diversos, plataformas de petróleo, navios, píeres e mesmo edifícios de concreto armado, mais e mais são protegidos por este método.
- O princípio da proteção catódica se baseia em levar o potencial de corrosão do equipamento a proteger para valores correspondentes à imunidade do material.

- Pode-se optar por um dos seguintes métodos para atingir este objetivo:

- Proteção por ânodos de sacrifício

- Proteção por corrente impressa

Princípio da proteção catódica por ânodos de sacrifício (a) e por corrente impressa (b)



FONTE: <http://www.demar.eel.usp.br/~alain/ApostilaDPM parte2.pdf>

- Uma outra forma de proteger o ferro da corrosão é mantê-lo em contato com um metal que seja mais propenso à corrosão que ele (metal com potencial de redução menor que o do ferro).
- Normalmente se utiliza o metal magnésio para esta finalidade, devido ao seu baixo potencial de redução.
- Este metal é conhecido como **metal de sacrifício**.
- Enquanto existir este metal em contato com o ferro, este será protegido do processo de corrosão. A proteção cessa quando o metal de sacrifício se dissolve totalmente. Este tipo de proteção é muito utilizado em cascos de embarcações.

RESUMO:

A proteção catódica por corrente impressa consiste em injetar elétrons para a estrutura a proteger com auxílio de uma fonte de corrente de maneira a diminuir seu potencial.

A proteção por anodos de sacrifício consiste em conectar a estrutura a um metal menos nobre que se comportará como anodo, a estrutura sendo catodo, segundo o mesmo princípio descrito para a corrosão galvânica.

PROTEÇÃO POR ÂNODO DE SACRIFÍCIO

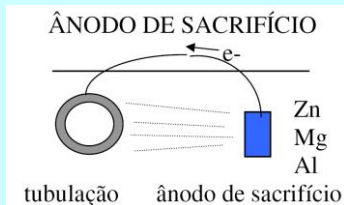
Na proteção por ânodos de sacrifício, o potencial adequado é alcançada devido ao contato elétrico entre o metal a proteger e um outro metal de potencial de corrosão inferior no meio onde estarão colocados.

Os metais mais comuns para constituírem os chamados ânodos de sacrifício são: zinco, ligas de magnésio e ligas de alumínio.

Na figura a seguir se representa esquematicamente o funcionamento desse processo.

Os ânodos são conectados eletricamente ao equipamento a proteger.

Forma-se, desse modo, um par galvânico e o potencial misto se posicionará em um valor intermediário entre os de corrosão dos dois materiais.




- A quantidade, tamanho e distribuição dos ânodos é de suma importância para conseguir uma proteção efetiva, devido a uma série de fatores:
- **O solo ou a água** em que estão imersos os equipamentos podem ser mais ou menos condutores, com o que a distribuição de correntes e potenciais é influenciada.
- Não é conveniente em grandes estruturas, colocar os ânodos encostados no metal a proteger, pois isto fará com que haja uma grande concentração de corrente nesta região com menor influência sobre regiões mais longínquas o que torna a distribuição do potencial muito heterogênea.

- O zinco como ânodo é usado bastante em água do mar, como em navios, barcos, píeres etc.
- É necessário que o Zn seja bastante puro, principalmente isento de Fe, Cu, tendo em vista que estes elementos aumentam muito a reação catódica do hidrogênio sobre o metal.
- Desse modo, se tem uma *auto-corrosão do ânodo que torna* anti-econômico o seu uso, pois parte da dissolução do metal se dá por causa da reação catódica que acontece sobre ele, em lugar daquela que acontece sobre o metal a proteger.

- Aliás, esse cuidado de evitar as impurezas metálicas, que possam catalisar a reação de hidrogênio, também se deve ter com os ânodos fabricados em ligas de Mg ou Al.
- As ligas de magnésio apresentam o potencial de corrosão mais negativo dos três tipos de liga citados. Em geral são usadas em água doce, como, por exemplo no interior de tanques de água, mas também em solos de baixa resistividade (até 6000 ohm.cm).
- Tem o problema do preço e o risco de incêndio em caso de faíscas.

- Ligas de alumínio tem sido desenvolvidas para a aplicação em proteção catódica.
- É preciso que a natural formação de um óxido protetor sobre o Al seja evitado, pois do contrário se terá uma corrosão muito heterogênea (por pites).
- Ligas a base de mercúrio foram muito usadas por essa propriedade, porém as restrições ambientais a compostos com mercúrio dificultaram sua aplicação.

- Hoje existem ligas contendo, Zn, Bi, e In, entre outros elementos, que possuem a facilidade de tornarem o óxido do alumínio pouco protetor e tornam seu potencial de corrosão mais negativo que o habitual de outras ligas comerciais. Também são ligas que se usam em água do mar.



Sistemas de **Anodo Galvânico** são os mais simples e, provavelmente, os mais confiáveis. Como é sabido, quando dois metais dissimilares estão em contato dentro de qualquer eletrólito, **o metal mais anódico corrói**. Num sistema de **proteção catódica** utilizando anodos galvânicos, a vantagem desse efeito é obtida estabelecendo-se, intencionalmente, uma célula de metal dissimilar suficientemente forte para se contrapor a célula de corrosão naturalmente existente numa tubulação. Isto é obtido pela seleção de um material que seja fortemente anódico em relação à tubulação de aço.

INSTALAÇÃO TÍPICA DE ANODO DE MAGNÉSIO

FONTES:
http://www.abraco.org.br/site/artigo_view/protecao#ANGAL

- Os anodos galvânicos usados em aplicações no solo são, usualmente, feitos de liga de magnésio.
- A Tabela - "Série Galvânica Prática" mostra que a tensão direcionada entre a tubulação de aço e o magnésio é, tipicamente, menor do que um volt.
- Assim, se os anodos forem especificados para criar uma quantidade útil de corrente, a resistência de contato entre os anodos e a terra deve ser baixa. Isto significa que anodos galvânicos são normalmente empregados em **solos de baixa resistividade**.

- A posição relativa destes metais é mostrada na "Série Galvânica Prática".
- Todos os potenciais são medidos tendo como referência um eletrodo padrão de cobre-sulfato de cobre (ou "meia-célula") comumente usado em teste de controle de corrosão de tubulações no campo.

Série Galvânica Prática

METAL	VOLTS (*)	metais e ligas	VOLT (*)
Magnésio comercial puro	-1.75	Ferro fundido com alto teor de Si	-0,20
Liga de Magnésio (6% Al, 3% Zn, 0.15% Mn)	-1.60	C, grafite, coque	+0,30
Zinco	-1.10		
Liga de Alumínio (5% Zn)	-1.05		
Alumínio comercial puro	-0.80		
Aço acalmado (limpo e brilhante)	-0.5 a -0.8		
Aço acalmado (enferrujado)	-0.4 a -0.55		
Aço fundido (não grafitado) (Ferro fundido não grafitado)	-0.50		
Chumbo	-0.50		
Aço acalmado em concreto	-0.20		
Cobre, Latão e Bronze (Cu, Cu-Sn, Cu-Zn)	-0.20		
Camada Moida sobre aço (Aço com carepa de laminação)	-0.20		

Potenciais típicos dos anodos de sacrifício e de outros metais e ligas em solos neutros e água (em V/Cu,CuSO₄ sat.).

(*) Potenciais típicos observados em solos neutros e água, medidos com referência a eletrodo de sulfato de cobre padrão.

FONTES: ROBIN, Alain Laurent Marie. **Degradação e Proteção de Materiais – Parte 2.**

Composição química dos anodos de sacrifício comerciais (%em peso)

Elemento	Liga de Zn	Liga de Mg	Ligas de Al	
Zn	bal.	2,5-3,5	0,35-0,50	5,0
Al	0,1-0,5	5,3-6,7	bal.	bal.
Mg	-	bal.	-	0,80
Pb	0,006 max.	0,02 max.	-	-
Fe	0,005 max.	0,003 max.	0,08 max.	-
Cu	0,005 max.	0,02 max.	0,006 max.	0,01
Cd	0,05-0,15	-	-	-
Si	0,135 max.	0,10 max.	0,11-0,21	0,10 max.
Ni	-	0,002 max.	-	-
Mn	-	0,15 min.	-	-
Hg	-	-	0,035-0,50	-
In	-	-	-	0,02

FONTE: ROBIN, Alain Laurent Marie. **Degradação e Proteção de Materiais – Parte 2.**

- posicionamento dos anodos:

- a posição dos anodos deve permitir uma boa distribuição de corrente na estrutura a proteger.

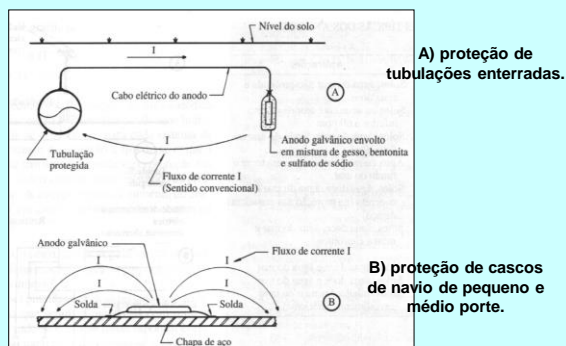
As aplicações típicas dos anodos de sacrifício.

Anodo	Aplicações
Mg	Estruturas metálicas em água doce de baixa resistividade ou solos com resistividade inferior a 3000 Ω .cm.
Zn	Estruturas metálicas em água do mar ou em solos com resistividade de até 1000 Ω .cm.
Al	Estruturas metálicas em água do mar.

→ A proteção por anodos de sacrifício é geralmente usada para eletrólitos de baixa resistividade (<3000 Ω .cm), uma vez que as diferenças de potenciais são pequenas necessitando de circuitos de baixa resistência elétrica para a liberação das correntes desejadas.

- Em trocadores de calor ou sistemas operando em água quente, **deve-se evitar** usar anodos de Zn para proteger estruturas de aço, porque pode ocorrer inversão de polaridade. É recomendável usar anodos de Mg.

Aplicações típicas da proteção catódica por anodos de sacrifício.



FONTE: <http://www.demar.eel.usp.br/~alain/ApostilaDPM parte2.pdf>; GENTIL, 2007.

- Estes anodos podem ser instalados em grupos (leito de anodos) ou isoladamente.
- A determinação da quantidade de corrente para proteção, ou seja, a massa de anodos necessária, é feita a partir das dimensões e do material da estrutura, das condições do revestimento e do tipo de solo.
- Em estruturas submersas, os anodos são, usualmente, soldados à própria estrutura. Em dutos enterrados, é usual a disposição dos anodos a longas distâncias de forma a permitir que o fluxo de corrente atinja homogeneamente a estrutura.

Comprovação da proteção durante a operação.

- Três métodos são geralmente usados para comprovar a proteção catódica:

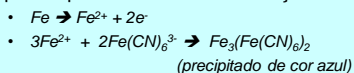
1) colocar de um papel filtro umedecido de $K_3Fe(CN)_6$ sobre a tubulação de aço (tendo retirado o revestimento se existir) e recobrir com o solo, após um certo tempo o papel deve ser examinado.

Se for de cor azul, isto prova que a proteção foi incompleta. De fato, a cor azul comprova que tem corrosão do aço.

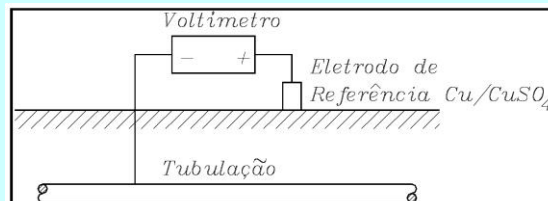
$(K_3[Fe(CN)_6])$ = Ferricianeto de potássio ou hexacianoferrato(III) de potássio

Preço médio (100g) = R\$14,00

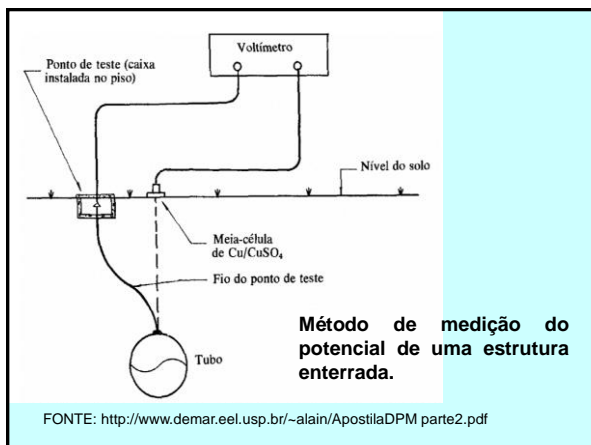
A cor azul que comprova que existe corrosão do aço é função da seguinte reação:



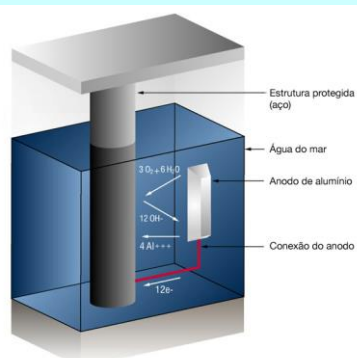
Medição do potencial tubo/solo em tubulação enterrada.



<http://seatech-br.com/proteção/Corrosao%20e%20PC.pdf>; GOMES, sd.

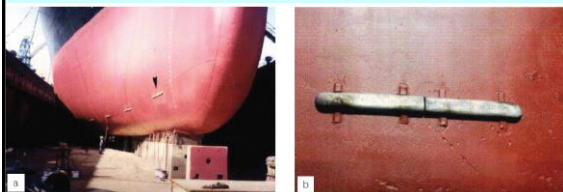


Sistema de PC de anodo de sacrifício em água.



FONTE: <http://www.cathodicprotection101.com/protecao-catodica.htm>

Proteção catódica por anodo de zinco em casco de navio:
 (a) vista inferior do navio em dique seco;
 (b) fixação do anodo de zinco no casco do navio.

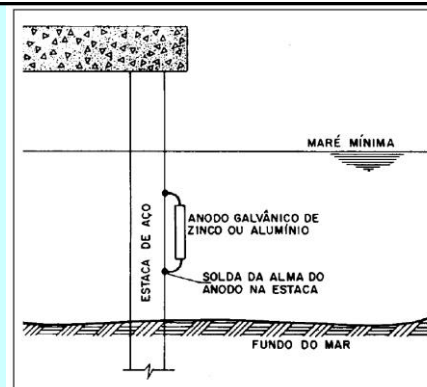


Merçon, Fábio; Guimarães, Pedro Ivo Canesso; Mainier, Fernando Benedito, 2004

EXEMPLO



Anodo de zinco fixado em casco de navio.



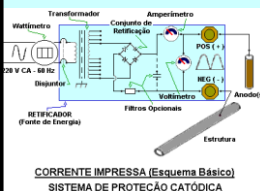
Proteção catódica galvânica para pier. FONTE: GOMES, sd.

Proteção por corrente impressa

A proteção catódica por corrente impressa consiste em injetar elétrons para a estrutura a proteger com auxílio de uma fonte de corrente de maneira a diminuir seu potencial.

Sistemas de Corrente Impressa

Os sistemas de proteção catódica por corrente impressa nos libera da voltagem direcionada limitada dos anodos galvânicos. Uma tensão de corrente contínua oriunda de fonte externa é "encaminhada" no circuito entre a estrutura protegida e os anodos. A fonte de energia mais comum é o retificador de proteção catódica ou fonte de energia de CC.



FONTE: http://www.abraco.org.br/site/artigo_view/protecao#COIMP

- O eletrólito é o solo ou a solução.
- O catodo é a estrutura a proteger.

- Os anodos usados devem ser altamente resistentes (inertes) à corrosão.
- Quando enterrados no solo, os anodos devem ser envolvidos por um enchimento condutor de coque moído de resistividade máxima de 100 Ω .m para:
 - - facilitar a passagem de corrente do anodo para o solo
 - - diminuir o desgaste do anodo.

Anodos usados nos sistemas de proteção catódica por corrente impressa

Anodos	Aplicações
Grafite	Estruturas metálicas em solo ou água doce
Fe-14,5Si	Estruturas metálicas em solo ou água doce
Fe-14,5Si-4,5Cr	Estruturas metálicas em solo com alto teor de Cl ⁻ , água doce ou água do mar
Pb-6Sb-1Ag	Estruturas metálicas água do mar
Ti, Nb ou Ta Platinizado	Estruturas metálicas em água do mar

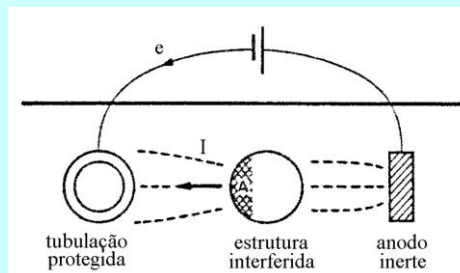
FONTE: <http://www.demar.eel.usp.br/~alain/ApostilaDPM parte2.pdf>

CARACTERÍSTICAS DE ANODOS INERTES

Material do anodo	Densidade de corrente recomendada (A/m ²)	Desgaste "D" (Kg/A x ano)
Grafite	Até 5	0,40
Fe-Si	Até 15	0,35
Fe-Si-Cr	Até 15	0,35*
Pb-Sb-Ag	50 - 100	0,10
Ti-Pt	Ampla faixa	Desprezível
Nb-Pt	Ampla faixa	Desprezível
Ta-Pt	Ampla faixa	Desprezível
Titânio LIDA STRIP	Ampla faixa	Desprezível
Magnetita	Até 115	0,04
Ferrita	Até 115	0,002
Anodo Polimérico anodeflex	Ampla faixa	Desprezível

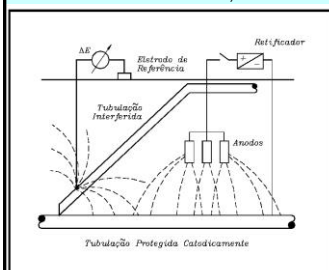
FONTE: GENTIL, 2007 * Consumo em água do mar.

Corrosão por corrente de fuga provocada por sistema de proteção catódica por corrente impressa.



FONTE: <http://www.demar.eel.usp.br/~alain/ApostilaDPM parte2.pdf>; http://www.ufrgs.br/lapec/crbst_11.html

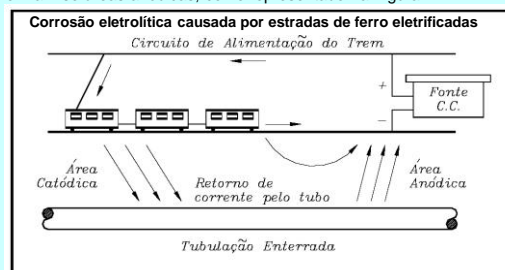
Um exemplo de corrente de interferência estática é o caso de duas tubulações enterradas onde parte da corrente de proteção catódica de uma das tubulações flui, através do eletrólito, para a outra. Esta corrente retorna à tubulação interferente no ponto mais favorável que, geralmente, é o ponto de menor distância entre as estruturas, como observado na Figura.



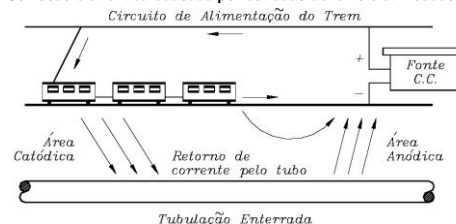
Duto sob corrente de interferência.

<http://seatech-br.com/proteção/Corrosao%20e%20PC.pdf>

Como exemplo de corrente de interferência dinâmica, tem-se o sistema de tração elétrica, onde a corrente é enviada por cabos até o trem e retorna à subestação através do trilho. Como o isolamento elétrico dos trilhos não é perfeito, parte da corrente pode fluir para uma estrutura metálica situada nas proximidades do sistema de tração elétrica agindo, então, como um condutor. Nos locais onde a corrente deixa a tubulação interferida, formam-se áreas anódicas, como representado na Figura.



Corrosão eletrolítica causada por estradas de ferro eletrificadas



<http://seatech-br.com/proteção/Corrosao%20e%20PC.pdf>; GOMES, sd.

EXEMPLOS

A) Sistema de proteção catódica por corrente impressa em solos.

B) Sistema de proteção catódica por corrente impressa em água do mar.

FONTE: [http://www.demar.eel.usp.br/~alain/ApostilaDPM parte2.pdf](http://www.demar.eel.usp.br/~alain/ApostilaDPM%20parte2.pdf); GENTIL, 2007.

Sistema de proteção catódica de corrente impressa

FONTE: <http://www.cathodicprotection101.com/ptecao-catodica.htm>

Proteção catódica por corrente impressa para *pier*.

FONTE: GOMES, sd.

MÉTODOS PARA COMBATER A CORROSÃO

proteção à tanques de combustível subterrâneos pela aplicação de corrente imposta

Medição do potencial de proteção catódica (Esquerdo protegido – Direito desprotegido)

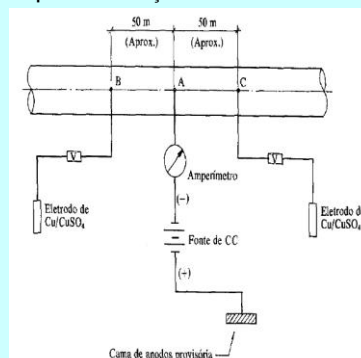
→ Sabemos se temos ou não corrente suficiente, medindo o potencial do aço contra um eletrodo de referência padrão, geralmente **prata/cloreto de prata (Ag/AgCl)**. O fluxo de corrente em qualquer metal muda seu potencial normal na direção negativa. A história mostra que se o aço receber corrente suficiente para mudar o potencial para **(-)0,800V** x Eletrodo Ag/AgCl, a corrosão é **essencialmente interrompida**.

→ Devido à natureza dos filmes formados, o potencial mínimo (-0,800V) raramente é o potencial ideal e os projetistas tentam alcançar um potencial entre (-)0,950 V e (-)1.000 V x Eletrodo Ag/AgCl.

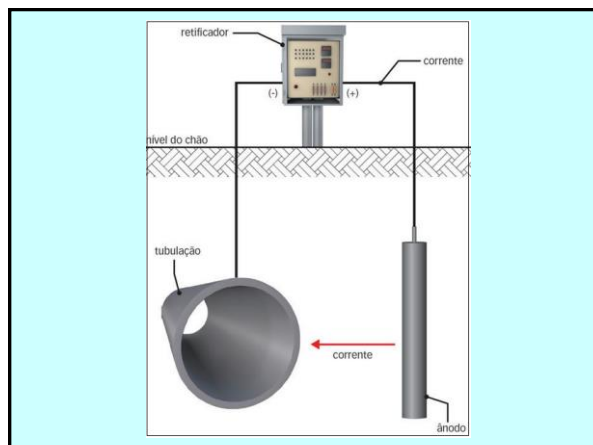


FONTE: <http://www.cathodicprotection101.com/protacao-catodica.htm>

Teste para determinação da corrente necessária à proteção da estrutura.



FONTE: ROBIN, Alain Laurent Marie. **Degradação e Proteção de Materiais – Parte 2;** GENTIL, 2007.



- Tem duas regras básicas para a escolha do tipo de proteção catódica a partir do valor da resistividade
- do eletrólito e do valor da corrente mínima de proteção.
- A) - se $\rho > 3000 \Omega \cdot \text{cm}$ → uso da proteção catódica por corrente impressa
- - se $\rho < 3000 \Omega \cdot \text{cm}$ → uso da proteção catódica por anodos de sacrifício
- • se $\rho < 1000 \Omega \cdot \text{cm}$ → uso de anodos de zinco
- • se $\rho > 1000 \Omega \cdot \text{cm}$ → uso de anodos de magnésio
- B) - se $I_o > 5A$ → uso da proteção catódica por corrente impressa
- - se $I_o < 5A$ → uso da proteção catódica por anodos de sacrifício

I_o : corrente mínima para proteção (A)

ρ : resistividade elétrica do eletrólito ($\Omega \cdot \text{cm}$)

Anodos Inertes para Sistemas por Corrente Impressa(1)

ANODO	Densidade de corrente recomendada (A/m ²)	Desgaste médio (Kg/A.ano)
Grafite	Até 3	0,20
Ferro/Silício (Fe-Si)	Até 15	0,35
Ferro/silício/cromo (Fe-Si-Cr)	Até 15	0,35 (2)
Chumbo/antimônio/prata (Pb-Sb-Ag)	50/100	0,10
Titânio platinizado (Ti-Pt)	Até 1.000	Desprezível
Nióbio platinizado (Nb-Pt)	Até 700	Desprezível
Tântalo platinizado (Ta-Pt)	Até 1.100	Desprezível
Titânio oxidado	Até 1.100	Desprezível
Magnetita (Fe ₃ O ₄)	Até 115	0,04
Ferrita (0,4 MO. 0,6 Fe ₂ O ₃)	Até 115	0,0004 (3)
Ferrita (0,1 MO. 0,9Fe ₂ O ₃)	Até 115	0,002 (3)

(1) Para dimensionamento, consultar a densidade de corrente e o desgaste recomendados pelo fabricante do anodo.

(2) Desgaste em água do mar. ; (3) M pode ser Ni, Li, Co, Mg, Zn e Mn.

FONTE: GOMES, sd.

Aplicações da proteção catódica**- proteção de tubulações enterradas:**

- proteção por anodos de sacrifício: ligas de Mg com enchimento condutor.
- proteção por corrente impressa: grafite, Fe-Cr, Fe-Si-Cr com enchimento de coque.

- proteção de tubulações submersas:

- proteção por anodos de sacrifício: ligas de Zn ou Al (Mg só em água doce)
- proteção por corrente impressa: Fe-Si-Cr em água do mar; Fe-Si em água doce

- proteção de pieres de atracação de navio:

- proteção por anodos de sacrifício: ligas de Zn ou Al
- proteção por corrente impressa: Fe-Si-Cr e Pb-Sb-Ag

- proteção de tanques de armazenamento:

- partes internas: proteção por anodos de sacrifício com ligas de Zn ou Al
- partes externas: proteção por anodos de sacrifício para tanques pequenos e solos de baixa resistividade, senão proteção por corrente impressa.

- proteção de navios:

- tanques de lastro: partes internas por proteção com anodos de sacrifício de ligas de Zn ou Al
- cascos: - navios de pequeno e médio porte por proteção com anodos de sacrifício de ligas de Zn ou Al
- navios de grande porte por proteção por corrente impressa.



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI DE JUIZ DE FORA

DEFESA DE TCC - 2012

ALUNO:

LEANDRO DOSE SAMPAIO

TÍTULO

CORROSÃO E PROCESSO DE DESGASTE POR ATRITO EM COMPONENTES METÁLICOS IMERSOS EM ÁGUA

ORIENTADOR

PROF. DR. JORGE MACEDO



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI DE JUIZ DE FORA

TCC – DEFESA EM NOV./2013

ALUNO:

FLÁVIO ROMANO PINHEIRO

TÍTULO

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE PROTEÇÃO CATÓDICA COM ÂNODO DE SACRIFÍCIO EM AÇO ABNT 1020 E AÇO INOXIDÁVEL ABNT NBR 5601 304L.

ORIENTADOR

PROF. DR. JORGE MACEDO

ENSAIO PRELIMINAR



m = 214,9918 g

TESTE REALIZADO 35 DIAS EM 18 L DE ÁGUA DA TORNEIRA



m = 214,6963 g
Perda = 0,2955 g

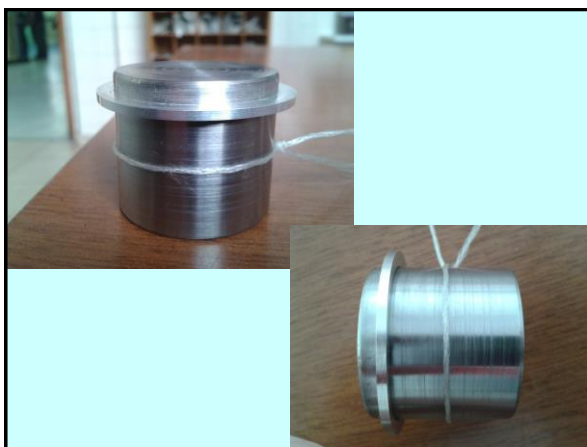
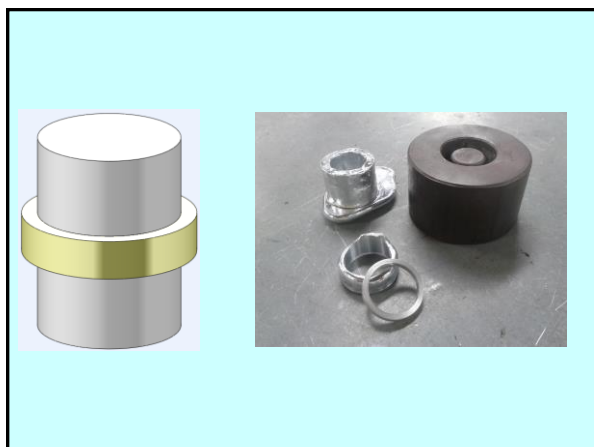


FOTO DO MICROSCÓPIO



→ Os materiais que são submetidos aos testes de proteção e analisadas as suas taxas de corrosão (cupons de prova) foram de aço **ABNT 1020** e aço **inoxidável ABNT NBR 5601 304L** e com dimensões de 18,00 mm de diâmetro por 25 mm de comprimento.

→ Os materiais que estão sendo utilizados para a realização da proteção contra a corrosão (anodos de sacrifício), foram de **alumínio NBR NM 87 8160** e **Zinco**.



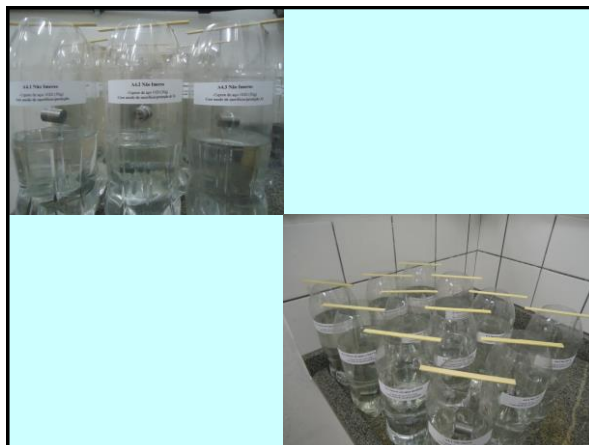
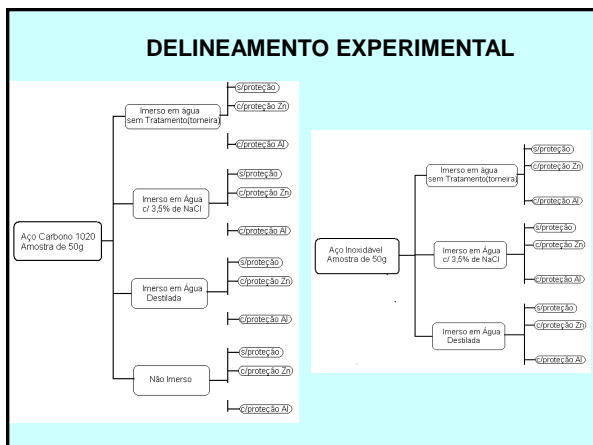


A quantidade mínima de eletrólito para esse tipo de teste segundo a norma ASTM A262 citada por JAMBO e FÓFANO (2008) é de **20 mL/cm²** para o aço 1020 e **dobro para aço inox.**

•Considerando que a área exposta dos cupons é de **19,15cm²** seria necessário **383 mL** de eletrólito para o aço 1020 e **766 mL** de eletrólito para o aço inox.

Os eletrólitos utilizados foram **água de torneira sem nenhum tratamento, solução aquosa 3,5% de NaCl e água destilada.**

→ Utilizou-se testes com **sistemas não imersos** (cupom de aço e anel de anodo de sacrifício)





SENAI FIEMG

- UNIDADE SENAI José Fagundes Netto.
- FATEC – Faculdade SENAI de Tecnologia de Juiz de Fora.



FALTOU UMA PROTEÇÃO CATÓDICA ???

OBRIGADO PELA ATENÇÃO !!
PROF. JORGE MACÊDO

j.macedo@terra.com.br
jmacedo@fieng.com.br
barrosdemacedo@gmail.com
www.jorgemacedo.pro.br

