



Congresso Internacional de
Corrosão, Integridade,
Pintura e Revestimentos
Anticorrosivos



Proteção catódica: o complemento do revestimento na proteção anticorrosiva

João Paulo Klausing Gervásio



Programação

Proteção catódica:

- História, Curiosidades
- Funcionamento

Proteção catódica e revestimentos:

- Pontos de atenção
- Estudos de casos



Conclusões

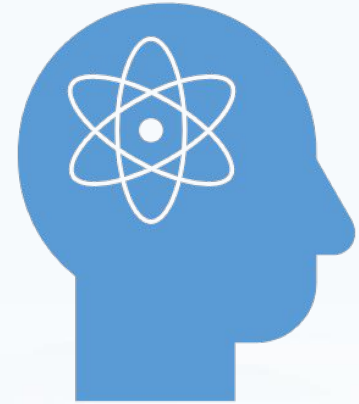
Referências bibliográficas

Proteção catódica - Técnica de combate à corrosão

Autores: Aldo Dutra e Laerce Nunes

Sistemas de proteção catódica

Diversos autores. Editado pela IEC
Engenharia



História da Proteção Catódica

O que será que “La Gloire”, primeiro couraçado oceânico da história (1858) tem a ver com proteção catódica?



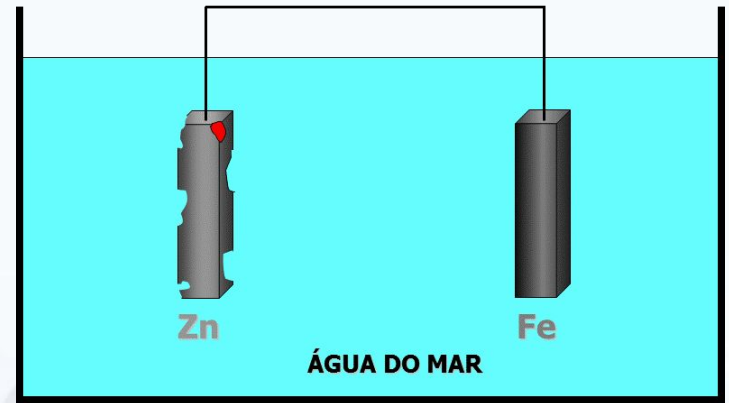
História da Proteção Catódica

- Final do século XVIII:
Embarcações começam a utilizar chapas metálicas para proteger o casco de madeira.
- Início do século XIX:
Primeiros passos da eletroquímica.
- Em **1823**, Sir Humphrey Davy, foi contratado pela Marinha Britânica para estudar formas de proteger as chapas contra a corrosão.



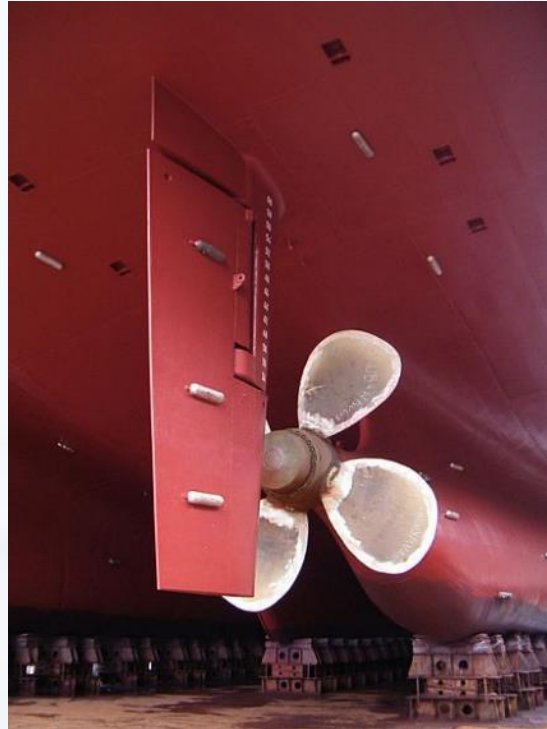
História da Proteção Catódica

- Em um de seus experimentos, Sir Davy interligou, em um mesmo recipiente com água do mar, diferentes metais
- Foi observado que metais não-nobres são sacrificados em favor de metais nobres.



História da Proteção Catódica

Metais de sacrifício começaram a ser usados para proteção contra corrosão dos cascos de aço de navios



História da Proteção Catódica

1920: Desenvolvimento da indústria do petróleo e o surgimento de oleodutos e gasodutos

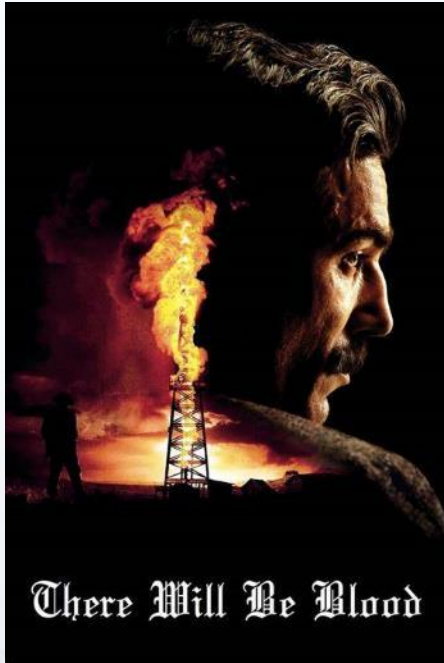


TUBULAÇÃO DE AÇO ENTERRADA

The diagram illustrates a cross-section of the ground. A horizontal line at the top represents the ground surface. Below this line, two sets of diagonal hatching lines indicate the ground level. A thick, dark grey horizontal bar is positioned below the ground level, representing an underground steel pipe. The text 'TUBULAÇÃO DE AÇO ENTERRADA' is centered within this bar.

Momento cultural

Sangre negro (2007)



História da Proteção Catódica

Contato do aço com o solo:

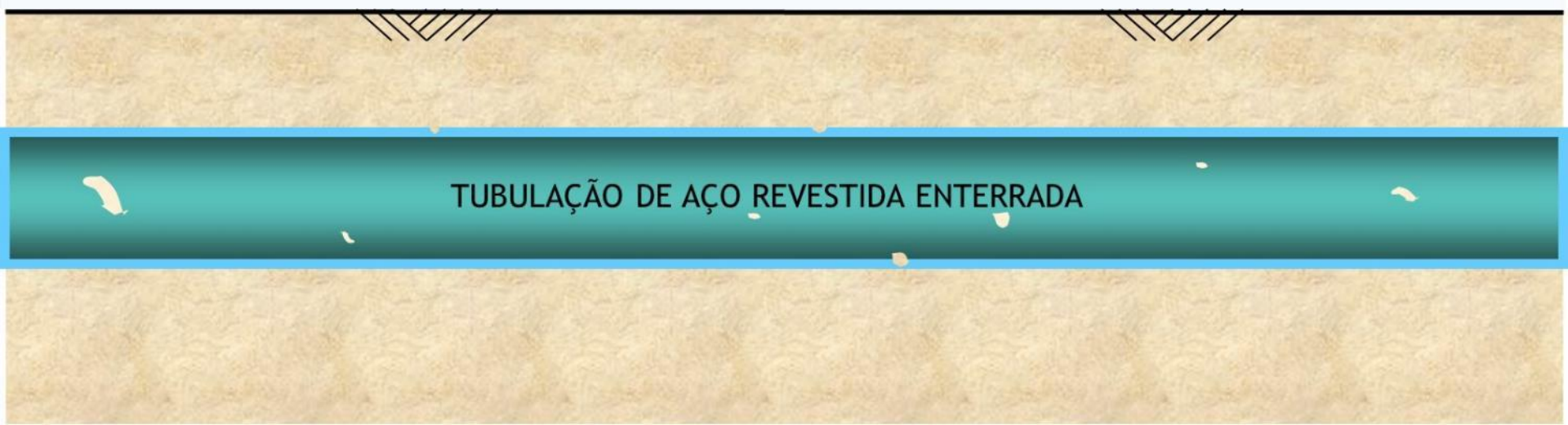
CORROSÃO!



História da Proteção Catódica

1930: Isolamento entre o aço e o solo (revestimento)

Acontece que, por mais cuidado que se tenha, o revestimento possui
FALHAS...

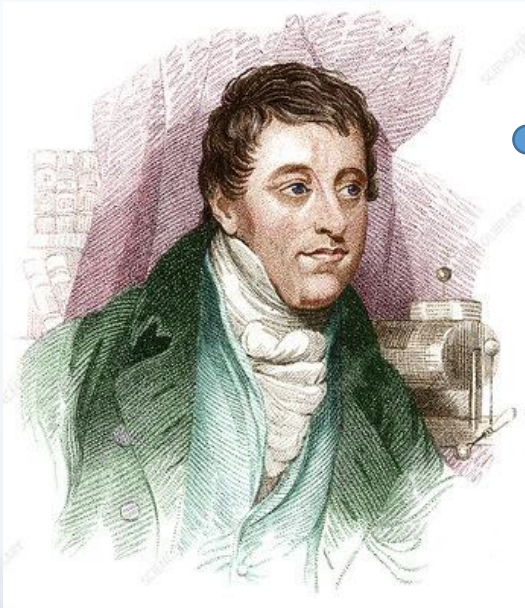


TUBULAÇÃO DE AÇO REVESTIDA ENTERRADA

The diagram shows a cross-section of a buried steel pipe. The pipe is represented by a horizontal line with hatched patterns on both sides, indicating it is buried in soil. Below the pipe, there is a teal-colored rectangular area with a blue border, containing the text 'TUBULAÇÃO DE AÇO REVESTIDA ENTERRADA'. The background of the diagram is a light brown, textured surface representing soil.

História da Proteção Catódica

1940: Aplicação de proteção catódica em sistemas de dutos terrestres



Por que não aplicar proteção catódica para atuar nas falhas do revestimento dos dutos?

Definição da Proteção Catódica

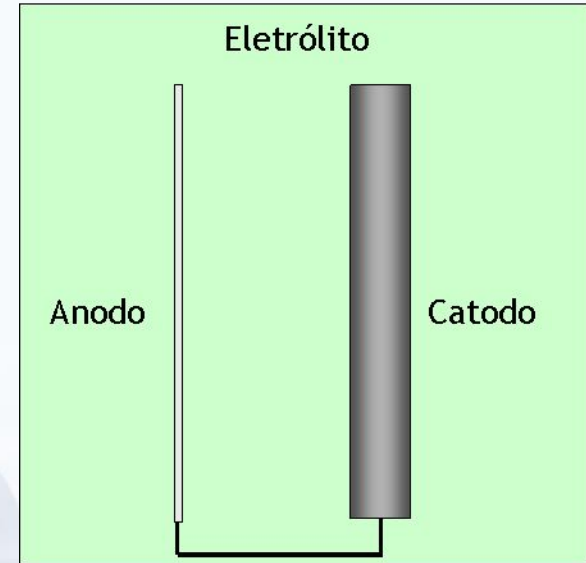
Proteção catódica é uma técnica para eliminar ou reduzir a corrosão eletroquímica de uma estrutura metálica enterrada ou submersa fazendo com que esta superfície se comporte como o catodo de uma pilha de corrosão.

Definição da Proteção Catódica

Proteção catódica é uma técnica para eliminar ou reduzir a corrosão eletroquímica de uma estrutura metálica enterrada ou submersa fazendo com que esta superfície se comporte como o catodo de uma pilha de corrosão, atuando onde existir falhas ou não houver revestimento.

Condições para aplicar proteção catódica

- O anodo e o catodo devem estar dentro do mesmo meio;
- O meio deve ser condutor iônico (eletrólito);
- Existência de uma ligação elétrica entre o anodo e o catodo



Tipos de Sistemas de Proteção Catódica

Existem dois tipos de sistemas de proteção catódica:

- CORRENTE GALVÂNICA (OU POR ANODOS DE SACRIFÍCIO)
- CORRENTE IMPRESSA



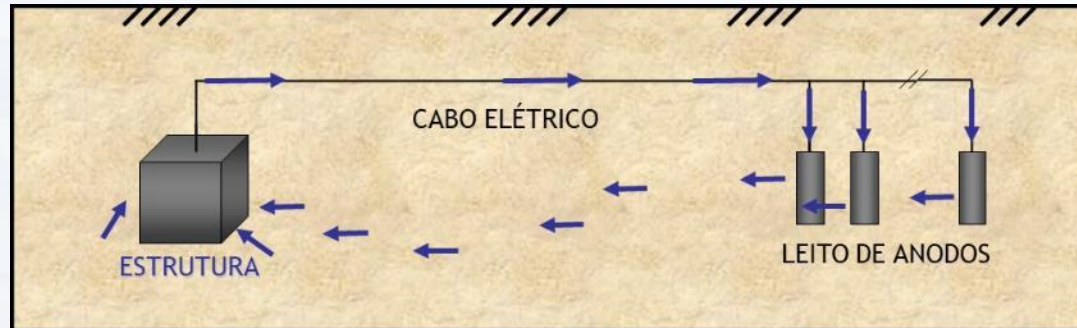
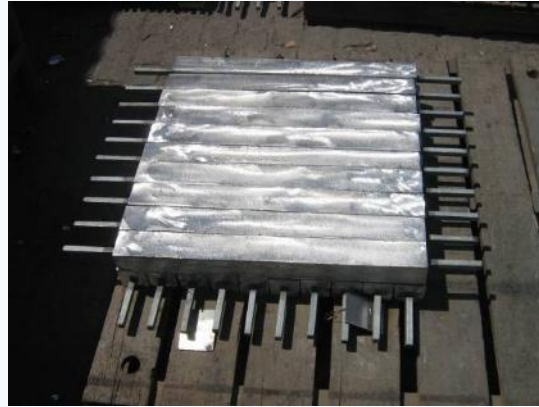
Sistemas de corrente galvânica

A proteção ocorre pela diferença de potencial entre materiais diferentes.

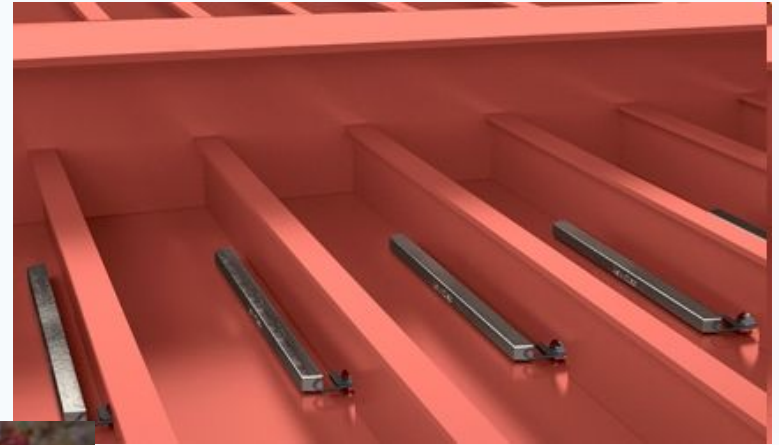
A estrutura fica protegida enquanto durarem os anodos.

São utilizadas ligas de metais com potenciais negativos:

- Alumínio
- Zinco
- Magnésio



Sistemas de corrente galvânica



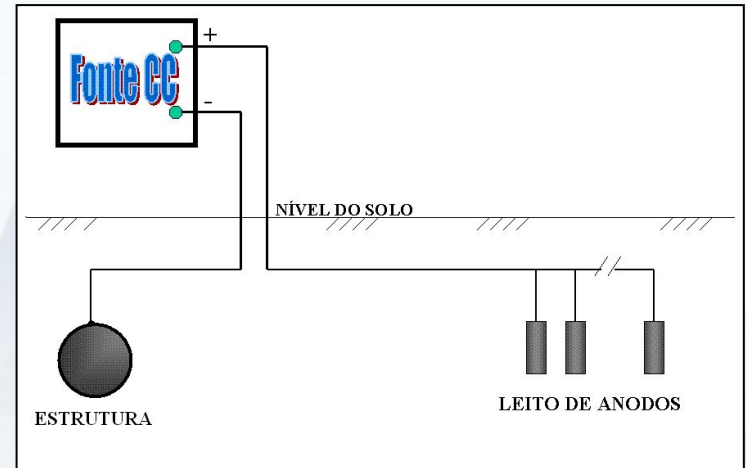
Sistemas de corrente impressa

A diferença de potencial é fornecida por uma fonte de corrente contínua.

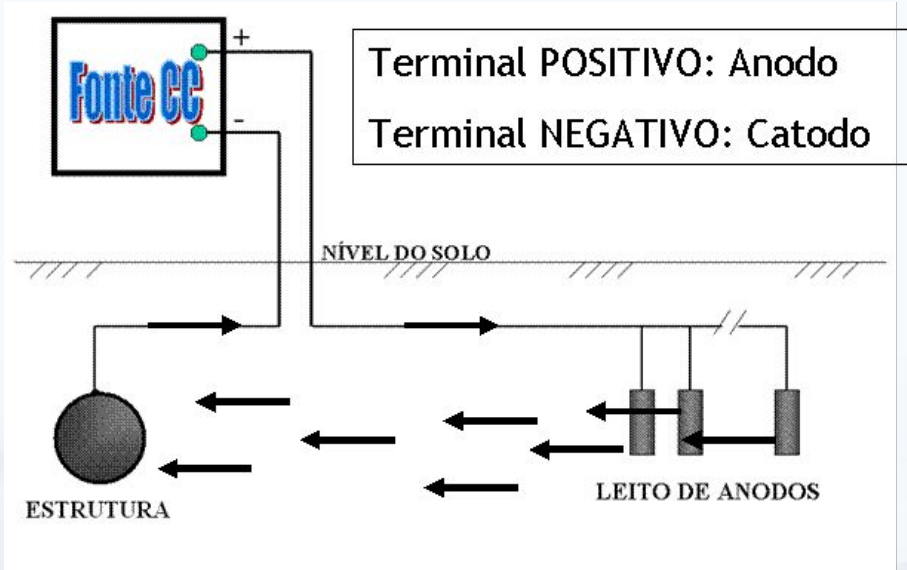
A estrutura fica protegida enquanto a fonte estiver em funcionamento.

São utilizados anodos com taxa de desgaste pequena ou desprezível:

- Fe-Si-Cr;
- Titânio MMO.



Sistemas de corrente impressa



Sistemas de corrente impressa



Segredo da Proteção ~~Catódica~~ Católica



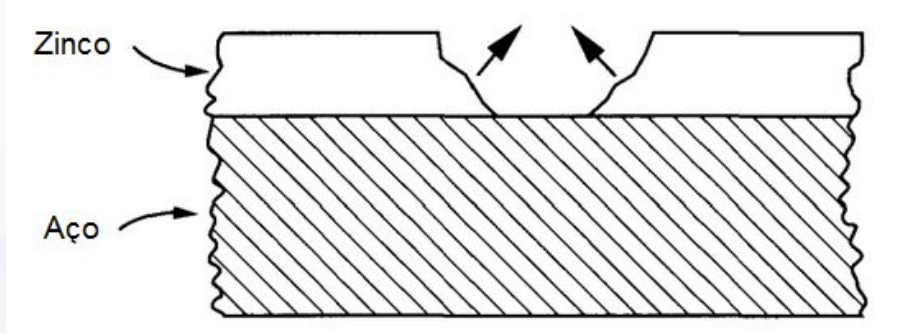
Corrosão atmosférica

A proteção catódica protege estruturas da corrosão atmosférica?



Corrosão atmosférica

Revestimentos metálicos de sacrifício (galvanização, aspensão térmica, etc) e tintas ricas em zinco usam o conceito de proteção catódica



Eficiência do revestimento na PC

Demanda de corrente de proteção catódica:

$$I_{tot} = S \times j \times f_C$$

ONDE:

S → superfície da estrutura a proteger (m^2);

J → densidade de corrente (A/m^2);

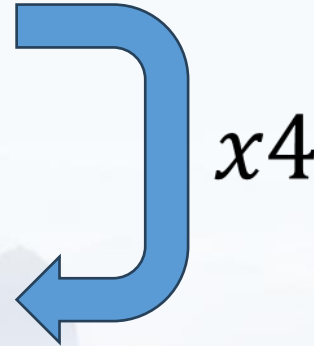
f_C → fator de falha do revestimento, adimensional.

Eficiência do revestimento na PC

Exemplo de corrente de proteção catódica necessária à um duto de 30" e 100 km de comprimento:

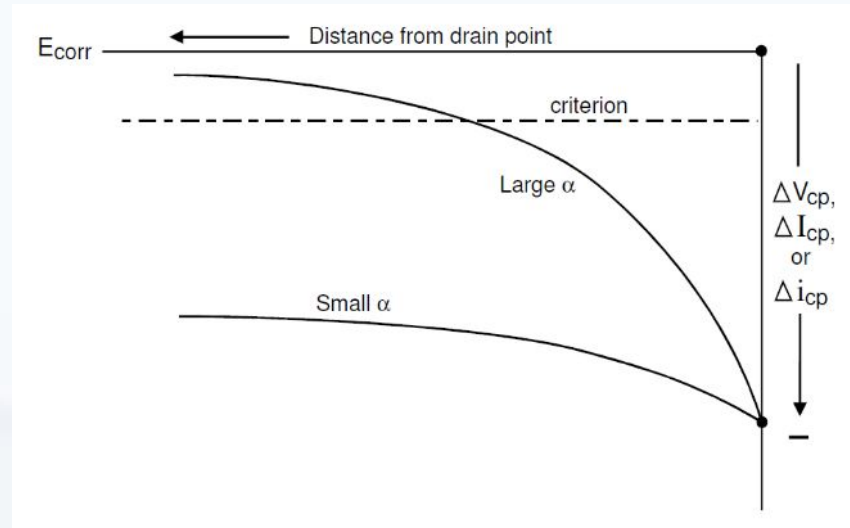
- *3LPE* ($f_c = 0,007$): $I_{tot} = 16,66 A$

- *Coal tar* ($f_c = 0,028$): $I_{tot} = 66,63 A$



Eficiência do revestimento na PC

Alcance da Proteção Catódica:



$\alpha \rightarrow$ coeficiente de atenuação

Pontos de atenção

Lembrando que não se pinta anodos!!!



Anodos pintados.

Corrosão atmosférica

Interface eletrólito-ar: reforço necessário no revestimento



2023

ORIG

Corrosão atmosférica

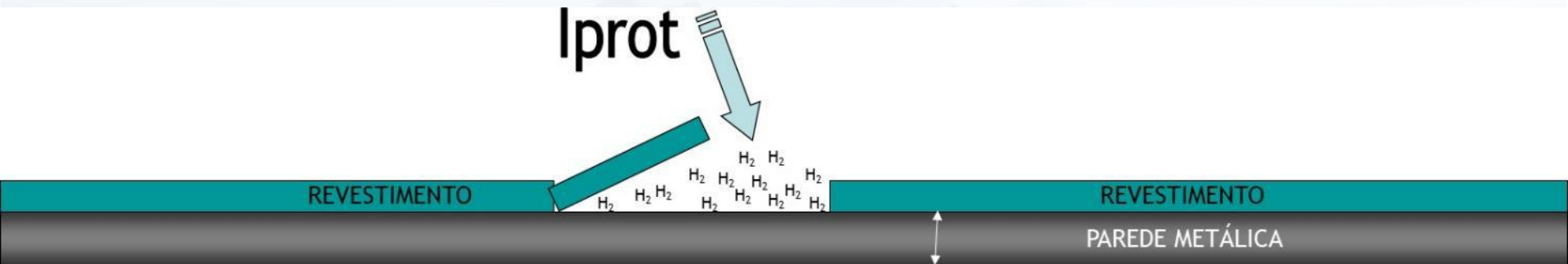
Suportes e apoios: evitar frestas e acúmulo de água



Superproteção catódica

Potenciais muito negativos causam descolamento do revestimento.

Teoria: Potenciais muito catódicos causam eletrólise da água, gerando hidrogênio, que pode causar descolamento de revestimento.

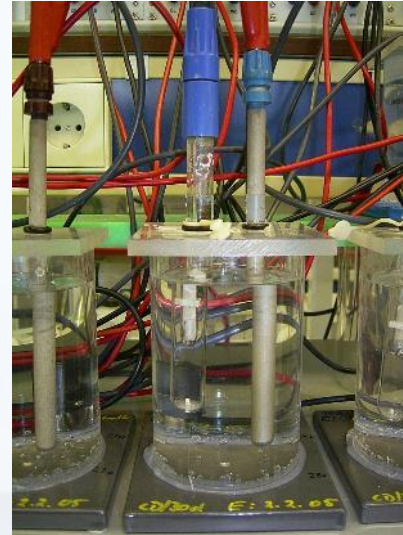
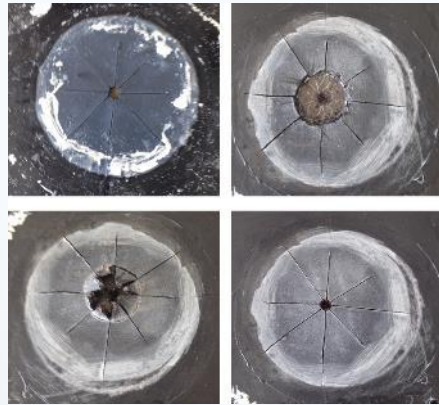


Superproteção catódica?



Ensaio de descolamento catódico

Ensaio de descolamento catódico:
ASTM G8, ASTM G42, ASTM G95, NACE TM0115, entre outros



Superproteção catódica

- Degradação de revestimentos antigos é muito maior que os modernos e descolamentos ocorreram em equipamentos com e sem superproteção catódica
- Preparação de superfície é fundamental para eliminam qualquer possibilidade de descolamento significativo
- Temperatura elevada pode acelerar o descolamento

Dutos terrestres

Abordagem dos EUA x resto do mundo

| Revestimento do duto | f_i | Δf |
|----------------------|-------|------------|
| FBE | 0,005 | 0,003 |
| 3LPE | 0,001 | 0,000 3 |

↓ eficiência

↓ interferências elétricas

↓ *shielding*

↑ eficiência

↑ interferências elétricas

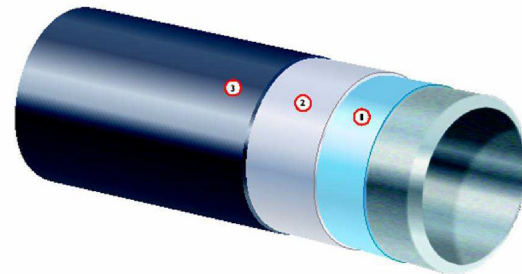
↑ *shielding*

Fusion Bonded Epoxy Powder Coating



① Fusion Bonded Epoxy

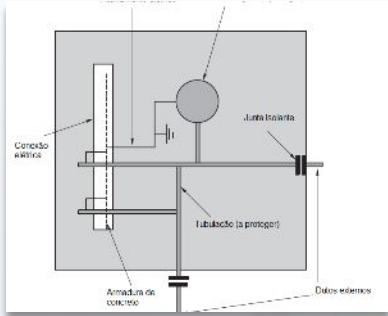
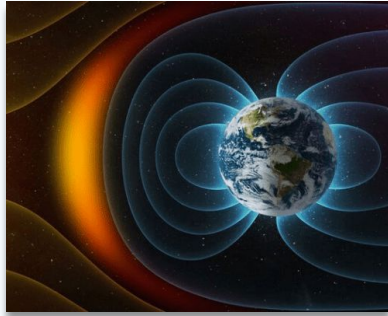
Three Layer Polyethylene Coating



① FBE ② Copolymer Adhesive ③ Polyethylene

Dutos terrestres

Interferências elétricas e outras anomalias:



Dutos terrestres

Shielding

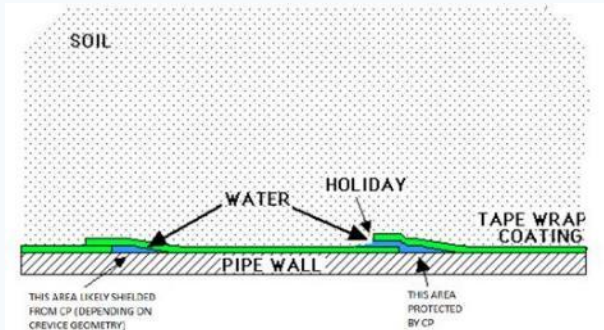
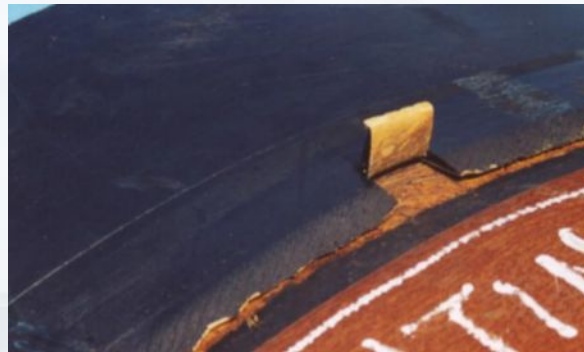


Ilustração do shielding em fitas e juntas de campo



shielding em juntas de campo

Ausência do FBE próximo ao colarinho



Dutos aquecidos

Corrosion under insulation (CUI)



Proteção interna de tanques

- Melhora significativa da eficiência dos revestimentos a partir dos anos 2000 (Epóxi Novolac 15 anos)
- Movimentação do fundo do tanque em função da carga pode gerar falhas até nos melhores revestimentos.



Proteção interna de tanques

Importância da instalação de anodos para proteger tanques que armazenam fluidos corrosivos:

| | |
|------|---|
| | Descrição: |
| TQ : | - Fundo - Aspecto Corrosivo |
| | Comentário: |
| | Fundo - As chapas do fundo onde se encontravam os anodos estão em bom estado. |



Proteção interna de tanques aquecidos

Temperaturas superiores a 60°C são um desafio para a proteção catódica, materiais e revestimentos.

Desgaste prematuro de anodos galvânicos (até mesmo inversão de polaridade):



Trincas na serpentina de aço inox (CST):



Proteção interna de tanques aquecidos

Possíveis alternativas:

PC: anodos galvânicos para alta temperatura ou sistema corrente impressa

Revestimento: tintas para alta temperatura

Serpentina: materiais resistentes



Conclusões

- Proteção catódica é uma excelente técnica anticorrosiva que não é concorrente da pintura e revestimentos
- Proteção catódica deve ser considerada mesmo para situações onde são utilizados revestimentos com eficiência próxima a 100%
- O conhecimento básico da técnica é fundamental para sua utilização adequada