

O maior evento internacional de corrosão que acontece no Brasil !

# INTERCORR ABRACO 2010

Centro de Convenções do Hotel Praia Centro  
Fortaleza/CE • 24 a 28 de Maio

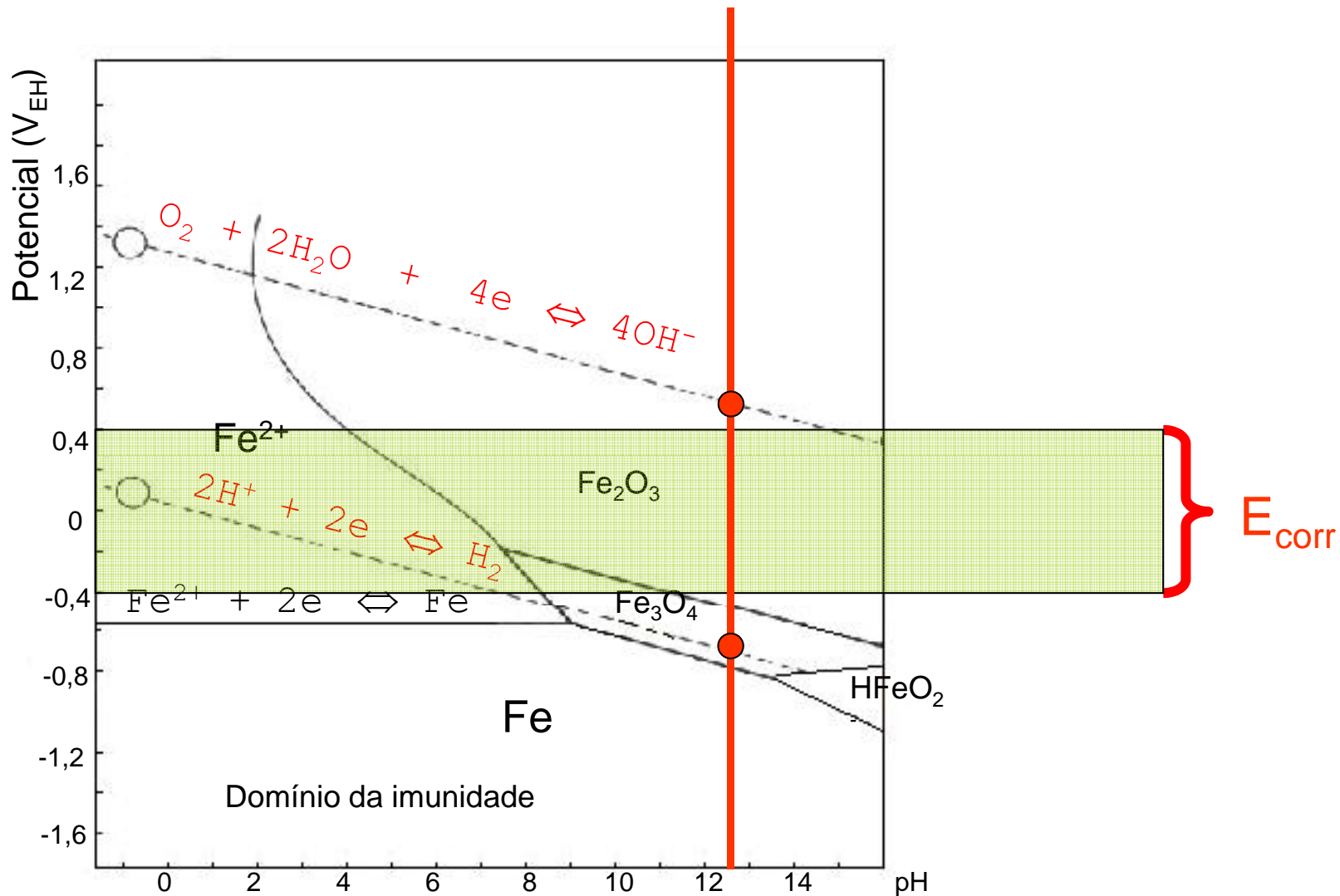


# Novas tecnologias para reparo e proteção contra corrosão de concreto armado

**Zehbour Panossian**

# ★ CONTEÚDO

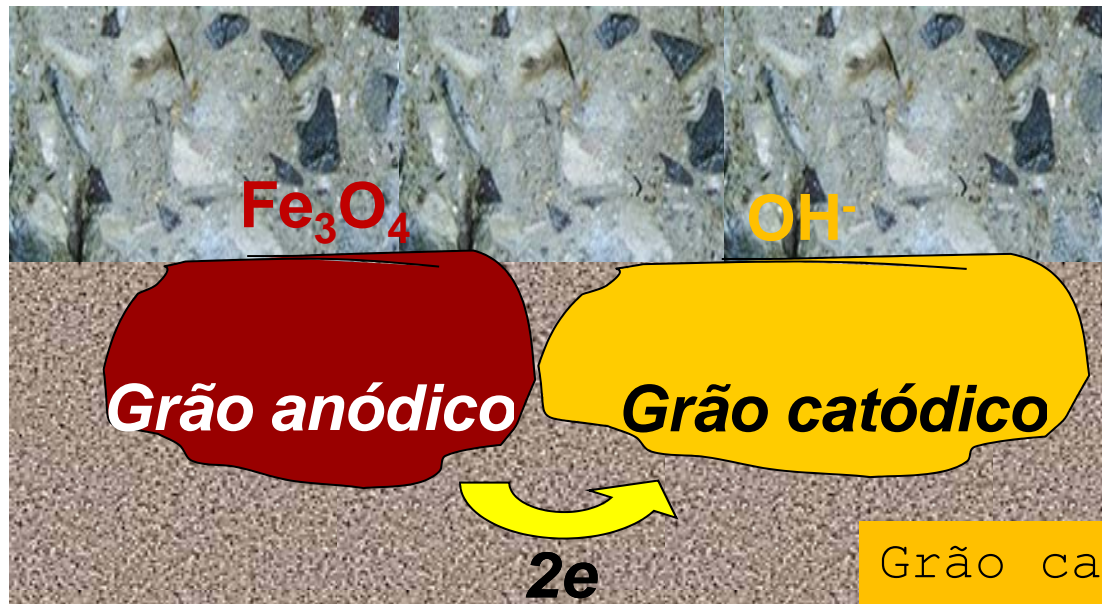
- **Introdução:** corrosão das armaduras
- **Principais fatores desencadeadores da corrosão de armaduras de concreto** (corrosão induzida por carbonatação e corrosão induzida por cloretos)
- **Reparo e prevenção contra corrosão**
  - Reparo (retirada do concreto danificado e reconstrução)
  - Uso de inibidores
  - Revestimento da superfície do concreto
  - Revestimento da armadura
  - Técnicas eletroquímicas (proteção catódica; realcalinização e extração de cloretos)



Na prática, os valores de  $E_{corr}$  são maiores do que o do equilíbrio do hidrogênio

Para  $pH = 12,5$  o potencial de equilíbrio do hidrogênio seria de  $-0,74 V_{EH} = -0,98 V_{ECS}$

# MICROPILHA DE CORROSÃO



Concreto  
Eletrólito

Armadura de aço

Grão catódico

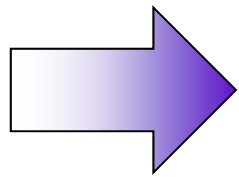


Grão anódico



# PASSIVAÇÃO DA ARMADURA

$O_2$   $H_2O$

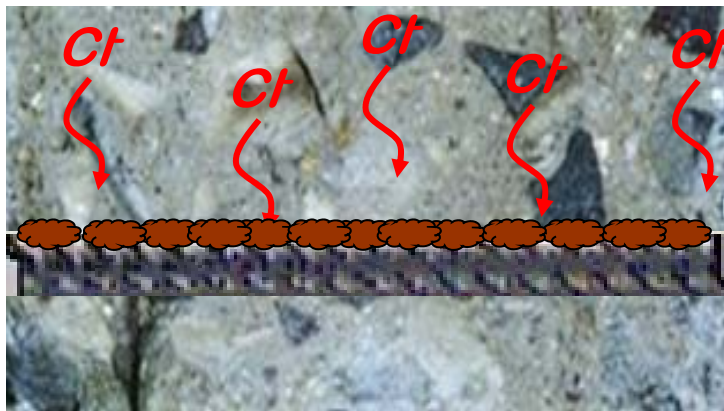
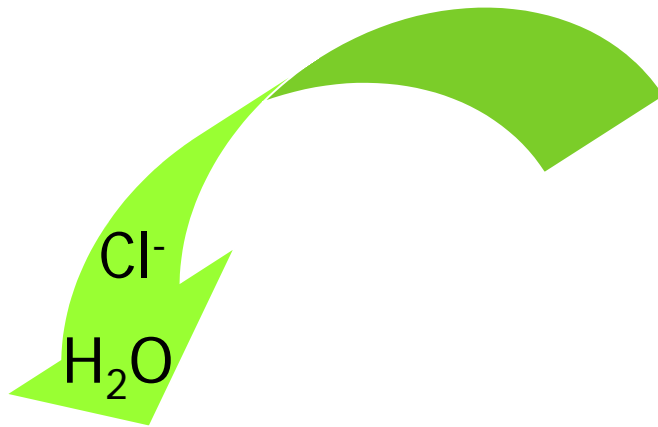


**Concreto  
Eletrólito**

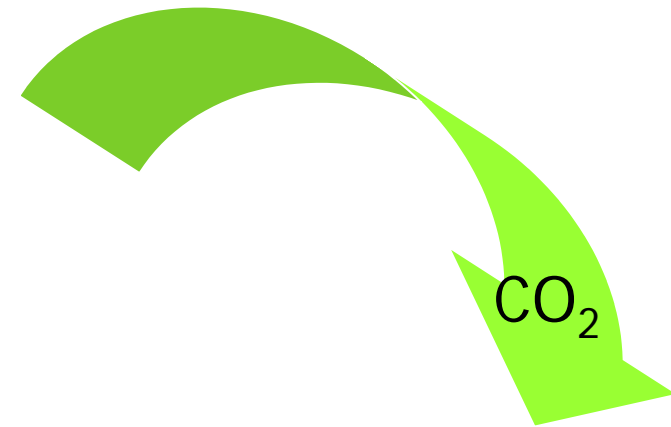
**Armadura de aço**

O aço passiva-se apresentando um excelente desempenho

# PRINCIPAIS CAUSAS DA CORROSÃO DAS ARMADURAS

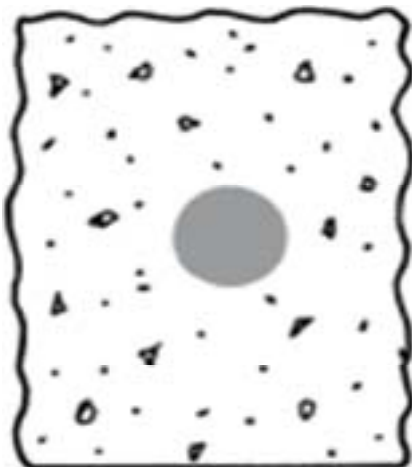
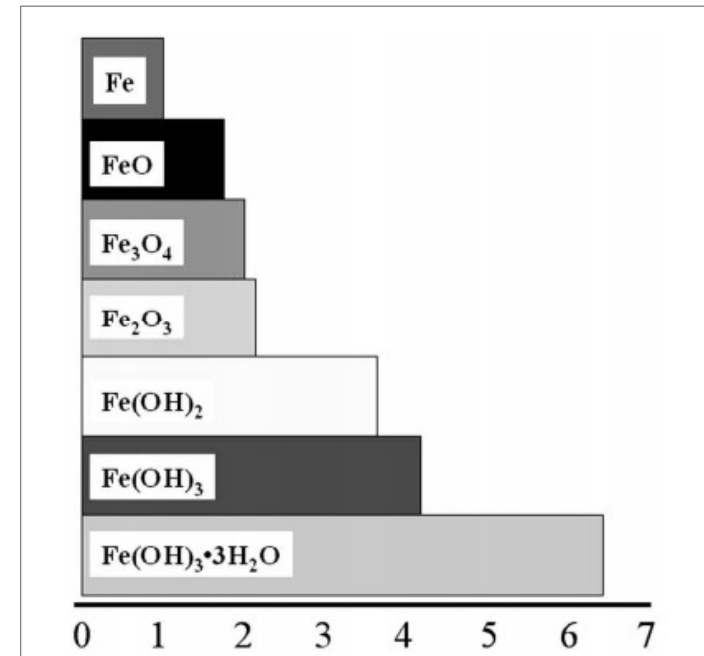


Inicialmente,  
quebra localizada  
da camada passiva  
pelos íons  $\text{Cl}^-$

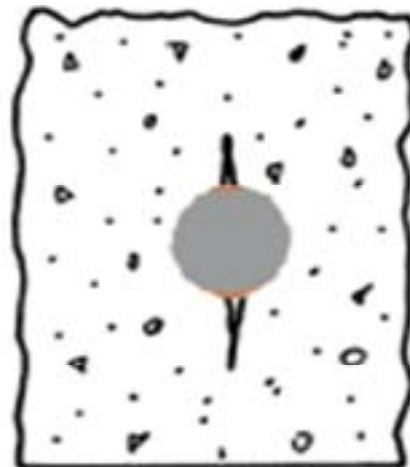


Diminuição do pH do  
concreto....pH < 8  
 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

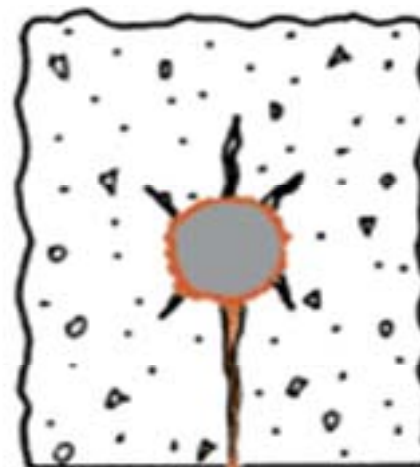
# Consequências da corrosão



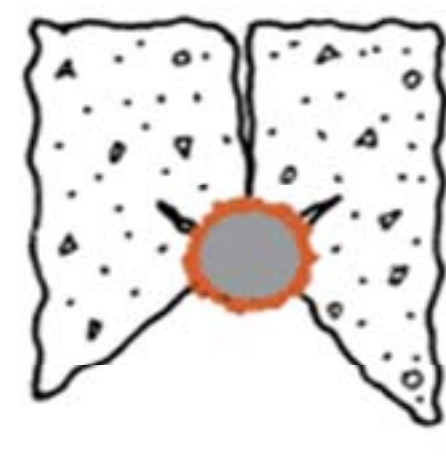
Antes da corrosão



Início da corrosão - formação de fissura



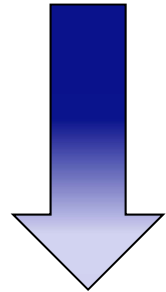
Propagação das fissuras



Exposição da armadura



★ Uma vez a estrutura comprometida ,  
deve ser reparada.



**Técnicas de reparo**

★ *O combate à corrosão  
inicia-se já na concepção  
do projeto*



**Técnicas de proteção**

# Novas tecnologias para reparo e proteção contra corrosão de concreto armado

# ★ MÉTODOS DE COMBATE OU PREVENÇÃO DA CORROSÃO

**Na visão clássica,** as quatro formas de combate à corrosão são:

- **seleção de materiais:** substituição do aço pelo aço inoxidável;
- **mudança do meio:** reparo (retirada do concreto danificado e reconstrução), uso de inibidores de corrosão, realcalinização e extração de cloretos;
- **revestimentos:** tratamento da superfície do concreto ou revestimento da armadura;
- **proteção catódica:** corrente impressa ou anodos de sacrifício.

# MÉTODOS DE REPARO PARA EXPOSIÇÕES ATMOSFÉRICAS



## NACE RP 0390

**Classe 1** - impedir ingresso dos agentes que determinam ou aceleram a corrosão:  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $Cl^-$  e  $CO_2$ . Adequado para concretos não-contaminados ou pouco contaminados. Para concretos contaminados, estende a vida por alguns anos:

- **tratamento da superfície do concreto.**

**Classe 2** - alterar o meio junto às armaduras (mais adequadas para estruturas muito contaminadas):

- **reparo (retirada do concreto danificado e reconstrução);**
- **realcalinização ou extração de cloretos;**
- **proteção catódica.**



# MÉTODOS DE PREVENÇÃO DA CORROSÃO

## NACE RP 0187

**Seleção de materiais:** o uso de aços mais resistentes como os aços inoxidáveis (prevenção).

**Tratamento do concreto:** melhorar as características do concreto (a/c, espessura de cobrimento, inibidores e aditivos) e tratar a superfície do concreto.

**Tratamento do aço:** aplicar revestimento orgânico ou metálico.

**Técnicas eletroquímica:** proteção catódica, realcalinização e extração de cloretos.

# ★ Abordagem aqui....

- **Reparo (retirada do concreto danificado e reconstrução)**
- **Uso de inibidores.**
- **Revestimento da superfície do concreto.**
- **Revestimento da armadura**
- **Técnicas eletroquímicas**
  - proteção catódica
  - realcalinização
  - extração de cloretos.

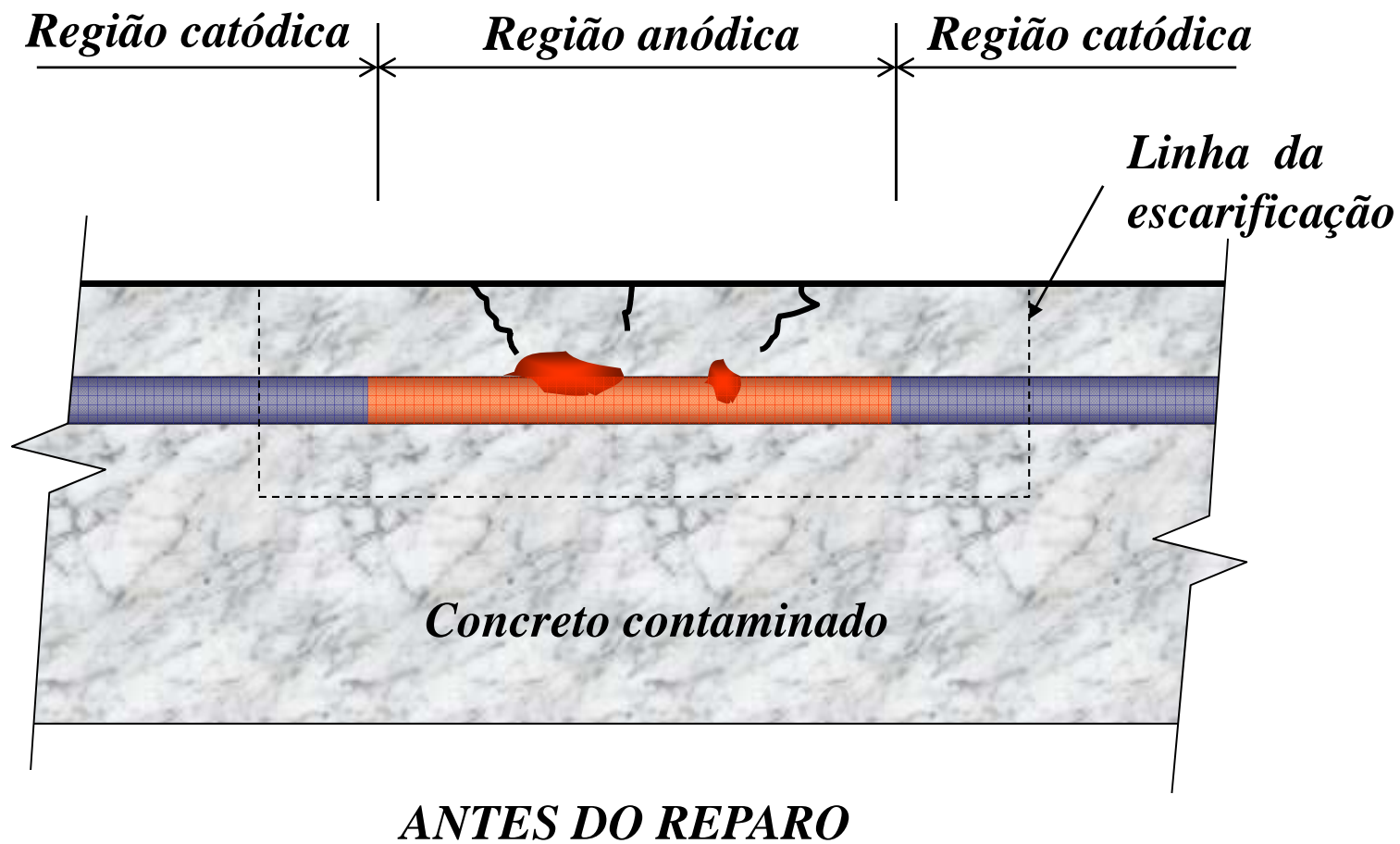
Usadas no  
BRASIL

Pouco usadas no  
BRASIL

**Reparo**  
**(retirada do concreto**  
**danificado e**  
**reconstrução)**



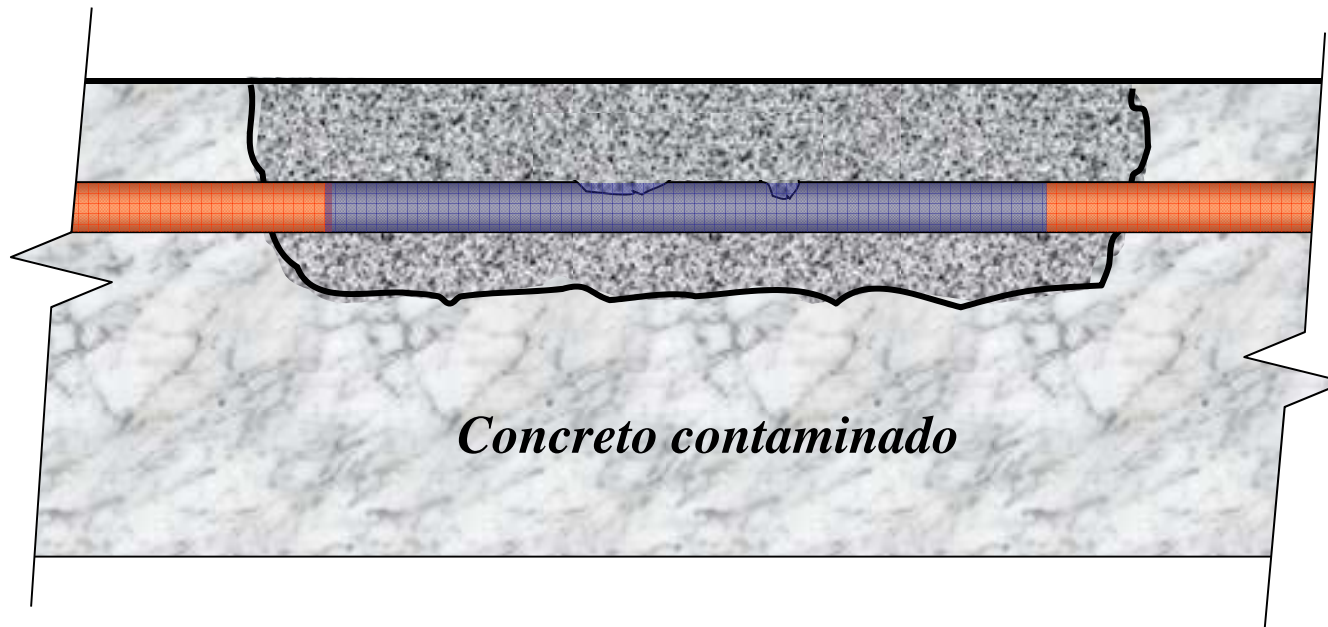
# REPARO (RETIRADA DO CONCRETO DANIFICADO E RECONSTRUÇÃO)



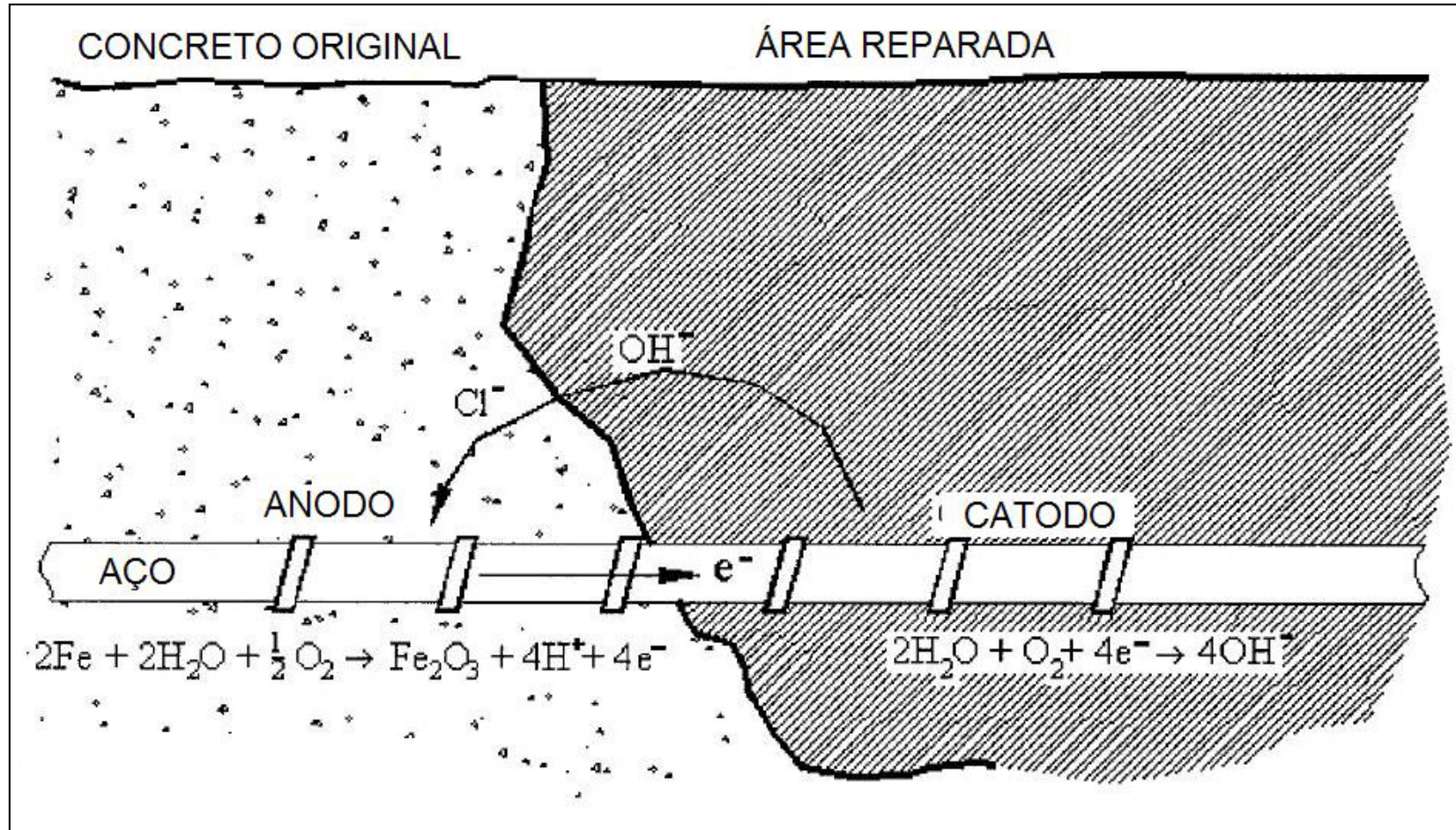
# REPARO (RETIRADA DO CONCRETO DANIFICADO E RECONSTRUÇÃO)

Reparo localizado: a argamassa cimentícia modificada com polímeros e adições microssílica e fibras)

...ou adição de inibidores.....

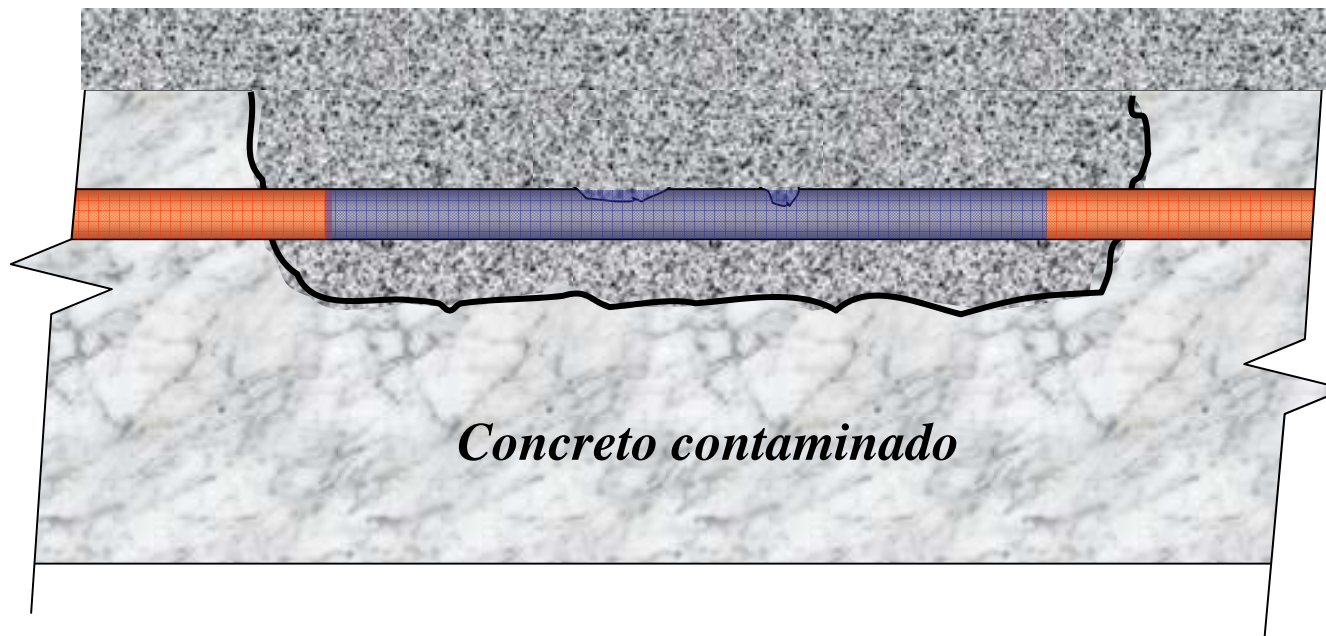


# ★ INCOMPATIBILIDADE ELETROQUÍMICA



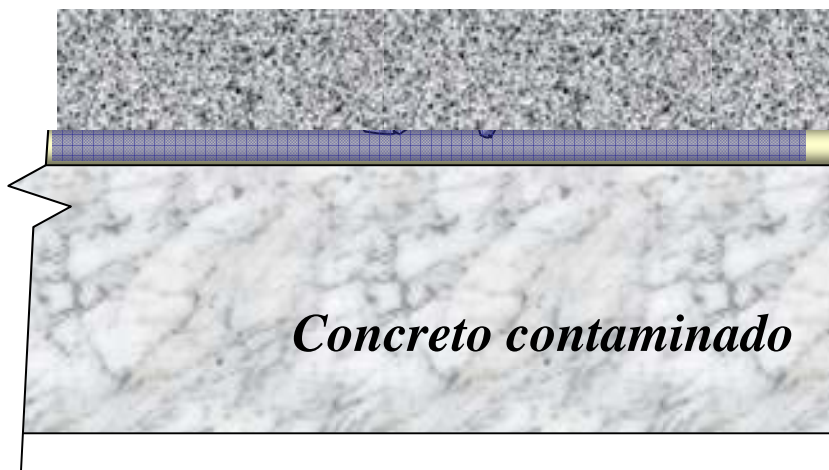
# REPARO (RETIRADA DO CONCRETO DANIFICADO E RECONSTRUÇÃO)

Reparo localizado: pode-se aplicar a mesma argamassa por toda a superfície do concreto (estucamento) para melhorar o desempenho da obra de maneira geral ou para questões estéticas ..... ou pintura de proteção.....



*Resolve por alguns anos....*

Para evitar a incompatibilidade eletroquímica ou em concreto muito contaminado ou corrosão generalizada das armaduras, pode-se fazer reparo generalizado



*Inibidores*

# ★ INIBIDORES

## DEFINIÇÃO

Inibidores são substâncias que se adicionadas ao concreto diminuem a velocidade de corrosão sem causar grandes modificações no concreto.

## INIBIDORES NA MASSA DE CONCRETO OU ARGAMASSA DE REPARO

- inorgânicos (nitritos)

## INIBIDORES NA SUPERFÍCIE DO CONCRETO

- Líquidos (fosfatos).
- Inibidores fase vapor (**IVC** – inibidores voláteis de corrosão).

} Não usual  
no Brasil



## INIBIDORES NA MASSA DE CONCRETO OU ARGAMASSA TÉCNICA USADA NO BRASIL

- **nitritos (nitrito de cálcio, pode ser também de sódio, potássio e bário):** são eficiente pois favorecem a passivação, inclusive na presença de cloreto desde que a razão nitrito/cloreto seja maior que pelo menos 1,8 (outros valores aparecem na literatura).
- **benzoato de sódio e cromatos:** a ação é muito semelhante aos nitritos.



# INIBIDORES NA SUPERFÍCIE DO CONCRETO



## TÉCNICA NÃO-USUAL NO BRASIL

### **MFP (monofluor fosfato)**

Usado na forma líquida aplicada sobre a superfície do concreto endurecido.

Atravessa a camada de cobrimento por capilaridade. Há relatos que é bastante eficiente em concreto carbonatado.

# INIBIDORES NA SUPERFÍCIE DO CONCRETO



## TÉCNICA NÃO-USUAL NO BRASIL

### **Inibidores voláteis de corrosão:**

- surgiram na década de 80, quando uma empresa americana percebeu que os IVCs poderiam difundir-se através dos poros do concreto e atingir a superfície da armadura e protegê-la;
- existem no mercado muitos produtos proprietários, sendo compostos a base de aminas e ésteres;
- os inibidores difundem-se na fase vapor rapidamente através dos poros e fissuras do concreto atingindo a superfície da armadura;

# INIBIDORES NA SUPERFÍCIE DO CONCRETO



## TÉCNICA NÃO-USUAL NO BRASIL

### **Inibidores voláteis de corrosão:**

- estudos mostraram que são eficientes para concretos com contaminação com cloretos. Determinam um aumento da concentração crítica de cloretos (causam aumento do potencial de pite);
- são aplicados principalmente como revestimentos;
- também incorporados na argamassa de reparo ou colocados em forma de plugues.

*Revestimento*  
*do*  
*Concreto*

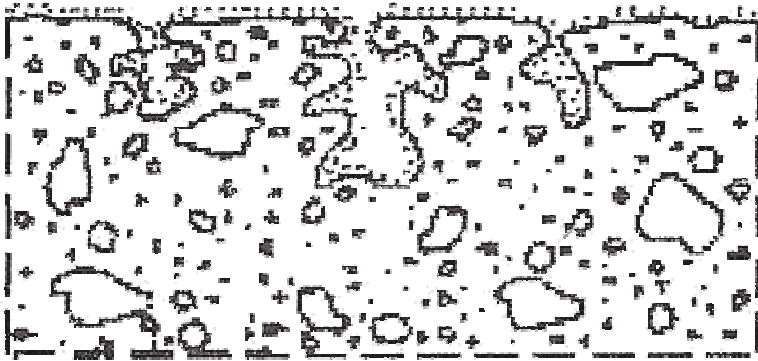
# ★ REVESTIMENTO DO CONCRETO

Uma das maneiras mais práticas e econômicas de garantir e/ou aumentar a durabilidade das estruturas de concreto.

**OBJETIVO:** restringir o acesso dos agentes responsáveis pela corrosão das armaduras: água, oxigênio, cloretos e  $\text{CO}_2$ .

**Estruturas novas (preventiva):** evitar ou minimizar a entrada de agentes agressivos (cloretos e  $\text{CO}_2$ ) e controlar o ingresso da água.

**Estruturas existentes (conservação):** minimizar o ingresso de água.

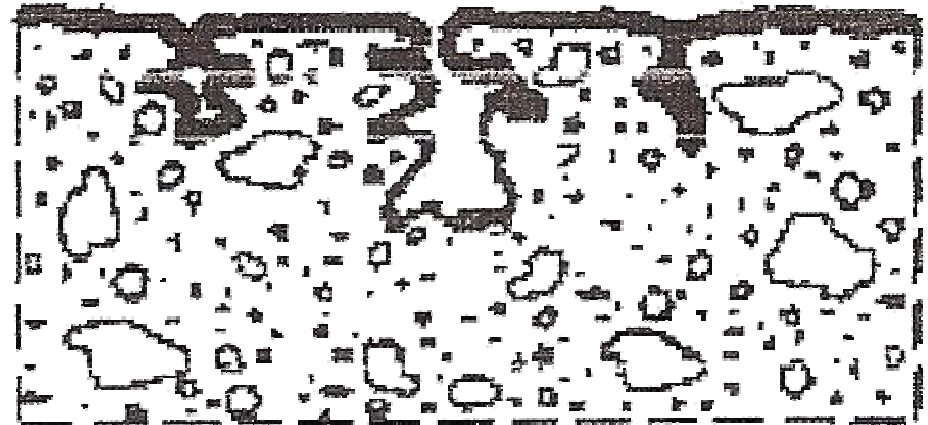


### Impregnação hidrofóbica

Restringe a entrada da água e consequentemente de cloretos.  
O concreto respira.

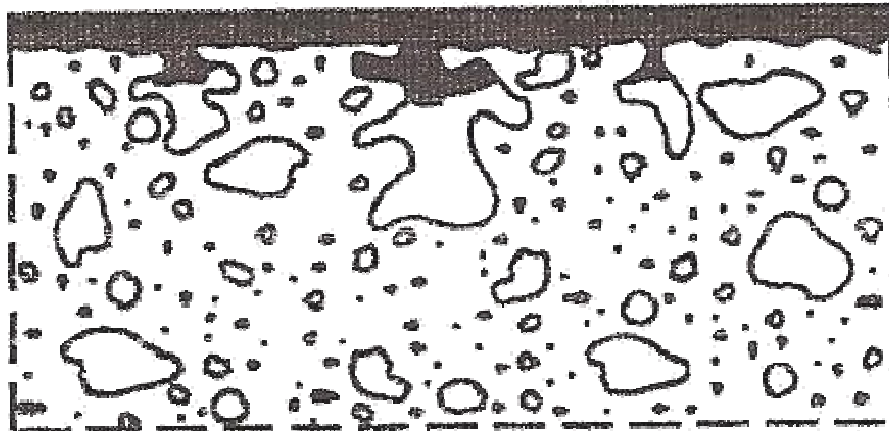
### Impregnação

Diminui a entrada da água  
e o tipo cristalizante  
aumenta dureza.  
O concreto respira



### Revestimento

Especificamente para  
penetração de gases, água  
e cloretos.  
O concreto não respira.



# ★ REVESTIMENTO DO CONCRETO

- Todos os tipos são usados no Brasil.
- Novidade: normas internacionais específicas para revestimento de concreto indicam ensaios e apresenta critérios:
  - Hidrofugante: permeabilidade à água líquida.
  - Impregnante: permeabilidade à água e resistência à abrasão
  - Revestimento: permeabilidade à água líquida ou vapor d'água e aos gases incluindo o CO<sub>2</sub>.

# Revestimento da armadura

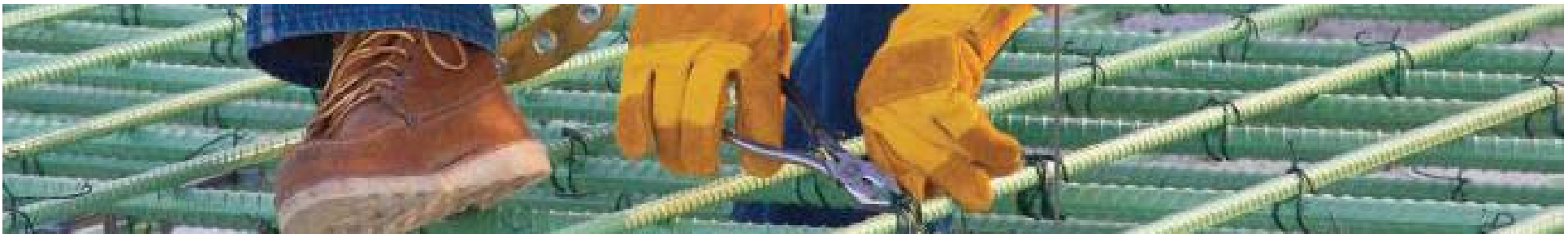
**Orgânico**

**FBE - Fusion Bond Epóxi**



## ★ REVESTIMENTO DA ARMADURA - FBE

- Tem sido usada no exterior desde 1973, para proteção de armaduras usadas em regiões onde se usa sal de degelo. Uso estendido para ambientes marinhos.
- Portanto para cloretos.
- A aplicação é feita eletrostaticamente com resina epóxi finamente dividida depois submetida a cura a temperatura elevada.



# ★ REVESTIMENTO DA ARMADURA - FBE

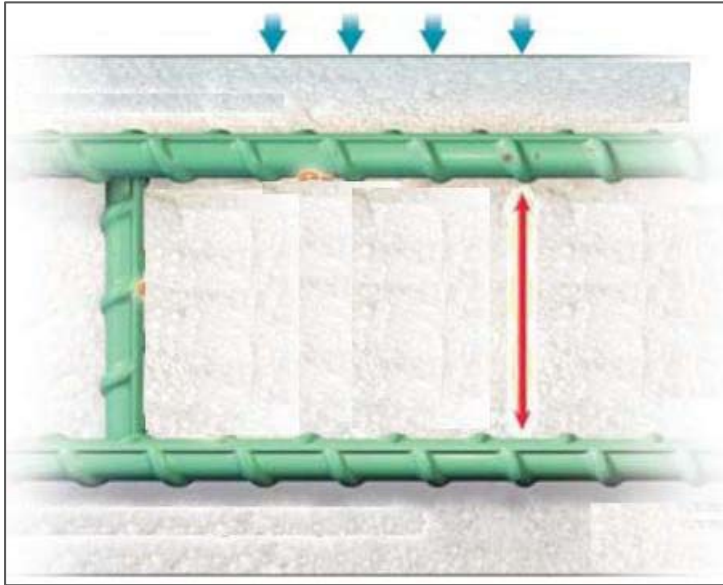
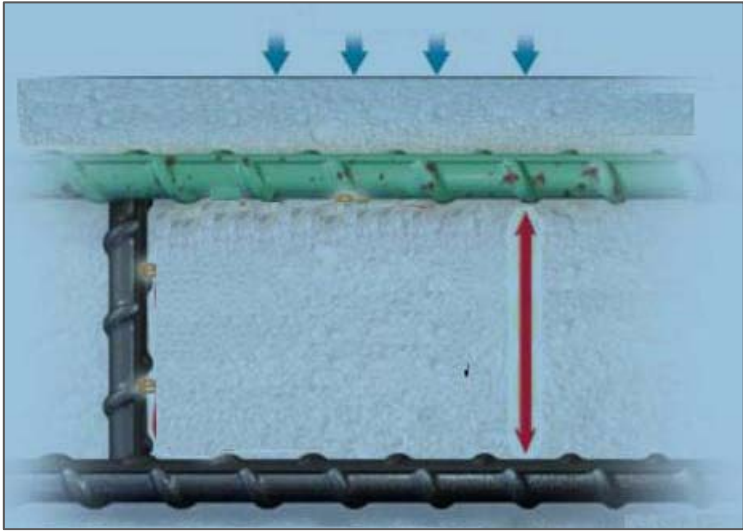
- Nos EUA, muito utilizado pelo departamento de transporte (em pontes e viadutos).
- Muitas falhas detectadas:
  - ineficiente preparo de superfície antes da aplicação da tinta;
  - manuseio inadequado durante a construção que determinou falhas mecânicas na camada de tinta.



# ★ REVESTIMENTO DA ARMADURA - FBE

- Década de 90: melhoria da qualidade das barras revestidas, cuidados na produção, no armazenamento, no transporte e na montagem das armaduras.
- ASTM A 775 (1981, hoje versão 2007) recomenda:
  - Menor número de defeitos possíveis - Holliday detector (3 defeitos por metro de barra).
  - área danificada na produção ou na montagem deve ser reparada: máximo 2% de área reparada para cada 0,3 m.
  - espessura entre 175  $\mu\text{m}$  a 400  $\mu\text{m}$ ;
  - dobramento em mandril especificado para não causar danos.







- Não se usa no Brasil.
- Não há mercado desenvolvido.
- Há tecnologia: Gerdau tem plantas nos EUA e não no Brasil.

# Revestimento da armadura

**Metálico  
Zinco**

**Aço galvanizado**

# REVESTIMENTO DA ARMADURA – AÇO GALVANIZADO



A camada de zinco aplicada sobre a armadura tem três funções:

- barreira;
- proteção catódica;
- produtos de corrosão não-expansivos.



# REVESTIMENTO DA ARMADURA – AÇO GALVANIZADO



No exterior, usado há mais de 50 anos, especialmente Austrália, Holanda, Bermuda, Itália, Inglaterra e EUA.



Inicialmente, destinado a concreto carbonatado, mais tarde estendido para o concreto contaminado com cloretos.



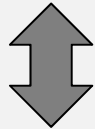
# ★ AÇO GALVANIZADO

- o zinco por ser anfótero:

- meio muito alcalino
- meio muito ácido

Ataque  
severo

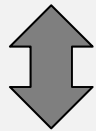
- pH 8 a 12,5



Barreira protetora

Adequado para  
concreto carbonatado

- Concreto com Cl<sup>-</sup>



$$> T_{\text{crít Cl}^-} e V_{\text{Fe-corr}} = (4 \text{ a } 5) \times V_{\text{Zn-corr}}$$

Adequado  
para concreto  
com Cl<sup>-</sup>

# ★ AÇO GALVANIZADO

- Zn/concreto novo: ataque pronunciado do zinco e formação de hidroxizincita de caráter protetor.



Consumo de ~10 µm de Zn



ASTM A A767 (2009):

Classe I	∅ =10 mm	915 g/m <sup>2</sup>	130 µm
	∅ ≥13 mm	1070 g/m <sup>2</sup>	150 µm
Classe II	∅ ≥10 mm	610 g/m <sup>2</sup>	85 µm

- Cromatização mandatória (apesar das questões ecológicas).
- Defeito < 1% da área a cada 0,3 m
- Permite reparo dos defeitos com tintas ricas em zinco.



*Watford Highway - Bermuda.*

Ambiente marinho de alta agressividade  
Obra construída há 50 anos

Sujeito a sal de degelo  
Bom desempenho há mais de 30 anos.



*Athens Bridge - Pennsylvania.*

# ★ Abordagem aqui....

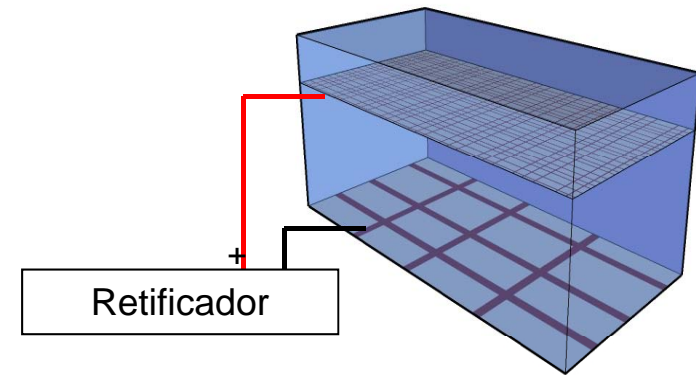
- Reparo (retirada do concreto danificado e reconstrução)
- Uso de inibidores.
- Revestimento da superfície do concreto.

Usado no  
BRASIL

- Revestimento da armadura
- Técnicas eletroquímicas
  - proteção catódica.
  - realcalinização;
  - extração de cloretos.

Pouco usado no  
BRASIL

# ★ PROTEÇÃO CATÓDICA

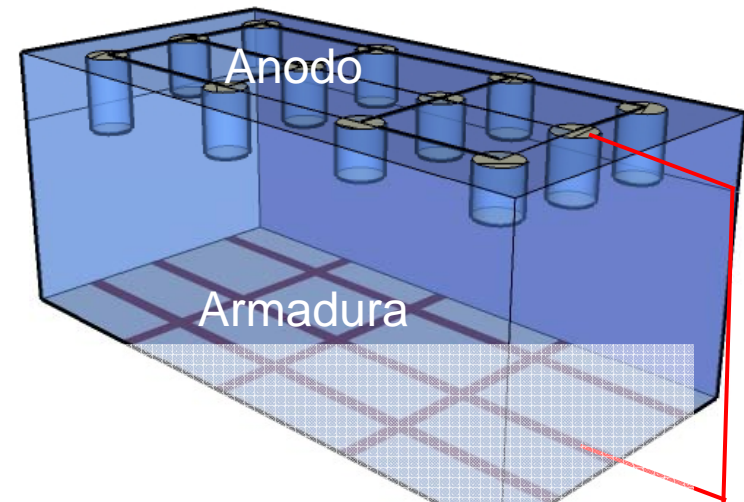


## Corrente impressa - método tradicional

Consiste em instalar um leito de anodos na superfície do concreto, proteger este leito com uma camada de revestimento, em geral cimentício, e por meio de uma fonte externa aplicar uma corrente catódica (pólo positivo conectado ao anodo e o negativo à armadura), de modo a tornar a armadura catódica.

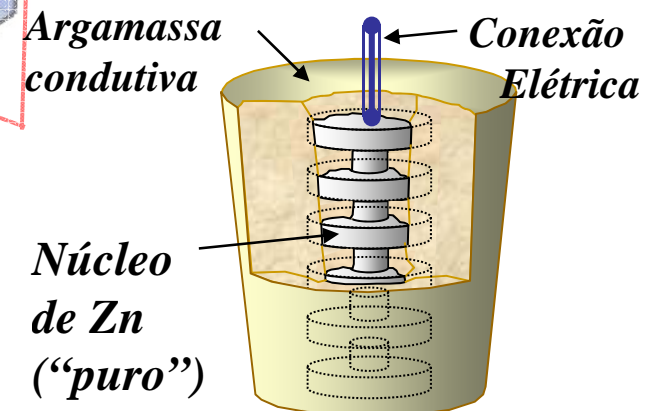
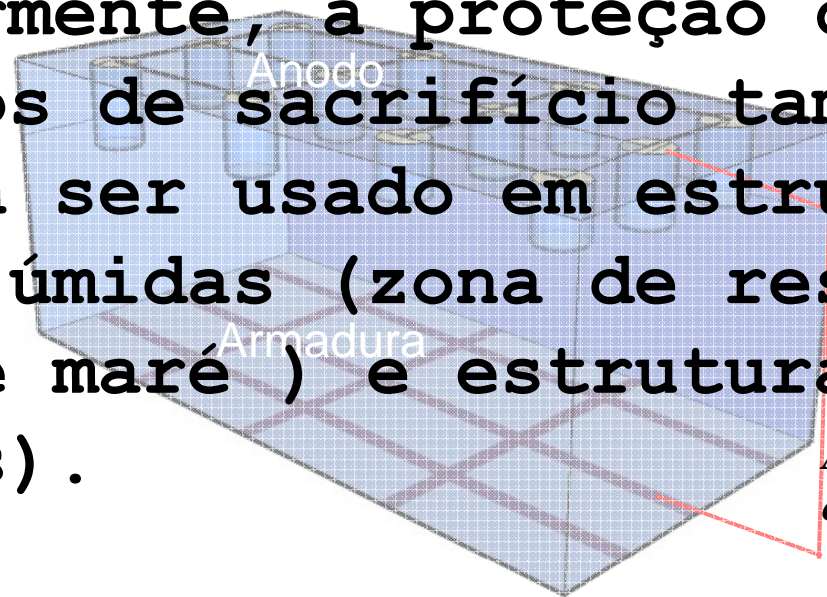
Mais adequado para estruturas atmosféricas.

# ★ PROTEÇÃO CATÓDICA

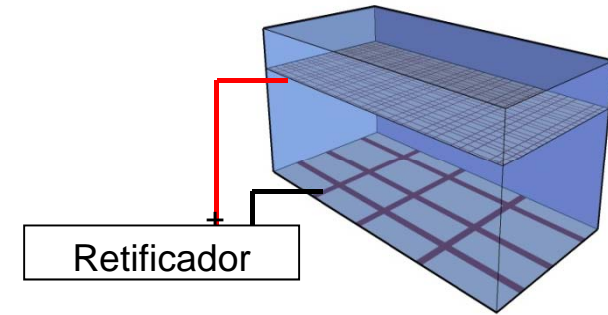


Por anodo de sacrifício

Posteriormente, a proteção catódica por anodos de sacrifício também começou a ser usado em estruturas de concreto úmidas (zona de respingos e varias de maré ) e estruturas submersas).



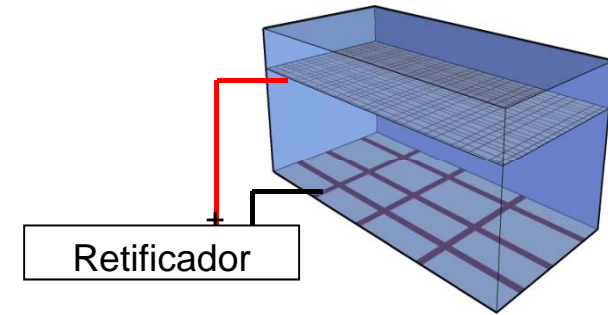
# ★ PROTEÇÃO CATÓDICA



## Aplicação

- É mais usado em estruturas sujeitas a contaminação com cloretos (ambiente marinho) devido ao fato da presença de cloreto diminuir a resistividade do concreto.
- Pode perfeitamente ser usada em construções novas, para prevenção da corrosão
- Só para lembrar: deve-se reparar o concreto pois trincas e vazios são caminhos preferenciais de corrente.

# ★ PROTEÇÃO CATÓDICA

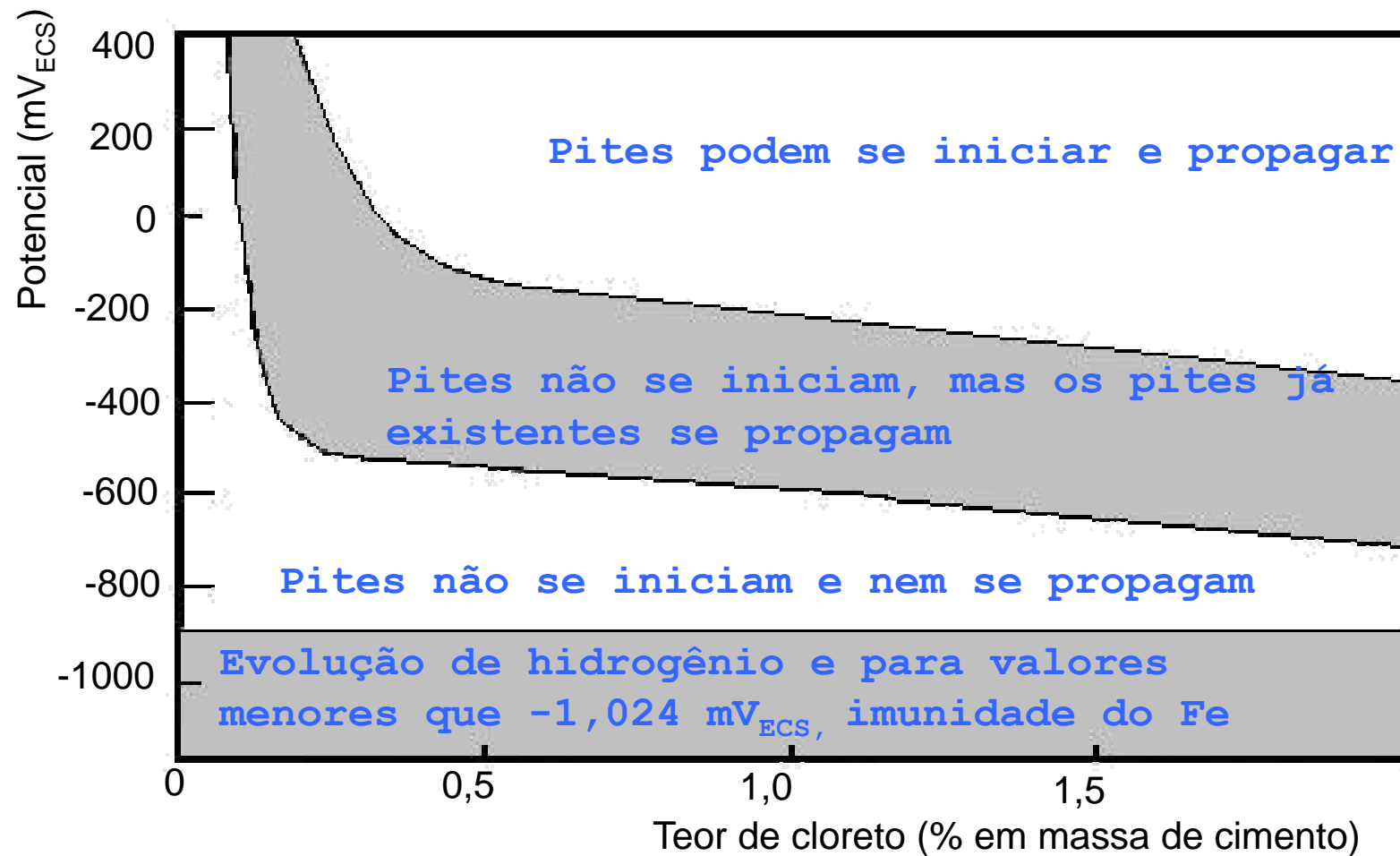
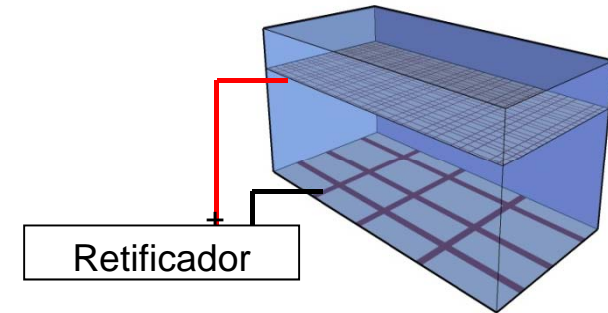


## Princípio

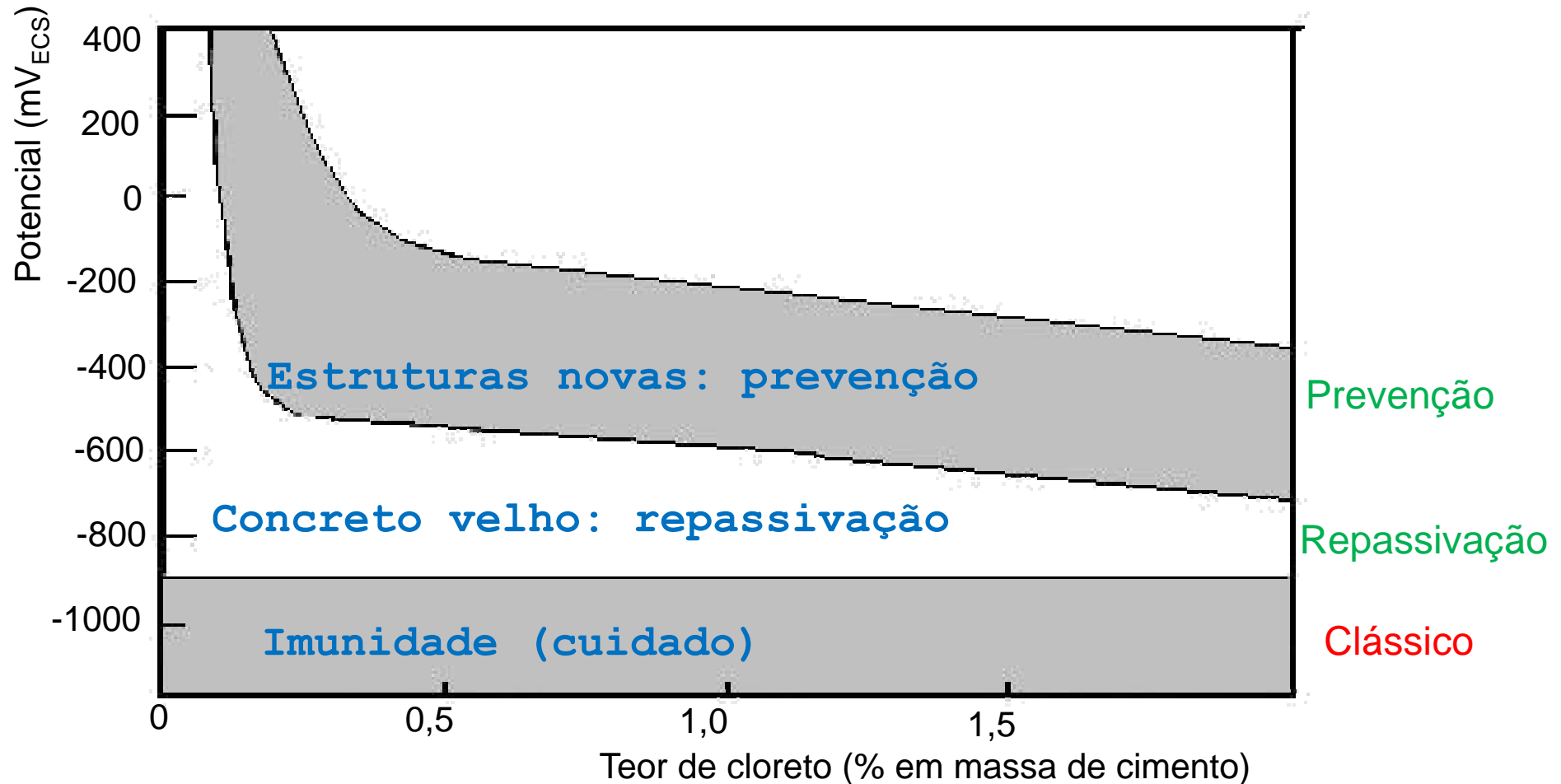
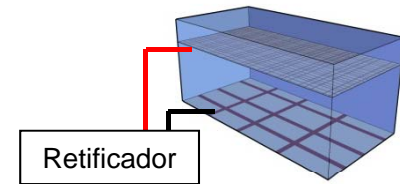
- Classicamente, o potencial da interface é levado para o domínio da imunidade no diagrama de Pourbaix.
- Em concreto, o conceito clássico de PC é aplicado estruturas submersas e o conceito de proteção e repassivação em estruturas atmosféricas.
- Em concreto protendido, mesmo imerso, os potenciais mais baixos alcançados não devem ultrapassar o potencial de equilíbrio do hidrogênio, pois há perigo de danificação por hidrogênio.



# ★ PROTEÇÃO CATÓDICA

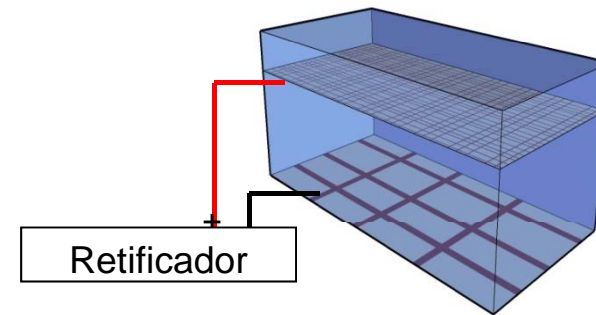


# ★ PROTEÇÃO CATÓDICA



Em qualquer uma das situações ocorre alcalinização do meio: quanto menor o potencial maior a alcalinização. Esta alcalinização é benéfica (desde que não excessiva)

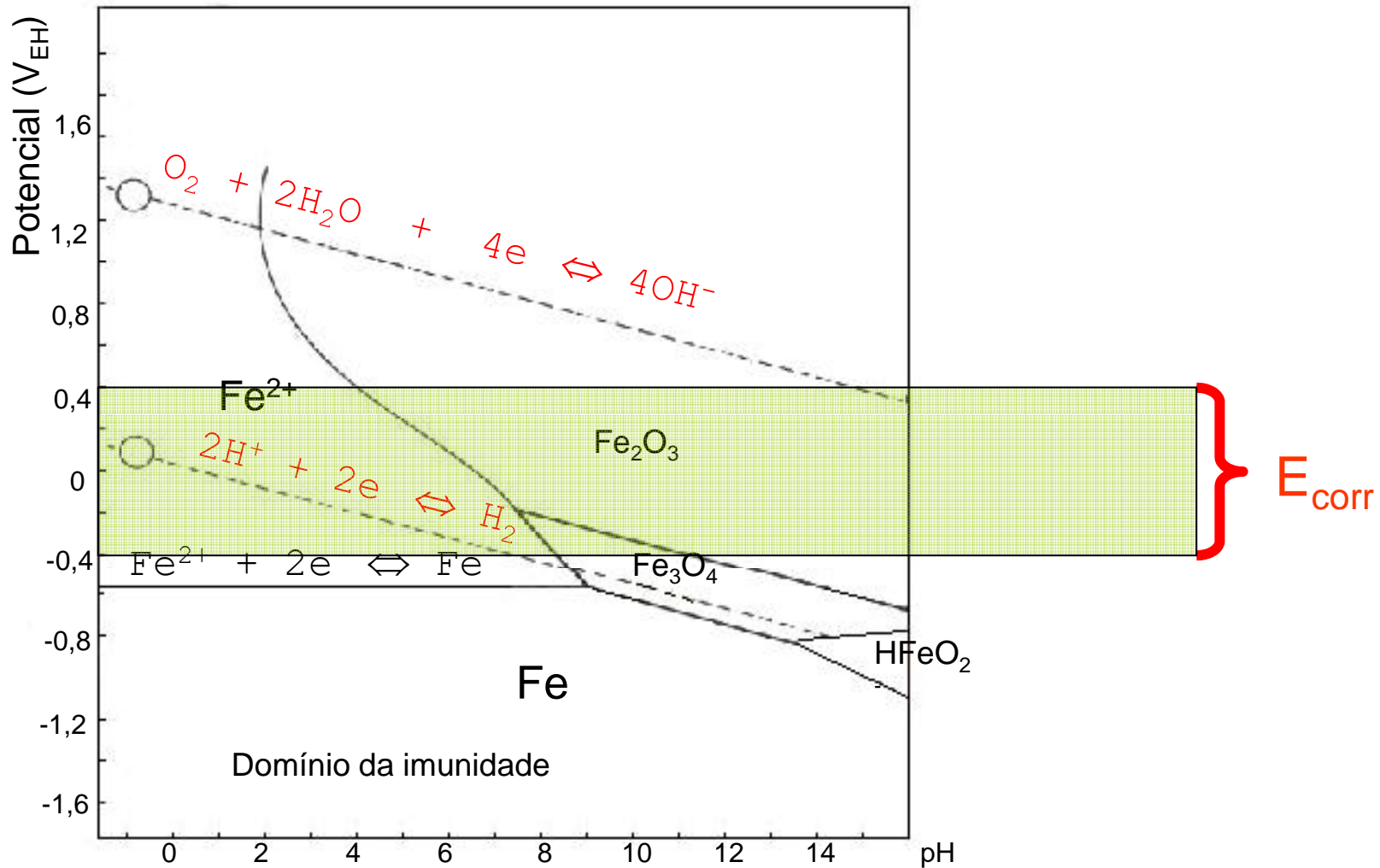
# ★ PROTEÇÃO CATÓDICA



Existem vários critérios empíricos alguns estabelecem valores de potencial outros de corrente.

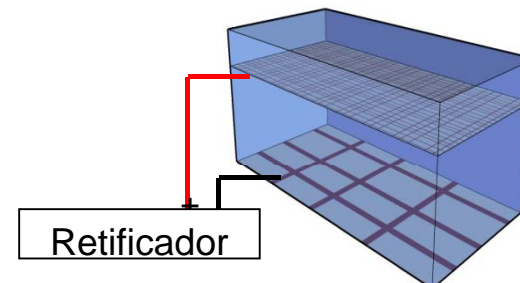
Mais usado: polarização real de 100 mV (sem RI)

- Polarização anódica: diminuição  $i_{\text{corr}}$  e mudanças nas características de concreto (alcalinização e diminuição do teor de cloretos) junto à armadura.
- Mudanças: repassivação da armadura com o tempo (meses a anos).



Mais usado: polarização real de 100 mV (sem RI)

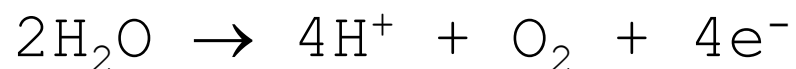
# ★ PROTEÇÃO CATÓDICA



## CORRENTE IMPRESSA

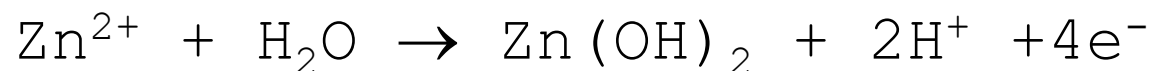
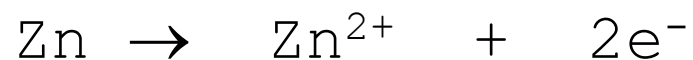
- Fonte de corrente, anodos inertes ou consumíveis, circuito de retorno de corrente.
- Reações no anodo:

anodos inertes:



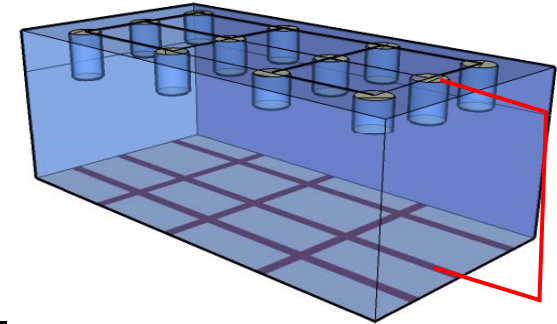
} Acidificação

anodos consumíveis:



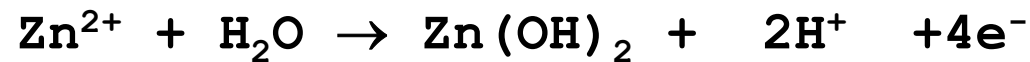
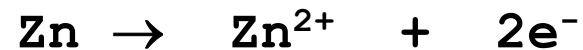
} Acidificação +  
produtos de  
corrosão

# ★ PROTEÇÃO CATÓDICA



## ANODOS DE SACRIFÍCIO (Zn e Al-20Zn-2In) ;

- Em condições adequadas (alta umidade), a corrente que flui neste sistema é capaz de atender o critério de 100 mV de polarização real;

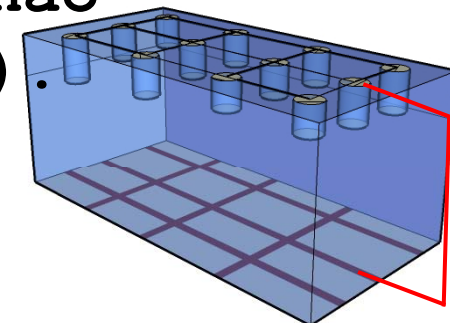
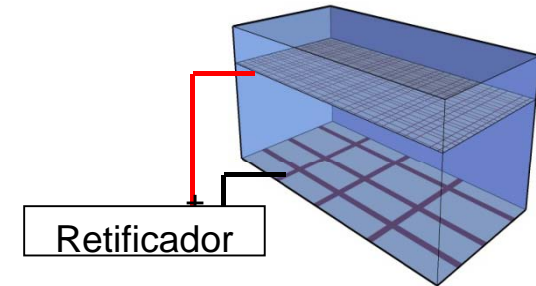


Acidificação +  
produtos de  
corrosão

- $I_{\text{galvânica}}$  pode diminuir com o tempo devido ao acúmulo dos produtos da corrosão do zinco, diminuindo a eficiência.
- Vantagem: os anodos galvânicos impõem um potencial na armadura acima  $E_{\text{H}^{+}/\text{H}_2}$ , sendo muito seguros para concreto protendido

# ★ PROTEÇÃO CATÓDICA

- Não recompõe o aço. Portanto se a armadura perdeu seção, deve ser trocada....
- Degradação do concreto por reação álcali-agregado se cuidados não forem tomados para evitar a alcalinização excessiva.
- Descolamento do concreto da armadura se cuidados não forem tomados para evitar a adoção de correntes excessivas.
- Trincamento por hidrogênio em concreto protendido se cuidados de projeto não forem tomados (corrente excessiva).
- Acidificação junto aos anodos.

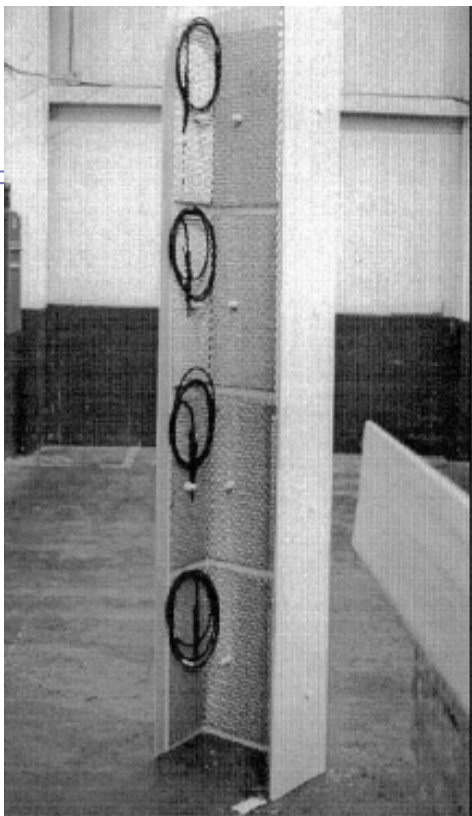


# Anodos de zinc





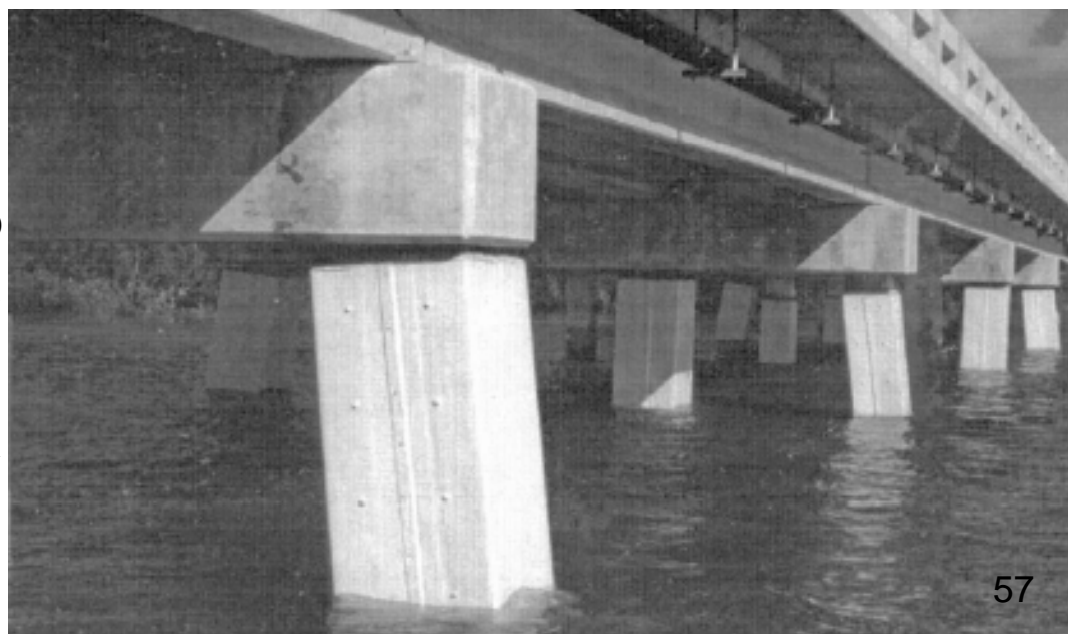
Forma de fibra de vidro já com anodos de malha de zinco (pode ser de Ti para anodo inerte)



Aplicação associada ao reforço da peça (encamisamento).

Aplicação em estrutura exposta a variação de maré.

Obras novas e existentes.



## ★ REVESTIMENTO DE ZINCO APLICADO A QUENTE

Aplicação requer preparação da superfície e adesivo iônico condutivo como primer.

Aplicação requer equipamento apropriado e pessoal treinado.

Espessura entre 0,02 mm a 0,40 mm.

Alto custo.

Pode ser associada à corrente impressa.

Obras novas e existentes.





*Niles Channel Bridge*

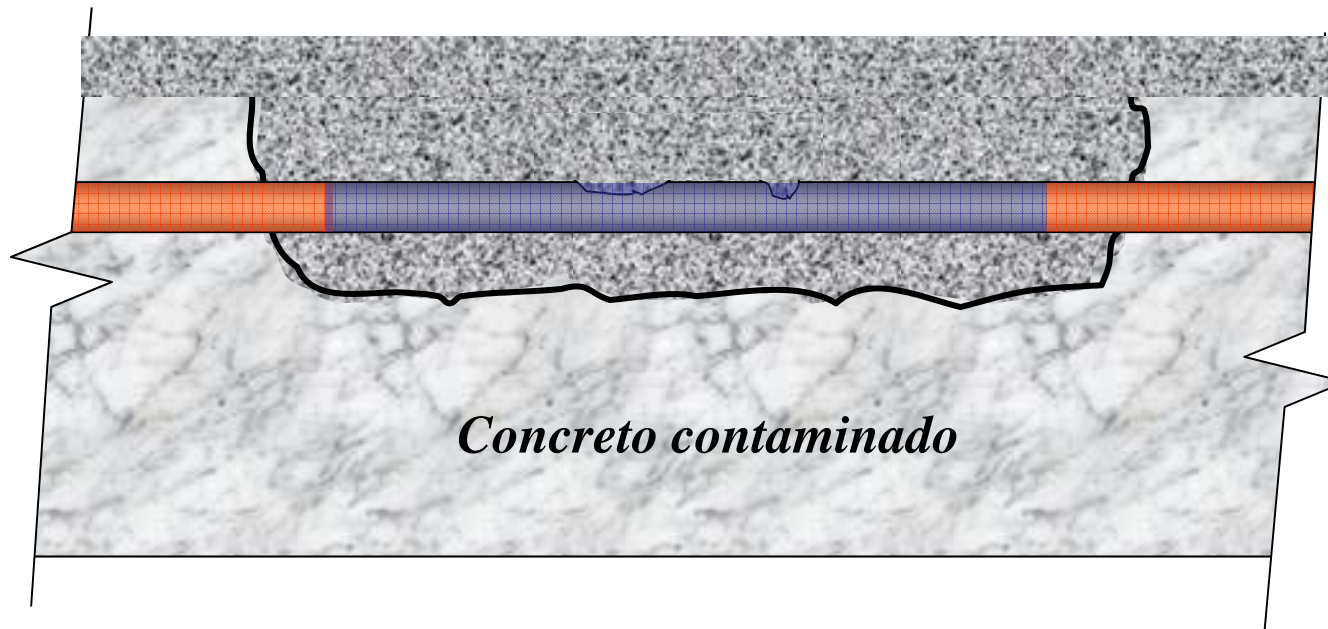


*Julia Tuttle Bridge*

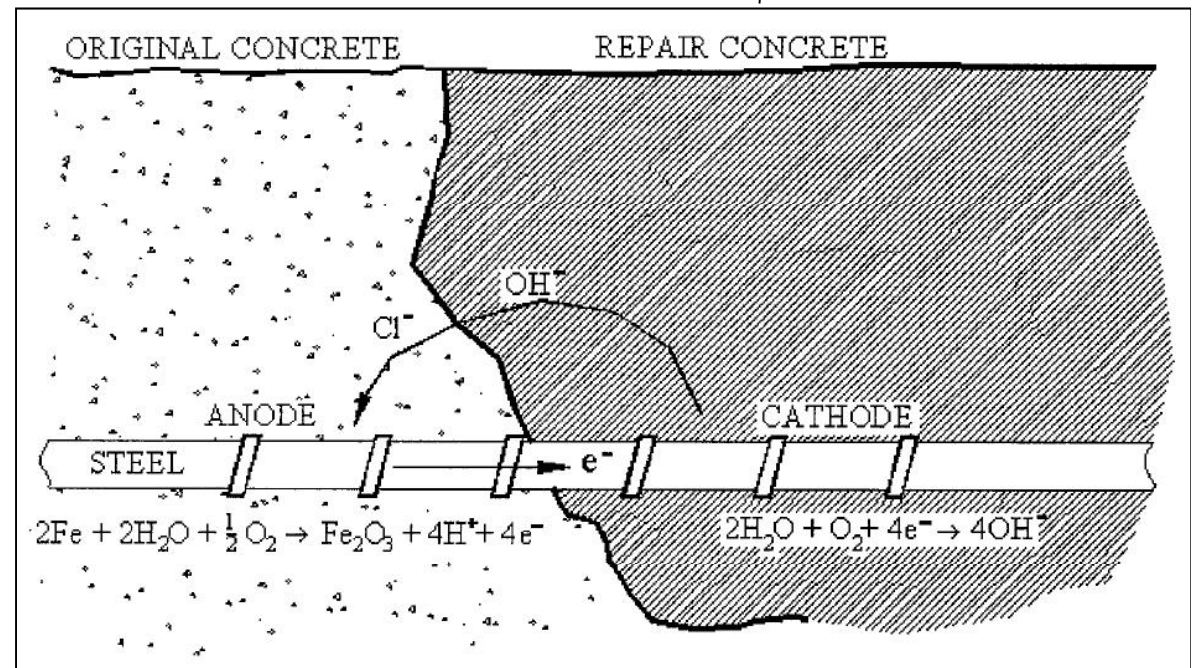


Necessariamente com corrente impressa

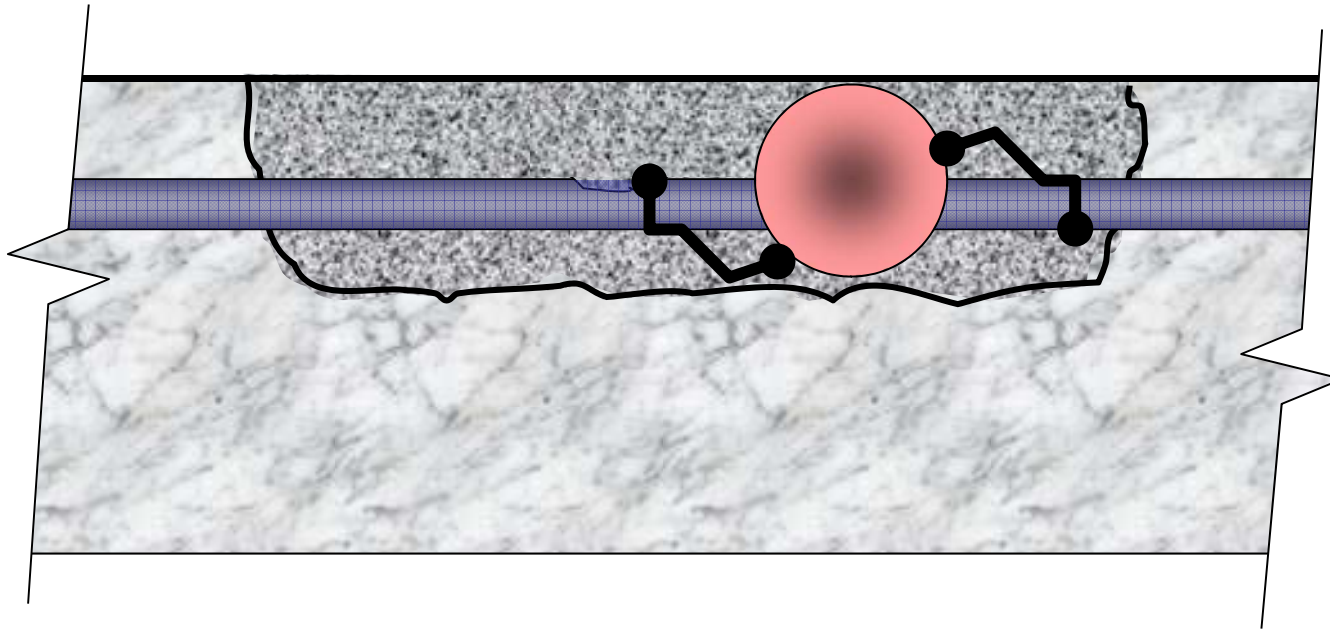




Lembrando do início da apresentação



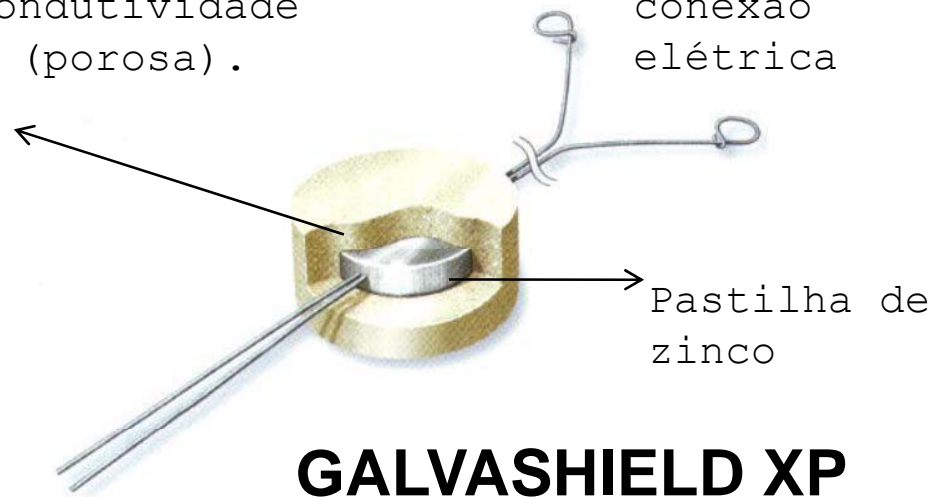
# Ânodo de sacrifício - Zn



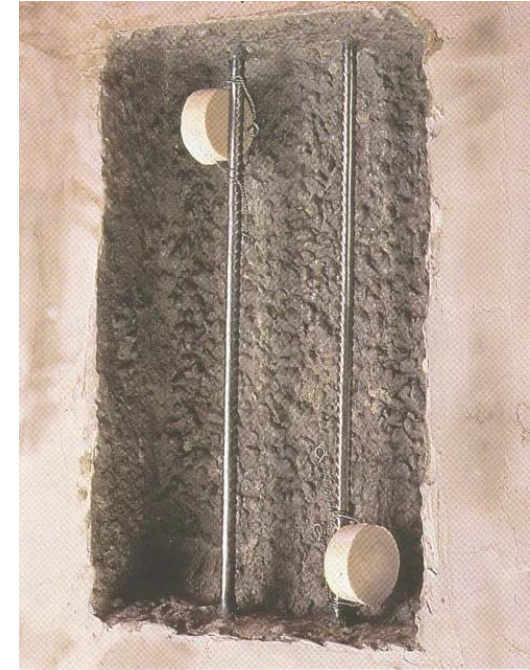
**Solução Fosroc**

Argamassa especial  
alta condutividade  
iônica (porosa).

Fios para a  
conexão  
elétrica



## GALVASHIELD XP

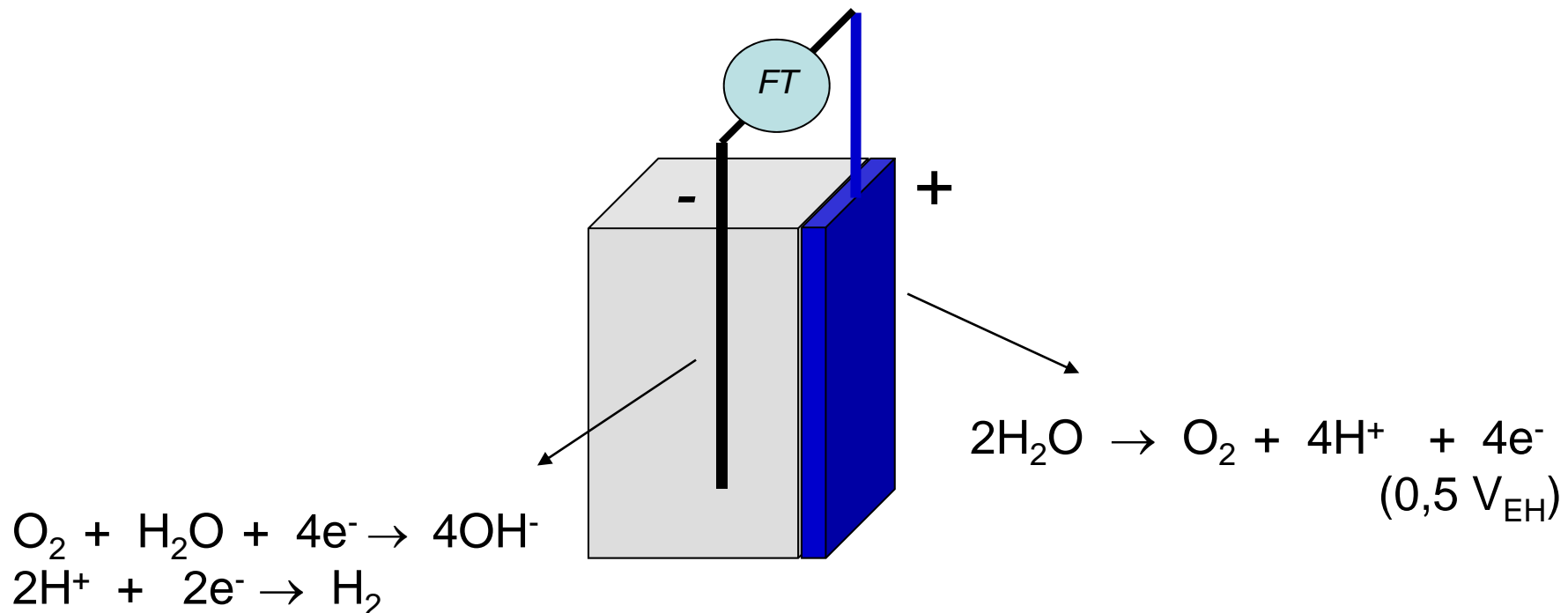


Ânodo de sacrifício para proteção de armaduras de estruturas de concreto armado

- ➔ Reduz o aparecimento de **ânodos incipientes** entorno dos reparos localizados.
- ➔ **Mitiga a corrosão** das regiões também contaminadas próximas ao reparo localizado.
- ➔ **Posterga** o aparecimentos de regiões anódicas em estruturas novas submetidas ao ataque de cloretos.

# ★ REALCALINIZAÇÃO

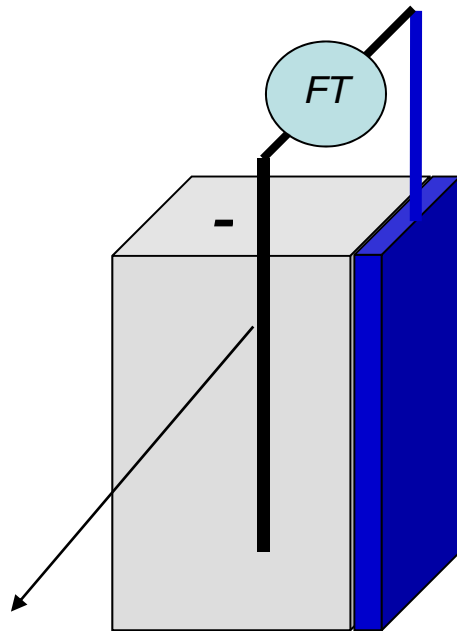
- Estruturas carbonatadas : tem por objetivo restabelecer a condição alcalina do concreto junto à armadura.
- É o mesmo princípio da proteção catódica: correntes maiores e tempo finito (3 a 14 dias) .



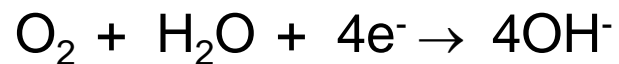
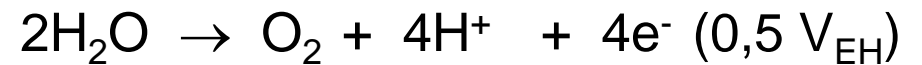


# ★ EXTRAÇÃO DE CLORETOS

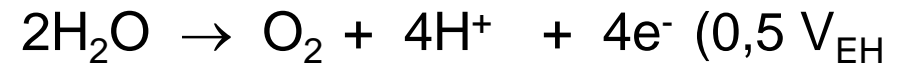
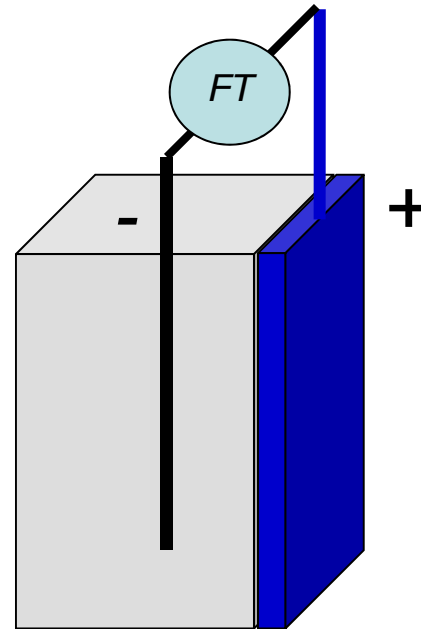
Mesmo princípio da realcalinização:  
correntes e tempos ainda maiores (4 a 10  
semanas) .



+



# REALCALINIZAÇÃO E EXTRAÇÃO DE CLORETOS



***Acidificante***



***Alcalinizantes***

***Perigo de danificação por H***

# Conclusões

- Existem tecnologias disponíveis no mercado internacional que, se adequadamente aplicadas, podem prolongar a vida útil das nossas construções.
- A aplicação destas técnicas requer critérios de seleção e aplicação objetivando à sua adaptação para as condições do nosso país. Isto nos remete à necessidade de:
  - treinamento dos nossos jovens profissionais;
  - desenvolvimento de mercado;
  - condução de projetos de P&D.

# Obrigada pela atenção

Centro de Convenções do Hotel Praia Centro  
Fortaleza/CE - 24 a 28 de Maio

