

**Proteção catódica de estruturas de concreto**

**Adriana de Araújo**

*Palestra on line apresentado no WEB SEMINARIOS TECNOLOGIA  
E CONSTRUÇÃO, 2020, São Paulo,*

A série "Comunicação Técnica" compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

Web Seminários “Tecnologia e Construção”

# Proteção catódica de estruturas de concreto

Palestrante:

**Adriana de Araújo**

Pesquisadora do Laboratório de Corrosão e Proteção do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)

 29/10  16h  AO VIVO  
PELA INTERNET

**ipt**  
INSTITUTO DE  
PESQUISAS  
TECNOLÓGICAS

**SÃO PAULO**  
GOVERNO DO ESTADO  
| Secretaria de Desenvolvimento Econômico

Realização **AECweb**

Patrocínio

**GO GERDAU**



As estruturas estão sujeitas a uma deterioração prematura, sendo isto devido a diferentes fatores, como falhas de execução, restrição de manutenções periódicas eficientes e da não adoção de técnicas adequadas de prevenção e controle da **corrosão**

**A corrosão é uma das principais causas da deterioração das estruturas!**



# concreto armado

união do **concreto** (alta resistência às tensões de compressão) e do **armadura** (alta resistente à tração) de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes.



## Concreto

constituído por uma parcela inerte (agregados) e outra reativa (aglomerante + água).

Material poroso: no estado endurecido, **apresenta vários tipos de vazios** que têm grande influência no **transporte de agentes agressivos**.

A presença de compostos alcalinos, como  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , propicia a **passivação da armadura**

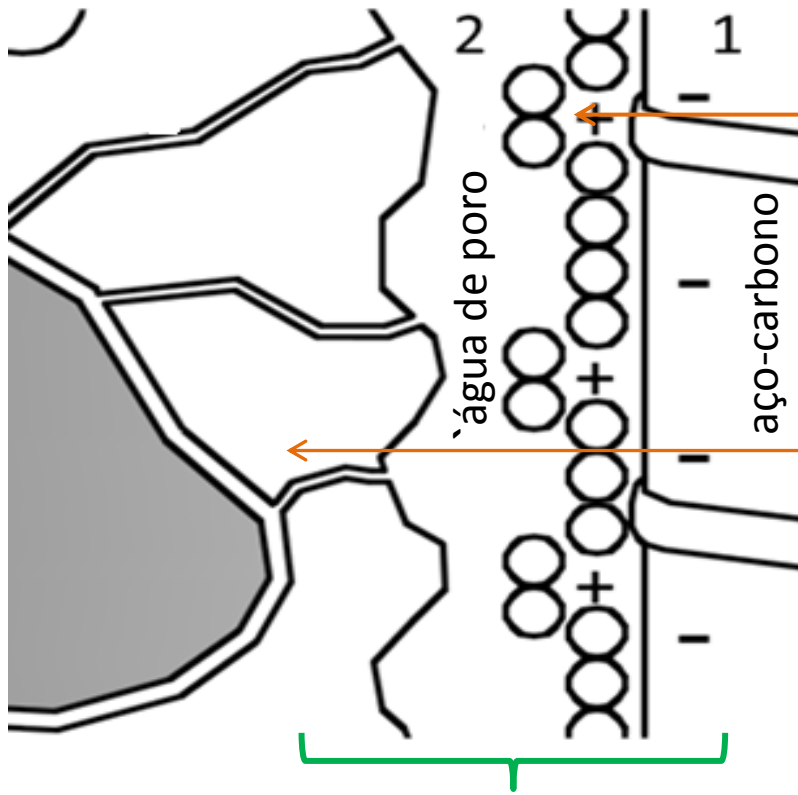
## Armadura

Constituída de barras e fios de aço-carbono (liga ferrosa c/ carbono  $\leq 2\%$ ).

**Na maioria dos meios naturais, sofre corrosão** devido à interação físico-química com os agentes oxidantes presentes nos meios.

Os **produtos de corrosão** do aço-carbono são **volumosos, criando tensões internas no concreto**.

# INTERFACE CONCRETO/AÇO-CARBONO



## Dupla camada elétrica:

aço-carbono (1) está carregada negativamente em razão da liberação de  $Fe^{2+}$  para a água de poro de pH elevado (2)

## Microestrutura poroso:

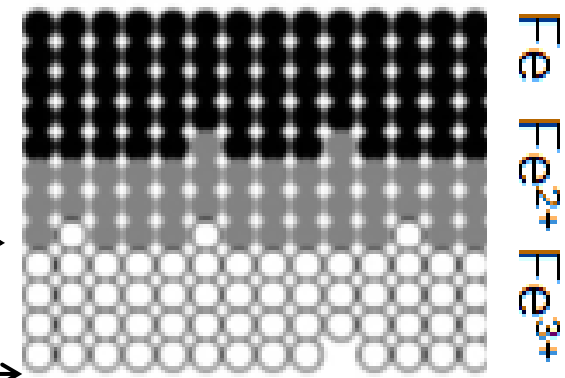
capilar comunicante:  
Distribuição e conexões dependentes da composição, compactação e cura do concreto

Medição de potencial de eletrodo -  $E_{corr}$

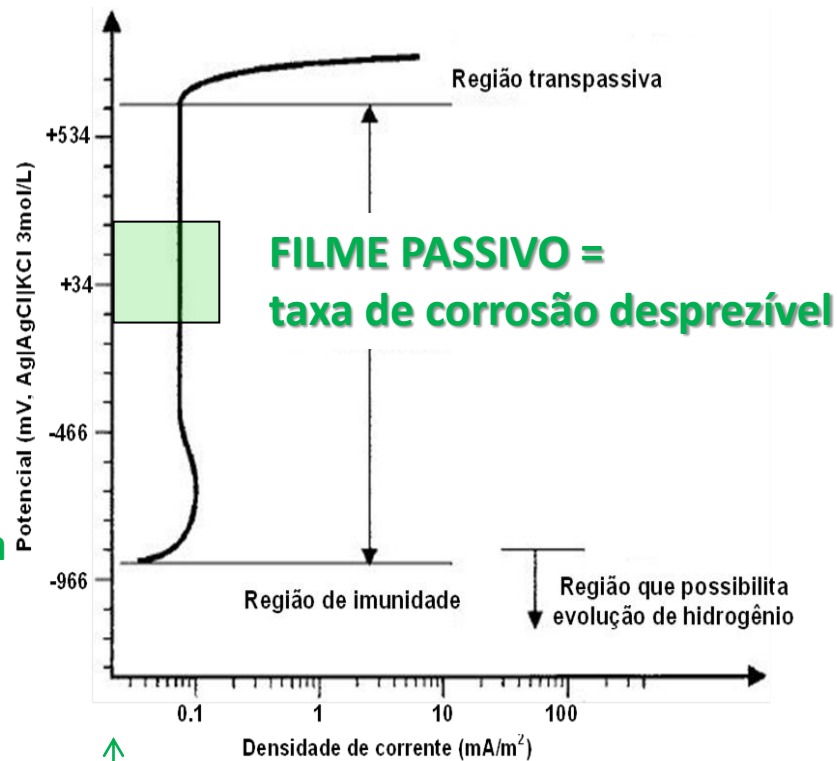
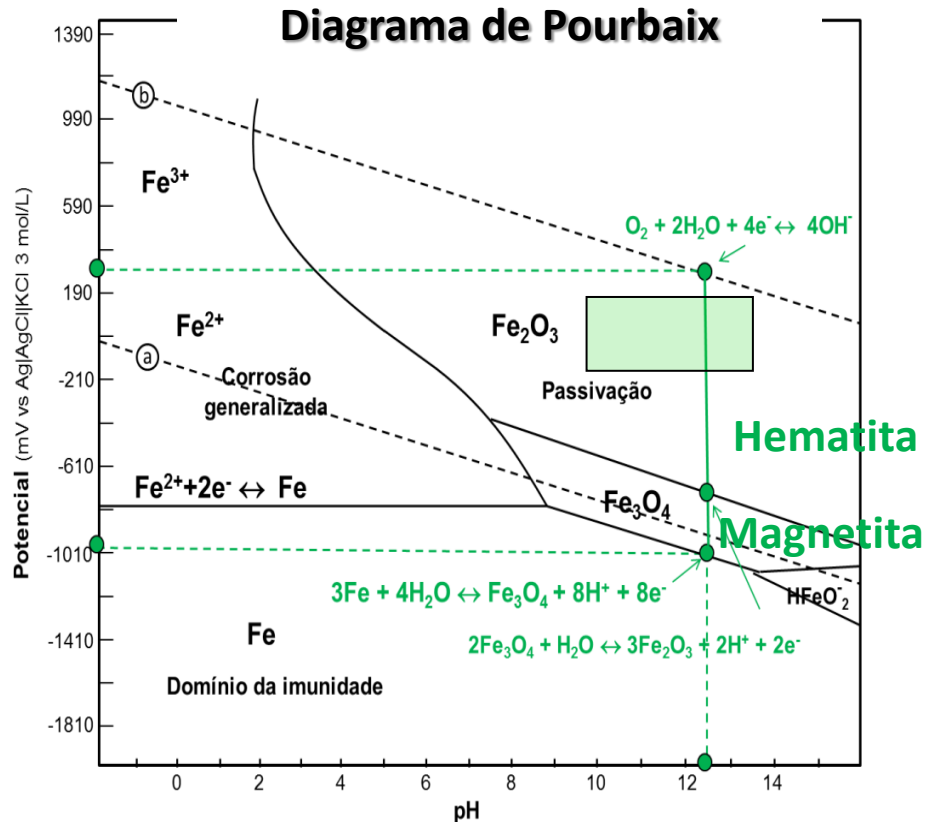


Filme de óxidos de ferro  $Fe^{2+}$  -  
**magnetita ( $Fe_3O_4$ ) e /ou**  
Filme de óxido de  $Fe^{3+}$  -  
**hematita ( $Fe_2O_3$ )**

## FILME PASSIVO COMPACTO E ADERENTE

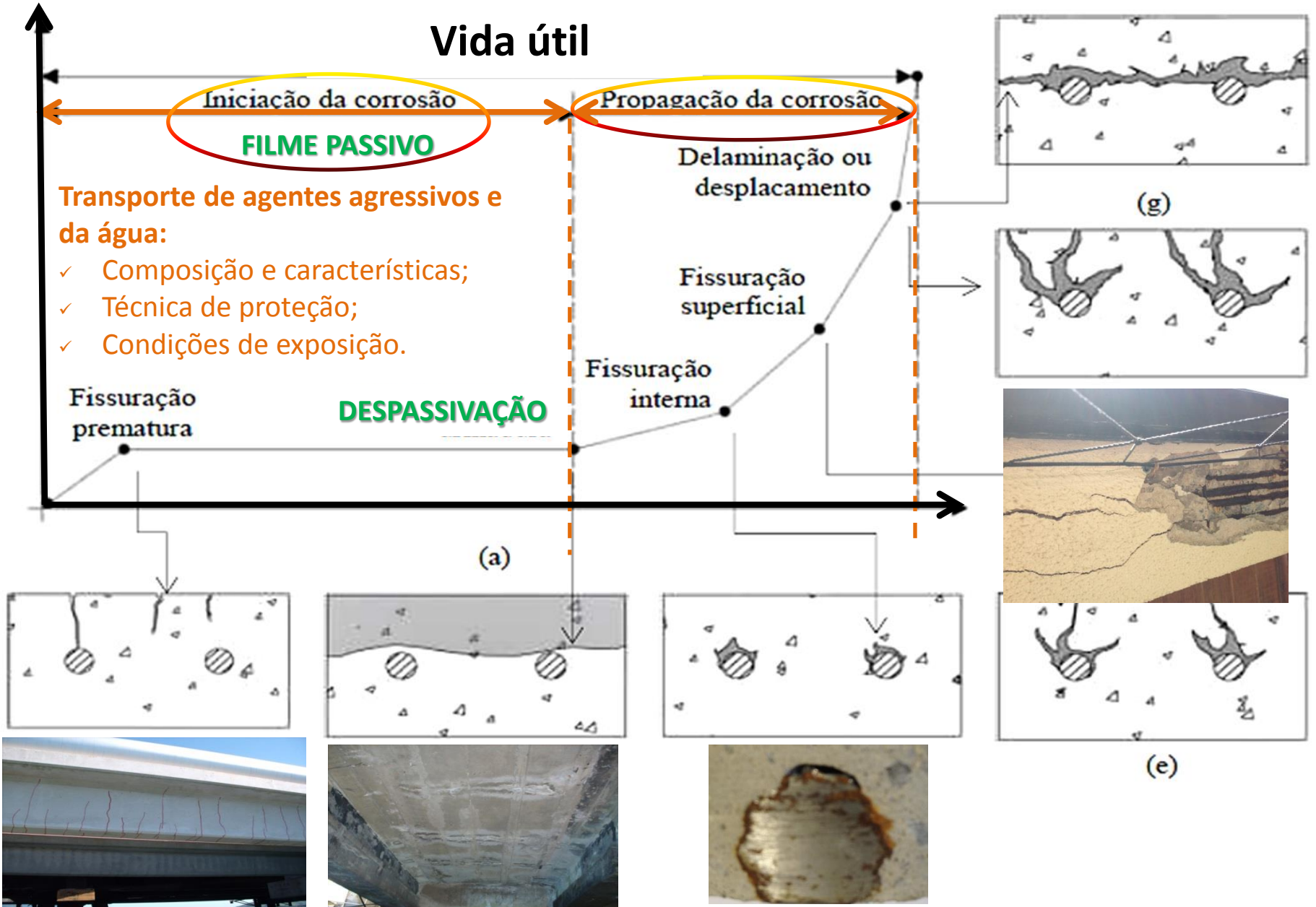


# INTERFACE AÇO-CARBONO / CONCRETO



Na prática:  
**Estado passivo**  
**> -92 mV** (Ag/AgCl KCl 3 mol/L)  
**OU**  
**-200 mV** (Cu/CuSO<sub>4</sub>)

# Vida útil

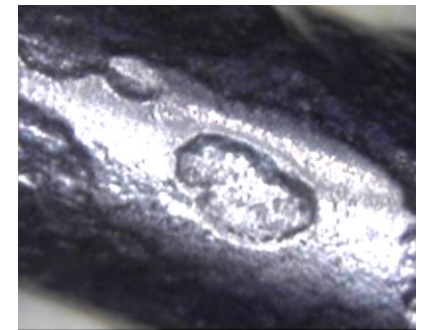
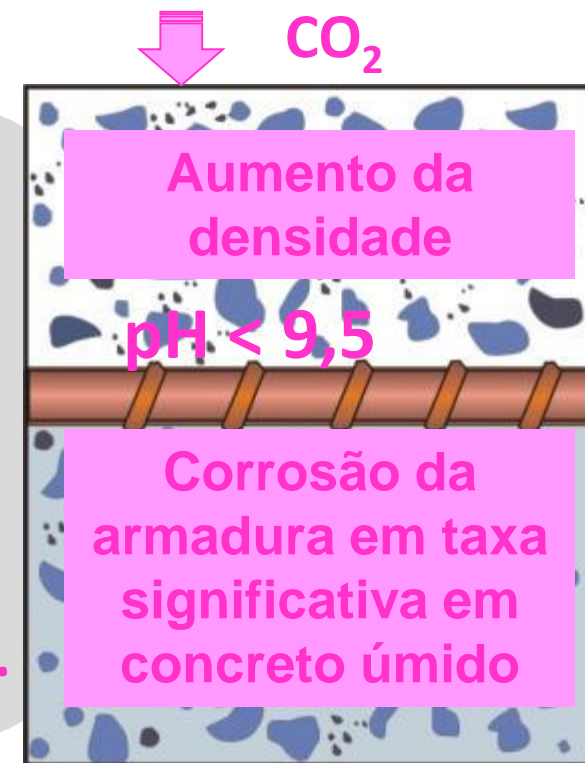


A corrosão desencadeia um quadro patológico na estrutura de concreto, afetando a sua funcionalidade e segurança.

## DESPASSIVAÇÃO

$\text{CO}_2$  atmosférico penetra no concreto e reage com  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . As reações químicas resultam na redução do pH do concreto, desestabilizando o filme passivo do aço-carbono (**corrosão generalizada**). Esse fenômeno é denominado de **carbonatação**.

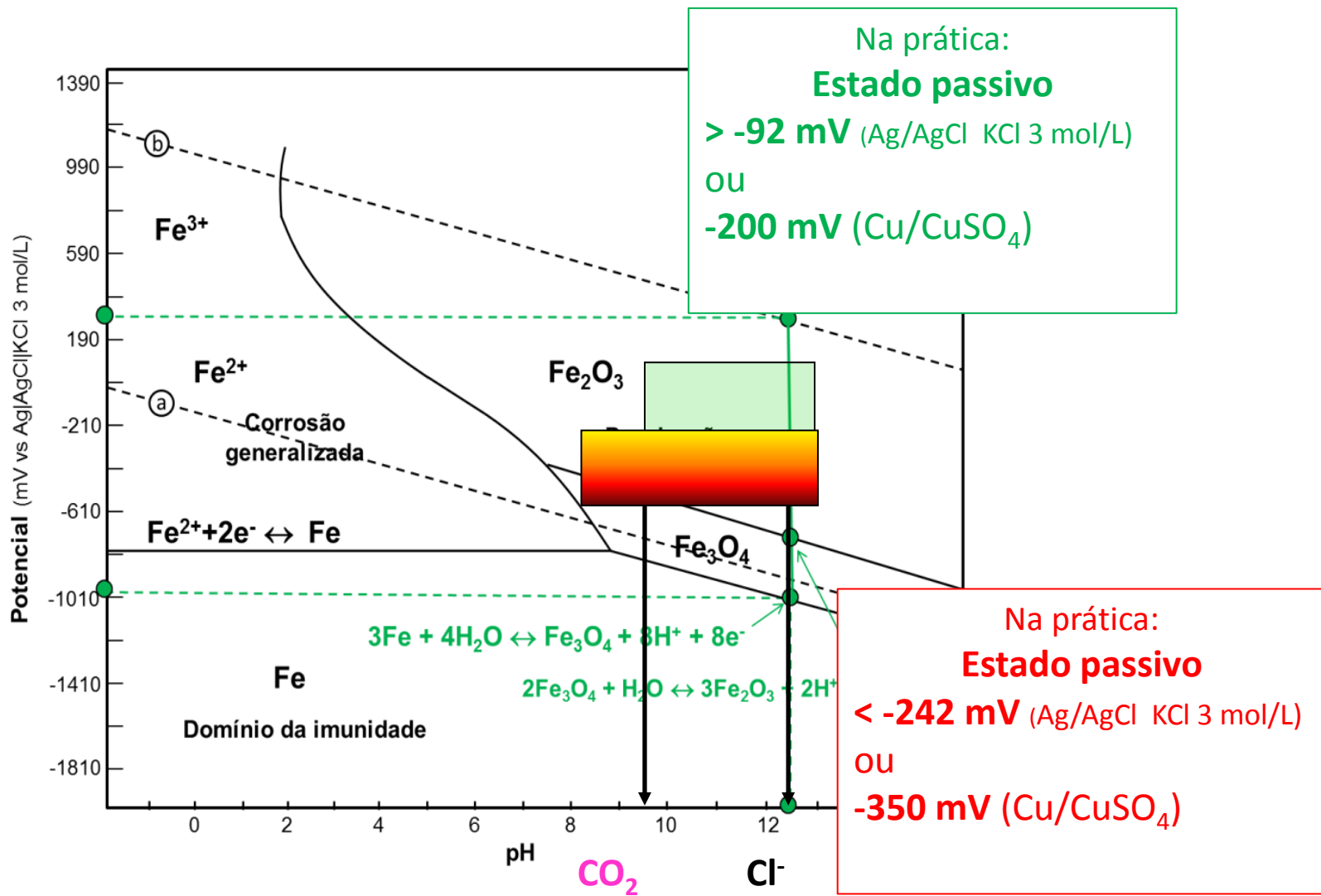
Os **íons  $\text{Cl}^-$**  são originários principalmente de atmosfera marinha. A presença de íons cloreto pode induzir à quebra localizada do filme passivo, tendo-se a formação de **pites (corrosão localizada)**.



Agrupamento dos pites, formando cavidades rasas



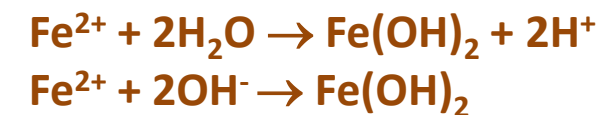
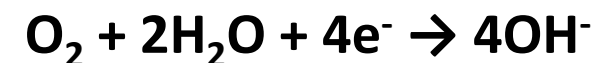
# Diagrama de Pourbaix



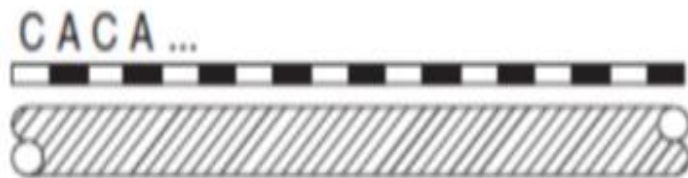
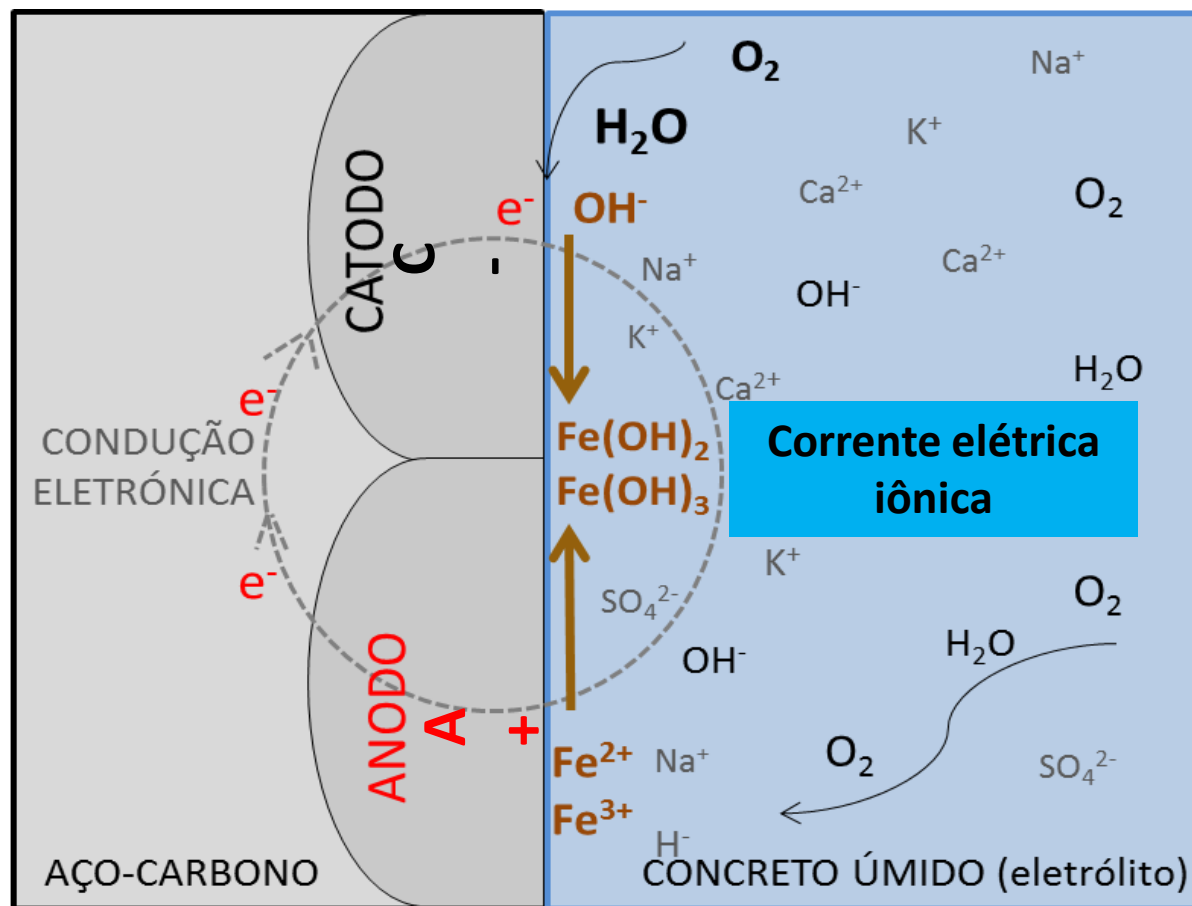
# CÉLULA DE CORROSÃO

**REGIÃO CATÓDICA:**

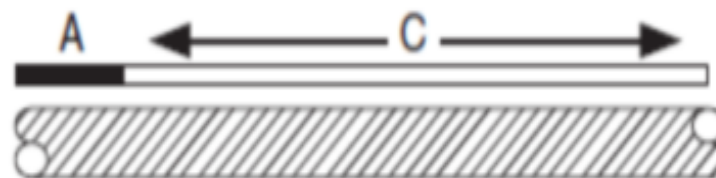
**GANHA DE ELÉTRONS –  
redução do oxigênio**



**REGIÃO ANÓDICA:  
PERDA DE ELÉTRONS -  
oxidação do ferro**



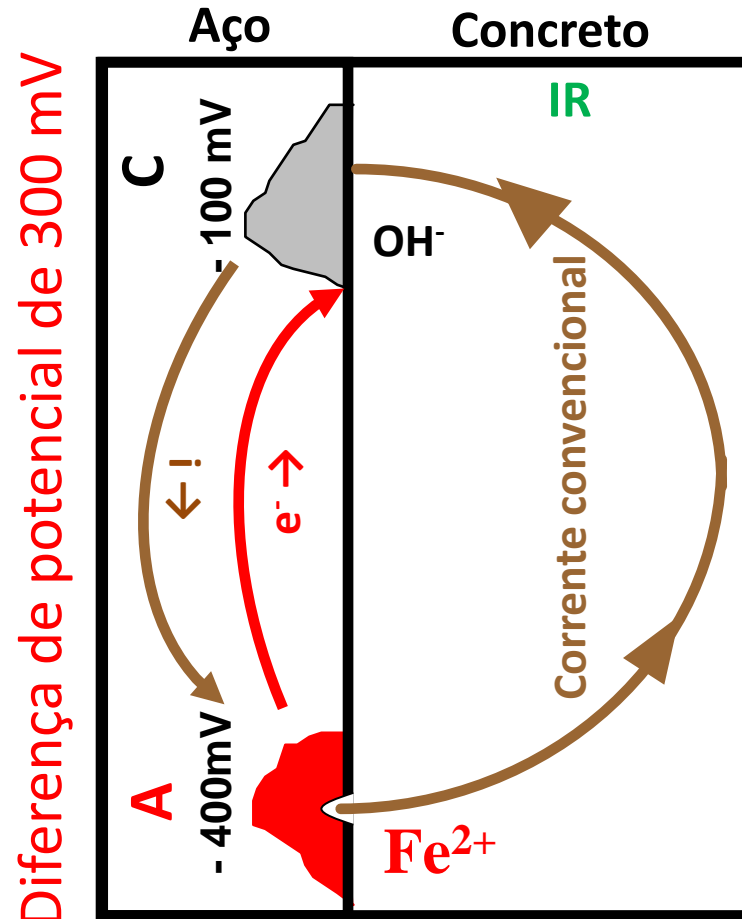
**MICROCÉLULAS DE CORROSÃO**



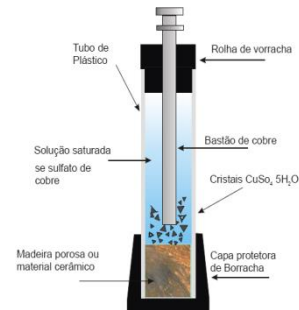
**MACROCÉLULAS DE CORROSÃO**

# MACROCÉLULA DE CORROSÃO

ÁREA CATÓDICA  
(área menos negativa)



ÁREA ANÓDICA  
(área mais negativa)

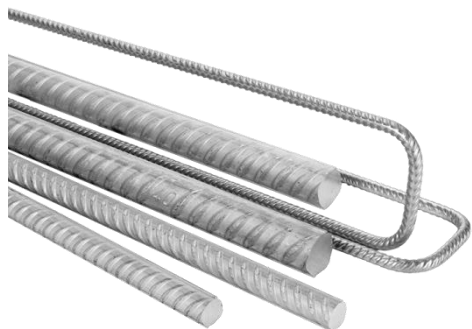


$E_{\text{corr}}$   
valor entre  
-100 mV e  
-400 mV



# TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

- Substituir o material
- Modificar o meio
- Interpor uma barreira



Açô inoxidável

Açô ao cromo de baixo carbono



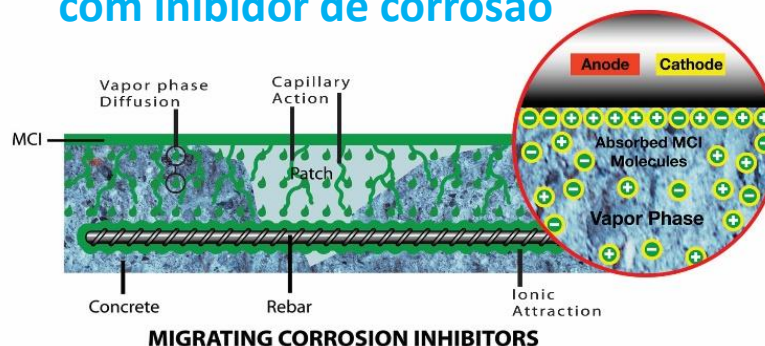
Adição na mistura fresca ou impregnação da superfície com inibidor de corrosão



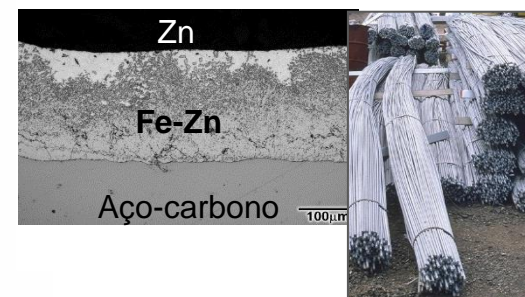
Revestimento orgânico



Fibra de vidro em matriz polimérica



MIGRATING CORROSION INHIBITORS



Revestimento metálico  
Pintura epoxídica

# TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

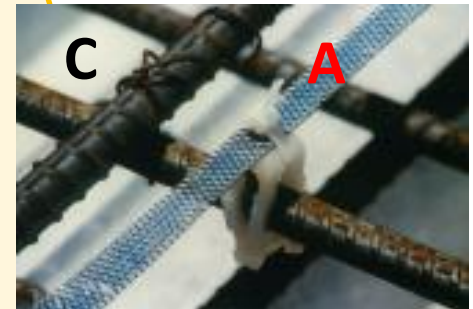
- mudar o potencial da interface armadura/concreto em direção à região de imunidade do diagrama de Pourbaix.

## PROTEÇÃO CATÓDICA

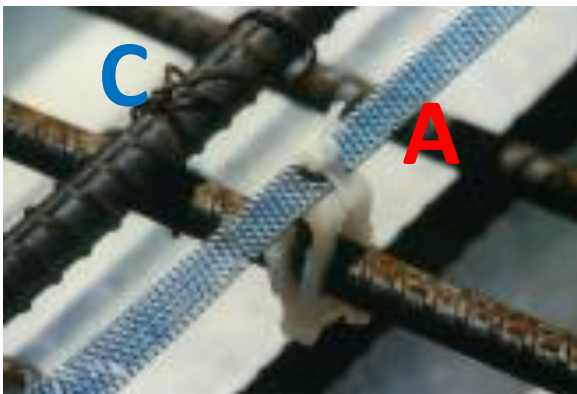
**Corrente impressa:** fluxo de corrente elétrica fornecida por uma **fonte externa** de energia elétrica (retificador) por meio de um **anodo inerte** (**área anódica**), usualmente malha ou fita de titânio revestido (metal nobre).

**Corrente galvânica:** fluxo de corrente elétrica fornecido por **anodo consumível** – metal mais **negativo que o aço** (**área anódica**), usualmente elementode zinco embutida em argamassa de baixa resistividade elétrica.

= CÉLULA DE CORROSÃO



# CORRENTE IMPRESSA



**A - ANODO** (metal resistente a corrosão)

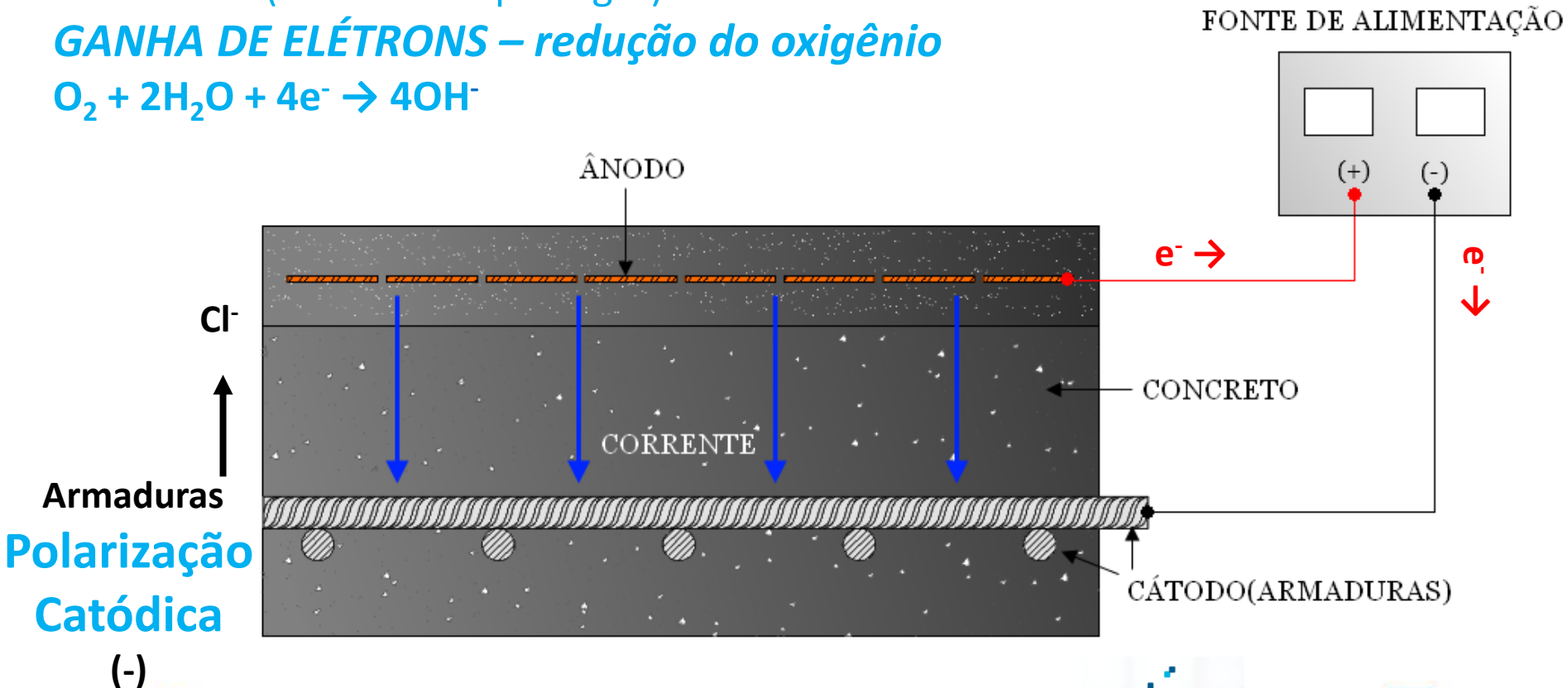
**PERDA DE ELÉTRONS – oxidação da água**



**O ANODO RETIRA ELÉTRONS DAS MOLÉCULAS DE ÁGUA NA INTERFACE METAL/ÁGUA DE POROS**

**C- CATODO** (armadura a proteger)

**GANHA DE ELÉTRONS – redução do oxigênio**



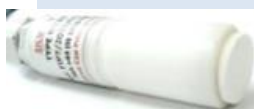
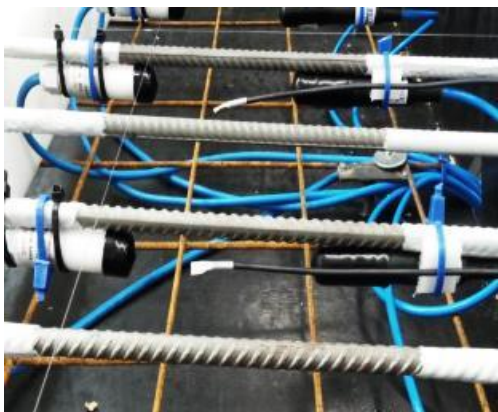
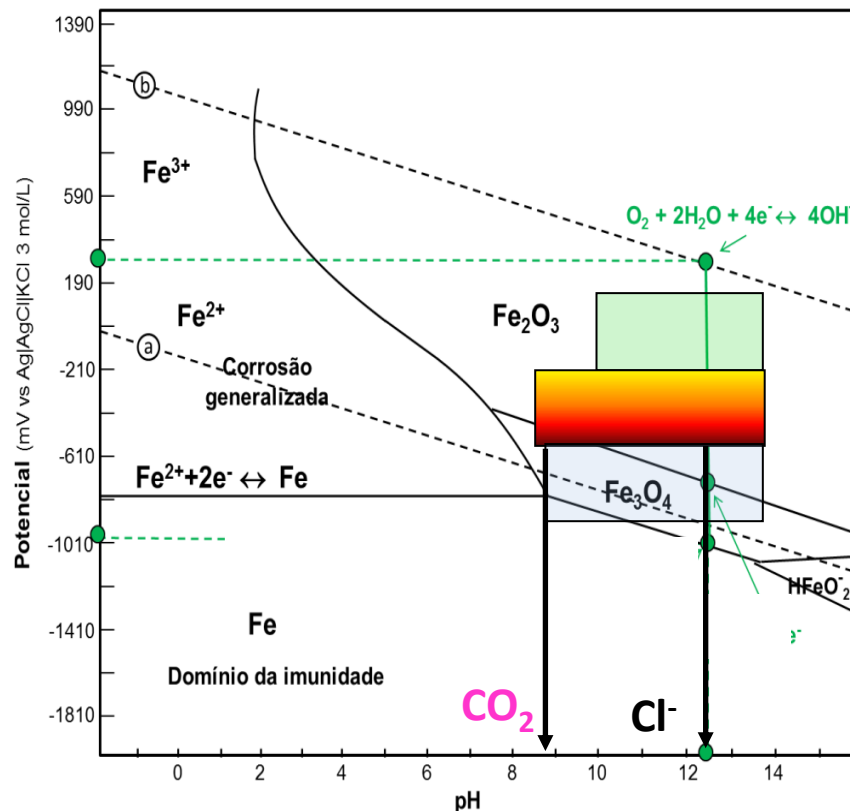
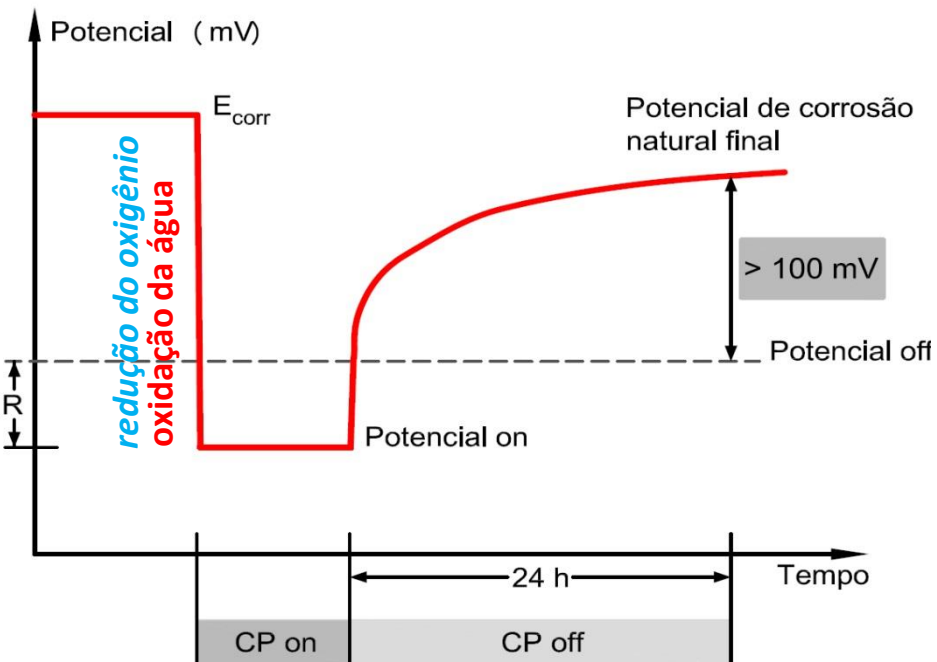


**OBRA NOVA:**  
**ANODO:** Fita de titânio revestido com óxidos de metais nobres (Ti/MMO)  
Denora Brasil

**OBRA EXISTENTE- RECUPERAÇÃO:**  
**ANODO:** Malha e fita de titânio (Ti/MMO)  
Zetacorr



# Potencial mínimo de 100 mV, após no máximo 24 h de decaimento (EN ISO 12696, 2012).



**Eletrodo de referência interno de prata** cloreto de prata (Ag|AgCl|KCl 0,5 mol/L)



**Eletrodo de referência interno de dióxido de manganês** ( $MnO_2$ |NaOH 0.5 mol/L)



## TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

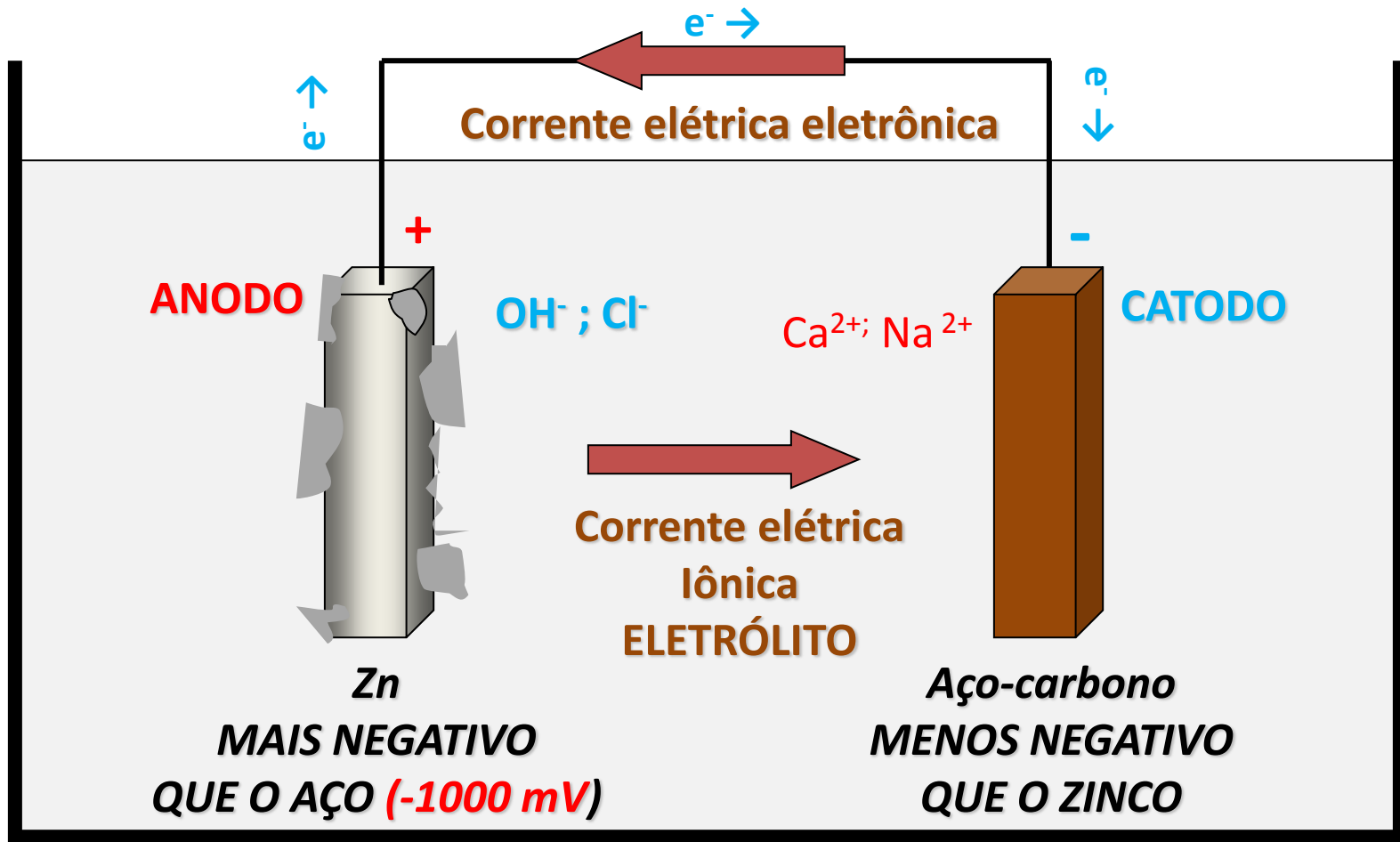
- mudar o potencial da interface armadura/concreto em direção à região de imunidade do diagrama de Pourbaix.

### PROTEÇÃO CATÓDICA

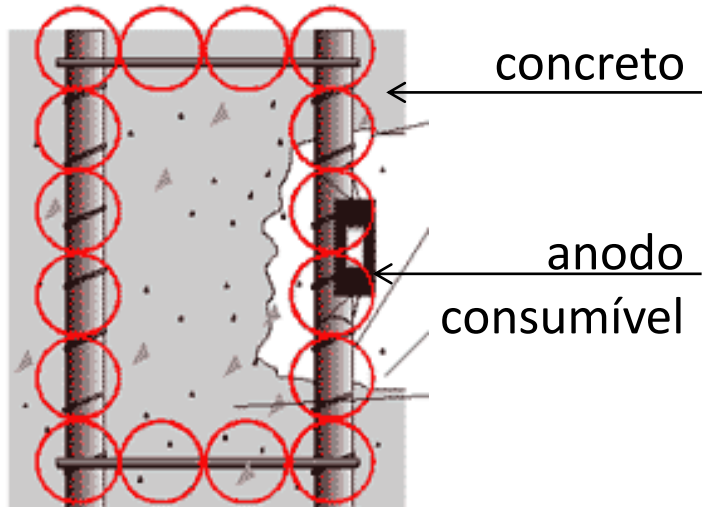
**Corrente galvânica:** fluxo de corrente elétrica fornecido por anodo consumível (**área anódica**), USUALMENTE ZINCO



# CORRENTE GALVÂNICA ELEMENTO DE ZINCO X AÇO-CARBONO



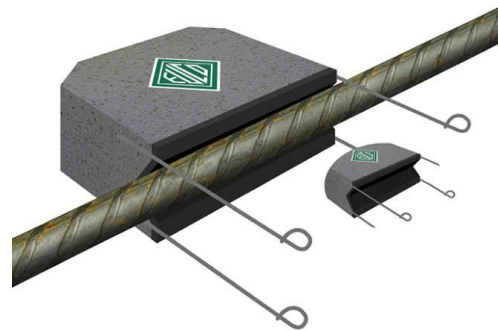
# CORRENTE GALVÂNICA



Utilizada em sistema de reparo.  
A proteção é feita por meio de  
ELEMENTO DE ZINCO encapsulado  
em uma argamassa especial:  
ANODO GALVÂNICO OU  
ANODO DE SACRIFÍCIO



Sentinel GL  
- Euclid Chemical  
- Viapol



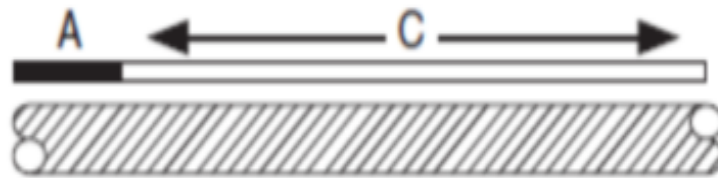
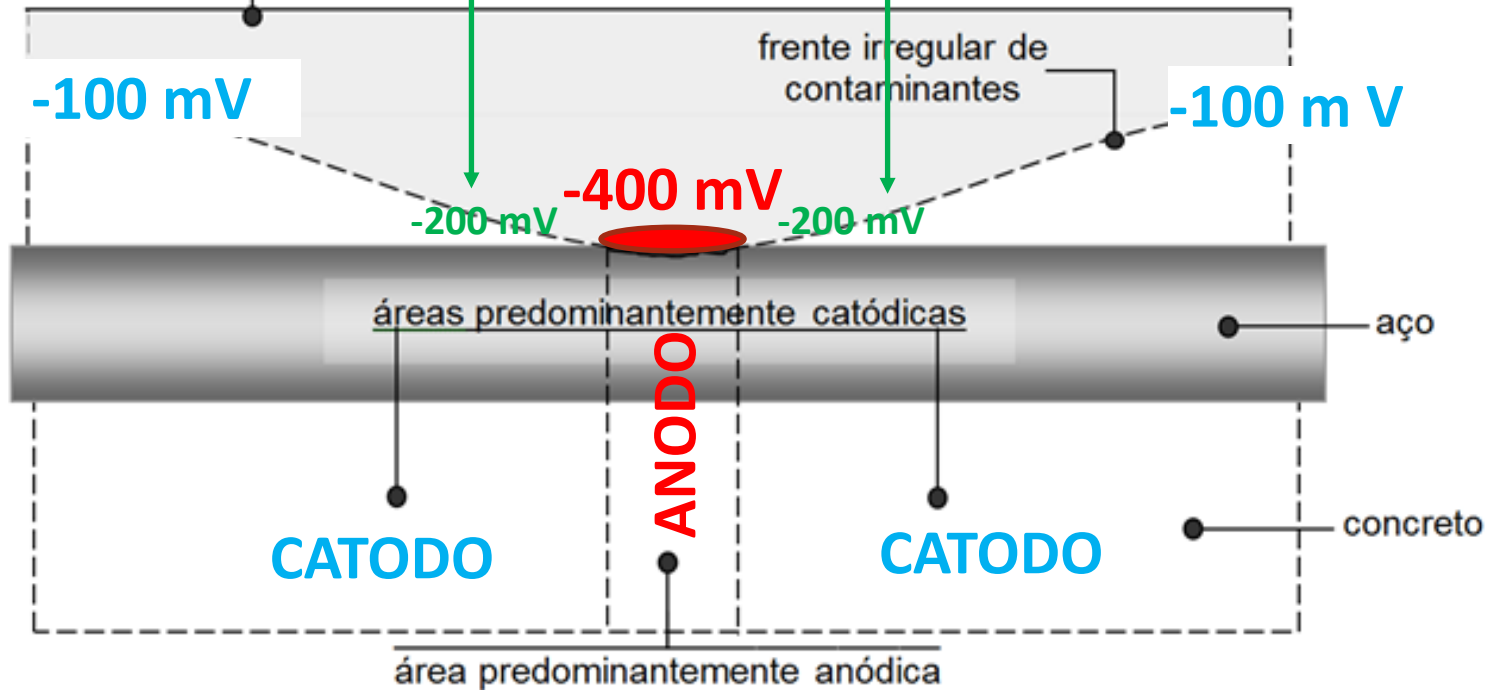
MasterProtect  
8065CP  
- Basf



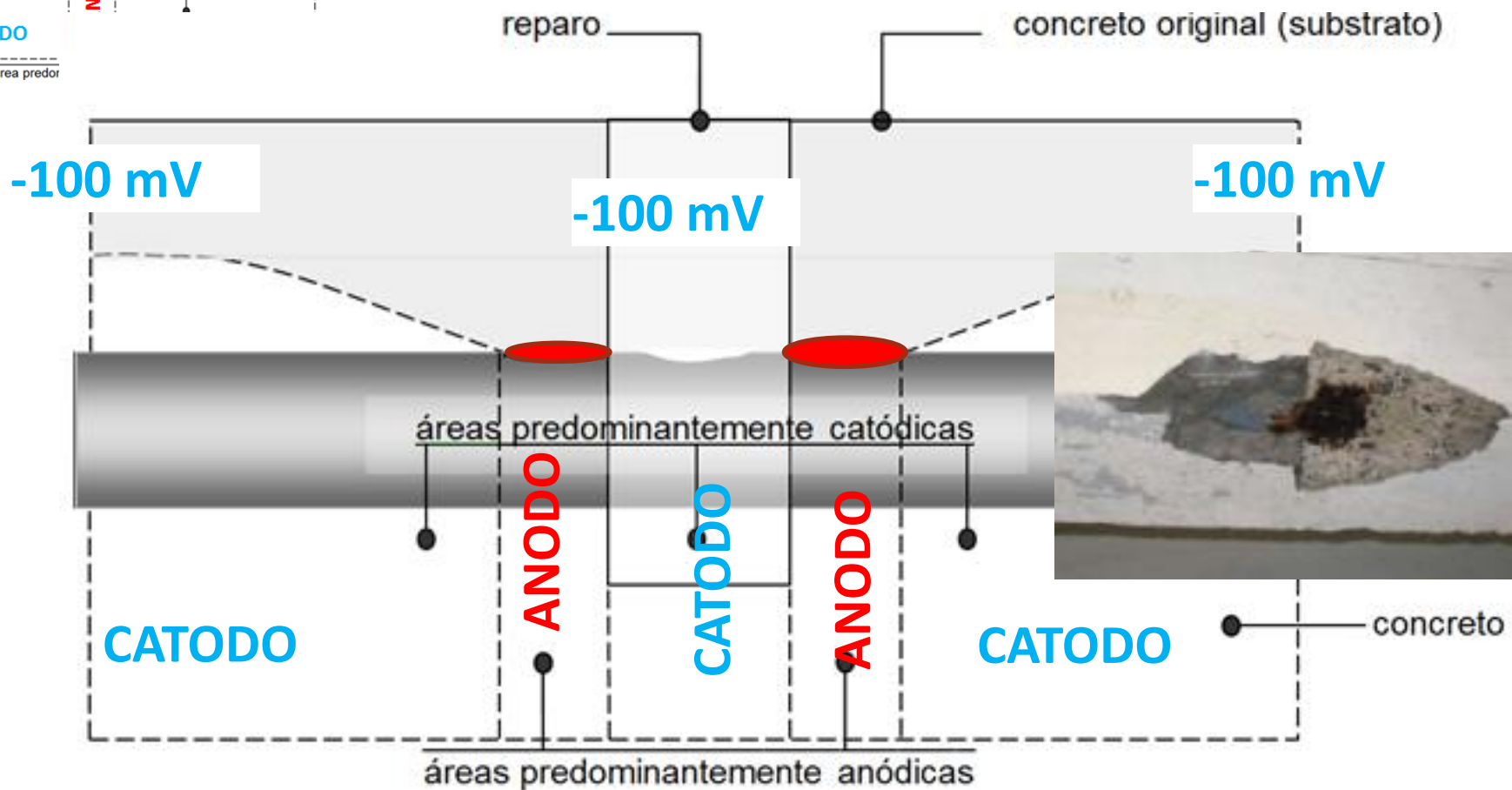
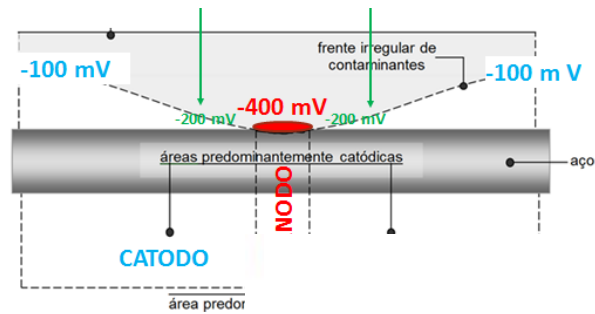
Galvashield XP  
- Vector  
- IEC



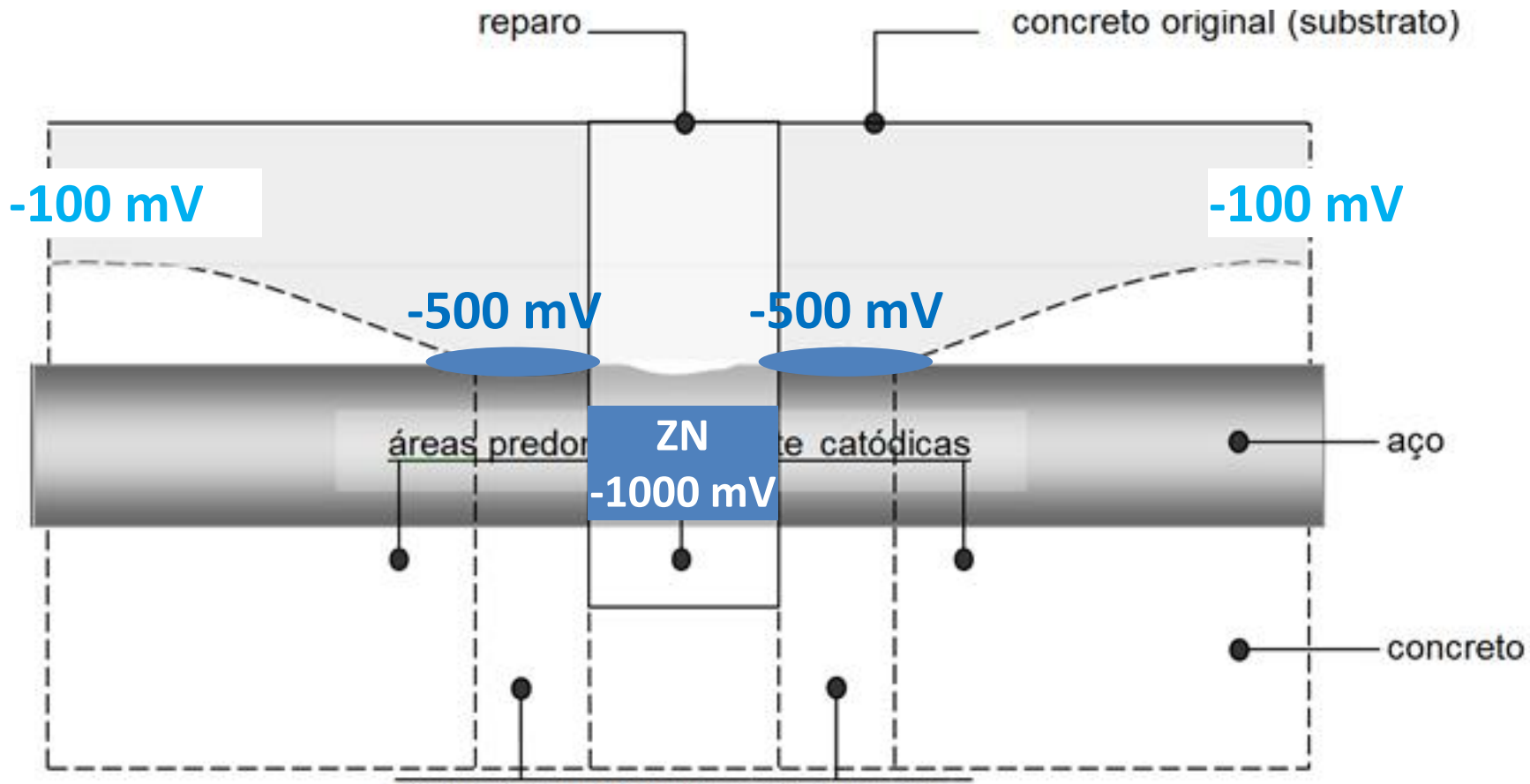
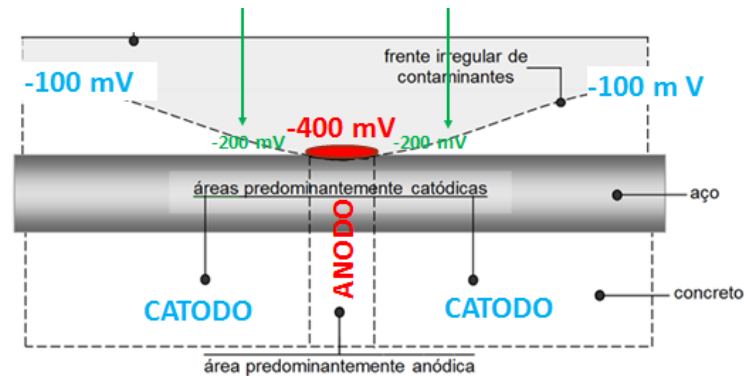
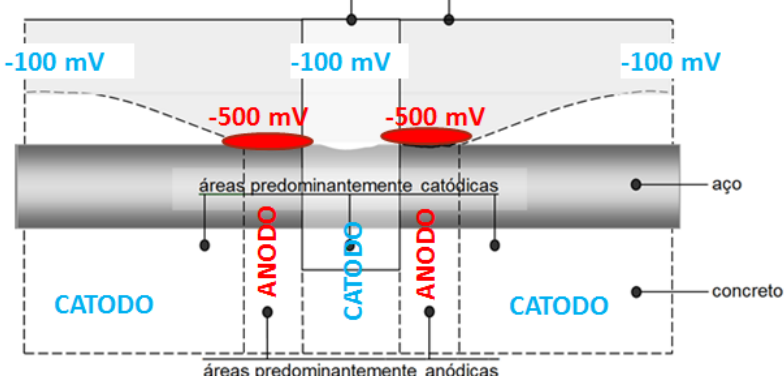
# Polarização catódica da armadura nas áreas adjacentes ao local da corrosão



## MACROCÉLULAS DE CORROSÃO

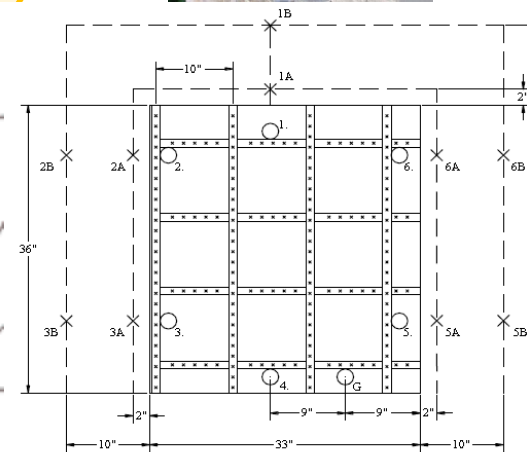
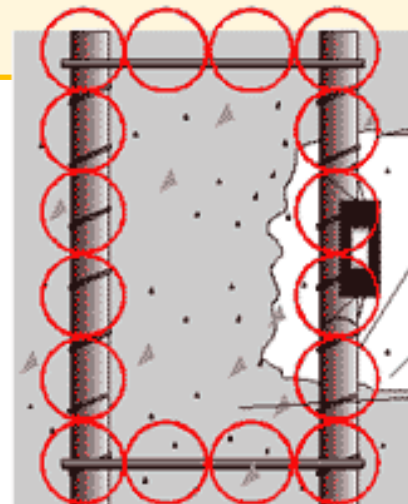
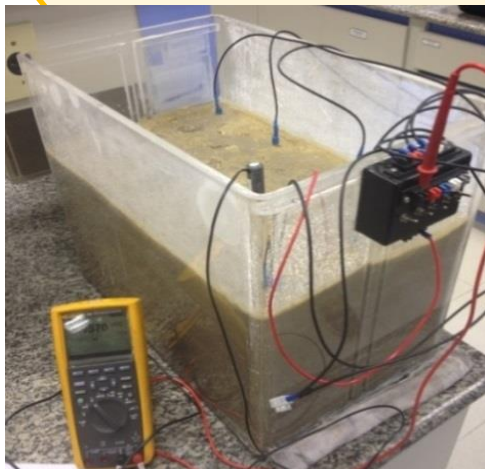


O reparo repassiva o aço, elevando o seu potencial. Com isso, elimina-se a polarização catódica do aço no concreto original, adjacente ao reparo, **que acaba corroendo**



Áreas polarizadas catodicamente

As características do concreto influem no desempenho da proteção;  
Para melhorar o desempenho, é fundamental que a argamassa envoltória do elemento de zinco tenha características especiais, como aditivo umectante, de formação de complexos hidrossolúveis (quelação) e para manter o zinco em estado ativo de corrosão;  
O critério de 100 mV de polarização real no entorno do reparo tem de ser atendido ao longo do tempo. Por isso é importante a adoção de sistema de monitoramento.





# OBRIGADA!

## Laboratório de Corrosão e Proteção

Adriana de Araujo,  
lcp@ipt.br  
aaraujo@ipt.br

aaraujobonini@gmail.com

