



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

---

# Controle de Corrosão de Armaduras por Ânodos Galvânicos

[erik@biu.pt](mailto:erik@biu.pt)

Vector Corrosion Technologies

[www.vector-corrosion.com](http://www.vector-corrosion.com)



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Conteúdo:

---

- Visão geral de Vector
- O que é Corrosão ?
- A Importância de ensaios e do Ambiente
- Protecção Catódica (PC)
- PC Galvânica
- Aplicações Especiais de Ânodos Galvânicos



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Dave Simpson

---

- Gerente de desenvolvimento de negócios da Vector Corrosion para a Europa
- Químico (Aston University)
- Experiência em Tecnologia de Reparação de Betão e processos electroquímicos
- Trabalhou para a Fosroc por 10 anos



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# George Sergi

---

- Cientista de materiais especializado em Corrosão
- Director Técnico da Vector
- Pesquisou e desenvolveu o ânodo galvânico XP original (há 20 anos na Aston University)
- Trabalhou no BRE (Building Research Establishment) por 5 anos e na Fosroc por 4 anos, mas atuou como consultor da Fosroc por mais 10 anos



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Grupo Vector

---

## Vector Construction

- Reparação especializada, protecção, reforço
- 10 Escritórios (6 no Canadá, 4 nos EUA)
  - Cedar Rapids; Sioux City; Fargo, Tampa.
  - Toronto, ON; Thunder Bay, ON; Winnipeg, MB; Saskatoon, SK; Edmonton, AB, Vancouver, BC.

## Vector Corrosion Technologies

- EUA, Canada, América Latina e Reino Unido
- Pesquisa e Desenvolvimento (R&D)
- Fabrico e suporte técnico



P PIPERS ROW CAR PARK P



17/01/2003



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Agentes de Corrosão?

---

As causas mais frequentes da perda de passivação do aço são:

**Carbonatação do betão**

**Cloretos**

Ambos levam a uma redução do ambiente de pH protector ao redor das armaduras e por conseguinte à sua corrosão

Ambos levam a uma redução da capacidade resistente se não forem resolvidos !





**BIU**

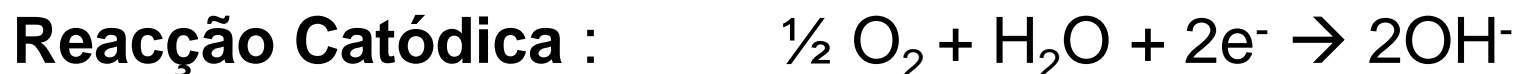
INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# O que é a corrosão?

---

O processo de corrosão é semelhante a uma bateria e, portanto, requer



**Electrólito:** Meio capaz de sustentar o fluxo iónico (o betão)

**Condutor Metálico:** Ligação eléctrica entre o ânodo e o cátodo (as armaduras em aço)

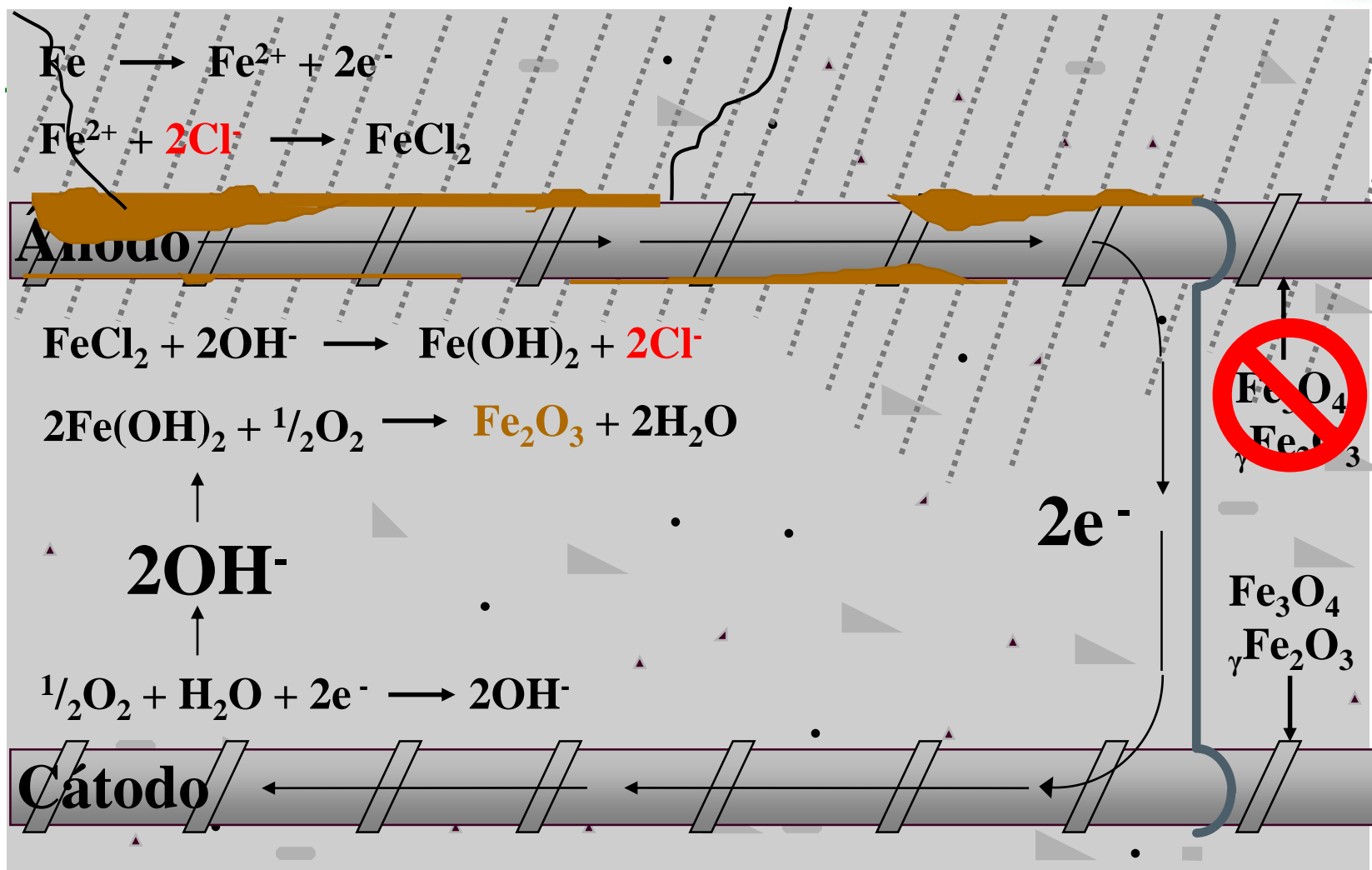
# Célula de Corrosão no Betão



BIU

INTERNACIONAL

www.biu.pt





**BIU**

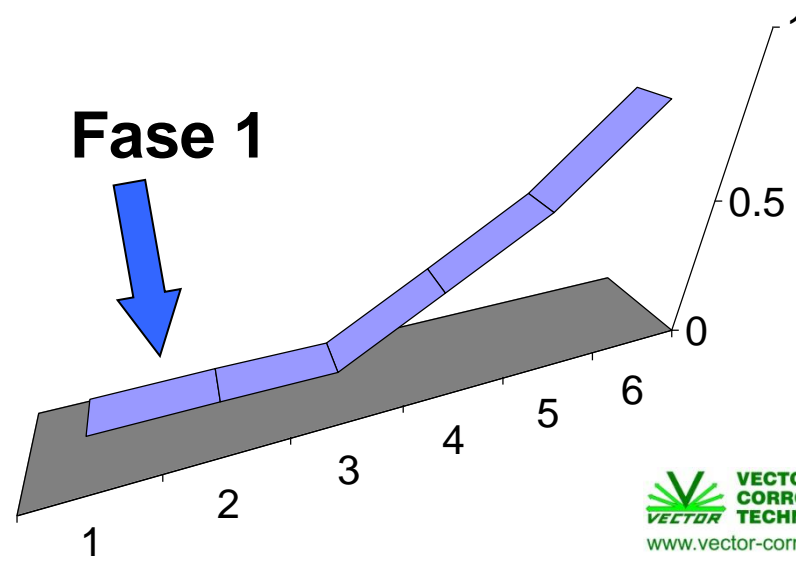
INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Fase 1 da corrosão



**Fase 1:** Inicialmente, o betão parece estar intacto, com relativamente pouca fissuração e sem descoloração "enferrujada" proveniente da formação de produto corrosivo. Os agentes agressivos estão a entrar no betão.





**BIU**

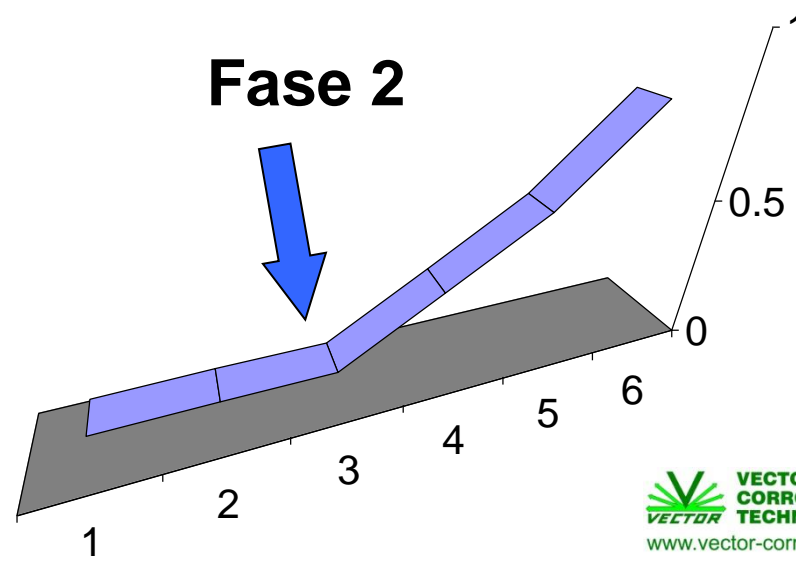
INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Fase 2 da Corrosão



**Fase 2:** Agentes corrosivos atingiram a superfície do aço e a corrosão começou. Algumas fissuras apareceram e a superfície do betão está manchada por produtos de corrosão avermelhada.





**BIU**

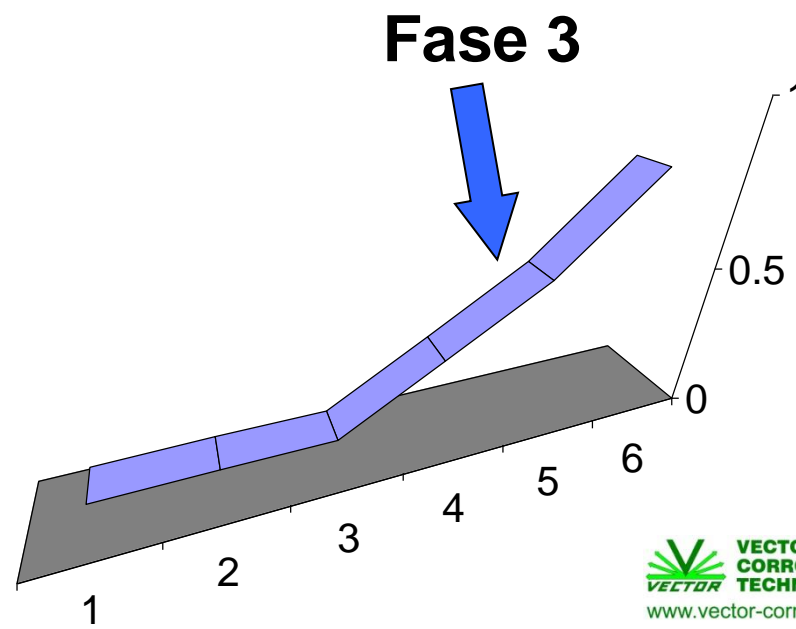
INTERNACIONAL

www.biu.pt

# Fase 3 da Corrosão



**Fase 3:** O betão de recobrimento das armaduras começa a lascarse visivelmente, devido à formação dos produtos de corrosão (ferrugem)





**BIU**

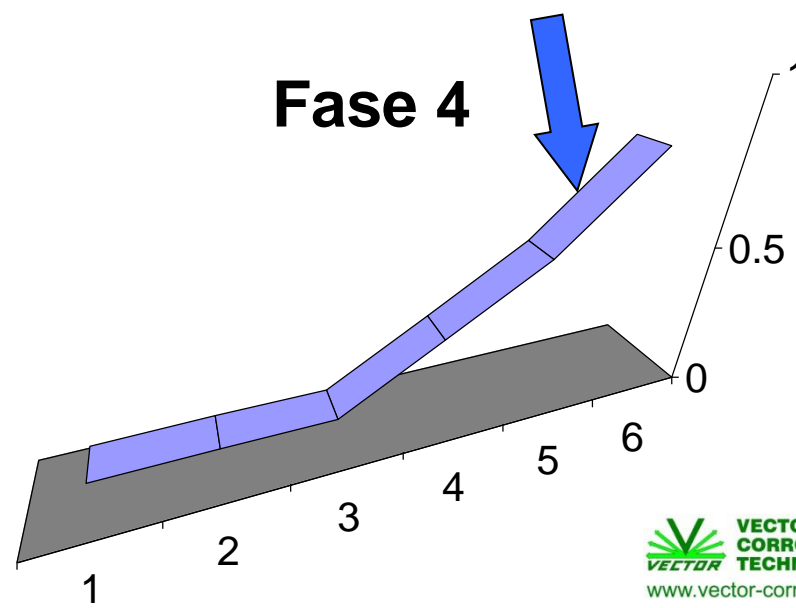
INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Fase 4 da Corrosão

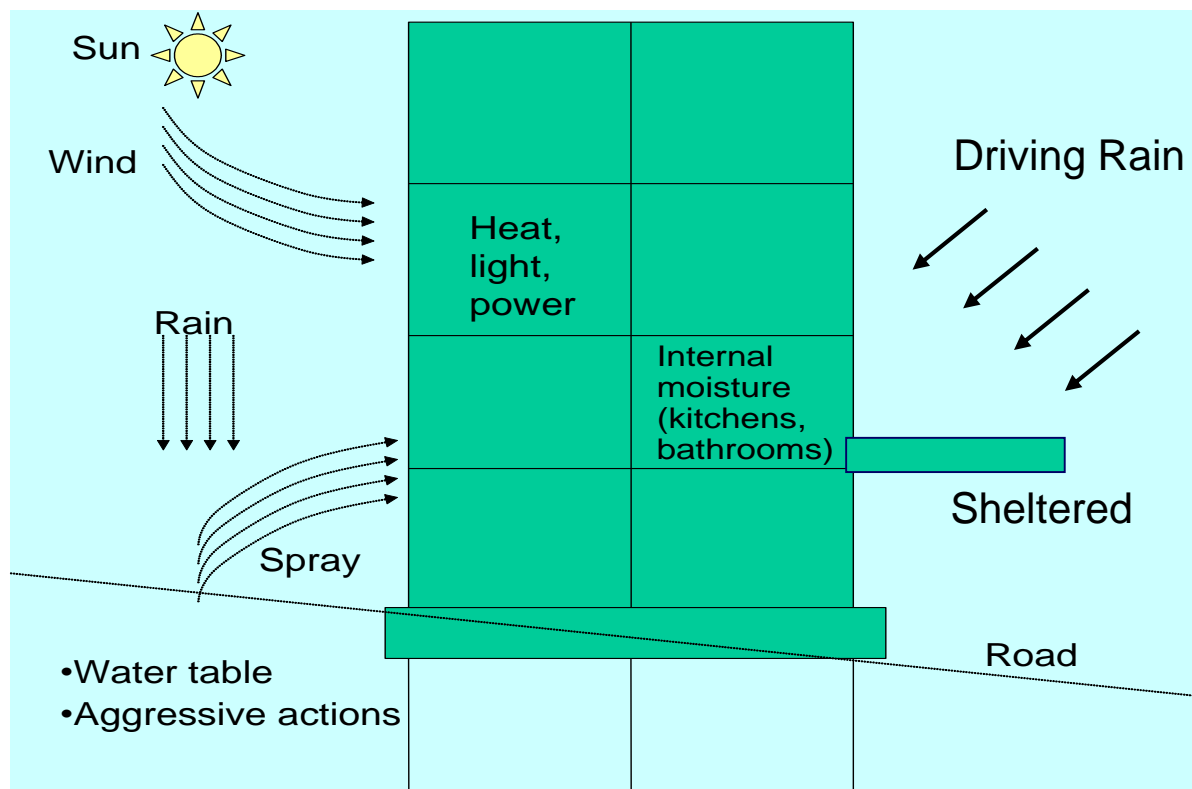


**Fase 4:** É evidente o destacamento de fragmentos de betão, deixando as armaduras de aço directamente expostas ao ambiente.





# Considerações Estruturais



**Ambientes diferentes a actuar na mesma estrutura**



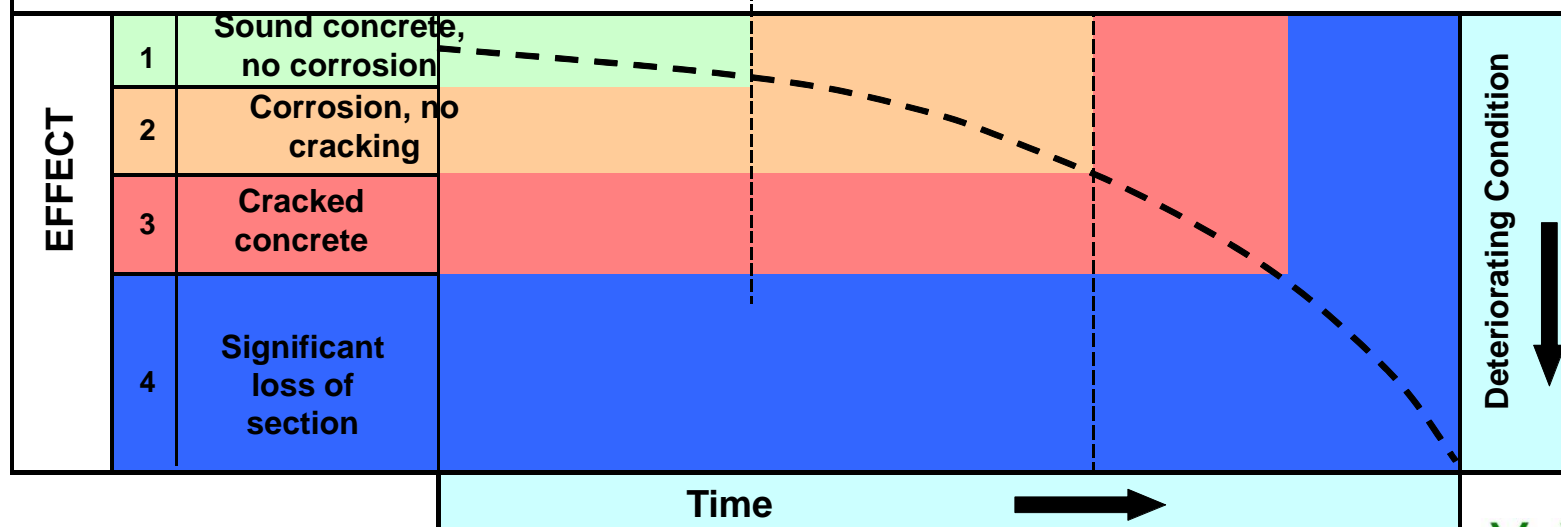
BIU

INTERNACIONAL

www.biu.pt

# Considerações Físicas

|       |   |                                      |                                       |                         |                         |   |
|-------|---|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|---|
| CAUSE | Contributory factors  | Environment                          | ✓                                     | ✓                       | ✓                       | ✓ |
|       |   | Concrete props                       | ✓                                     | ✓                       |                         |   |
|       |   | Steel properties                     | ✓                                     | ✓                       | ✓                       | ✓ |
|       |   | Permeabilit                          | ✓                                     | ✓                       |                         |   |
|       |   | Cover depth                          | ✓                                     | ✓                       |                         |   |
|       |   | Bar diameter                         |                                       | ✓                       |                         |   |
|       |   | Concrete strength                    |                                       | ✓                       |                         |   |
|       | Factors influencing duration over which condition is maintained | Condition marking onset of corrosion | Amount of corrosion to cause cracking | Rate of steel corrosion | Rate of steel corrosion |   |
|       | Rate of carbonation or chloride ingress                         | Rate of steel corrosion              |                                       |                         |                         |   |





# Teste e Análise do Betão



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

- 
- Inspeção visual
  - Pesquisa de Delaminação
  - Verificação do Recobrimento do Betão
  - Carotes (Resistência + Outras Propriedades)
  - Amostragem e Análise de Cloretos
  - pH e teste químico (carbonatação)
  - Potencial e Ritmo de Corrosão



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Inspeção Visual



- Identificar áreas com danos visíveis
  - Manchas de ferrugem
  - Fissuras
  - Lascas
  - Aço exposto
- Anotar as condições de exposição e outras observações



# Pesquisa de Delaminação

- Localize as áreas onde o betão perdeu a aderência à armadura e onde o betão delaminado ainda não saltou
- Também conhecido como “Auscultação”
  - Teste com martelo
  - Arrasto de corrente





HOLSUM FOOD

ADD THE TOUCH

ENCLOSURE



# Avaliação do Recobrimento das Armaduras



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

- Determinar a espessura média do recobrimento de betão
- Comparar a espessura com os resultados dos ensaios de cloretos e carbonatação
- Realizado usando um medidor apropriado



# Amostragem e Análise de Cloretos

---



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

- Para determinar o teor de cloretos em vários níveis dentro do betão
- O teor em cloretos pode ser obtido em carotes de betão ou em amostras em pó









**BIU**

INTERNACIONAL

www.biu.pt

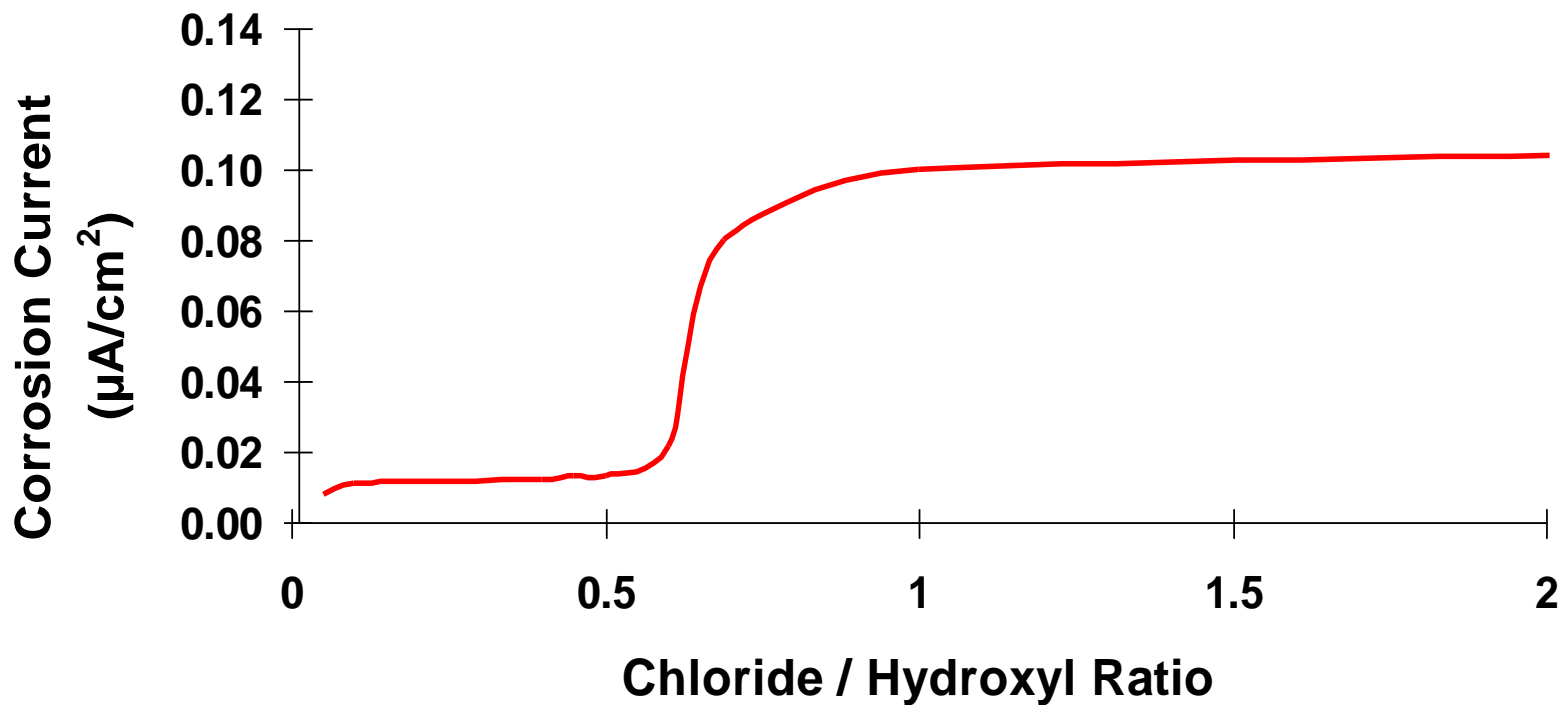
# Limites de Cloretos

| Chloride Content<br>by Weight of<br>Cement % | Risk of Corrosion<br><u>Uncarbonated</u><br>concrete (pH >10) |
|--|---|
| <0.2   | Negligible  |
| 0.2 to 0.4                                   | Very Low  |
| 0.4 to 0.8                                   | Low or Moderate   |
| 0.8 to 1.5                                   | High  |
| >1.5   | Extremely High  |

Na realidade, a actividade de corrosão é progressiva e baseada na  
Relação Cloreto / Hidroxila ( $\text{Cl}^- / \text{OH}^-$ )



# Relação Cloreto/Hidroxila



# Teste de pH



- Principalmente para determinar a profundidade da carbonatação
  - Também pode ser usado para determinar alguns tipos de contaminação química
- 1% fenolftaleína em álcool (ou em 50/50 de mistura de água destilada e álcool)
- Considerado a indicar um pH > 8.5-9.5
- Tipos "Rainbow" também disponíveis



**BIU**  
INTERNACIONAL  
www.biu.pt

# Potenciais de Meia-Célula

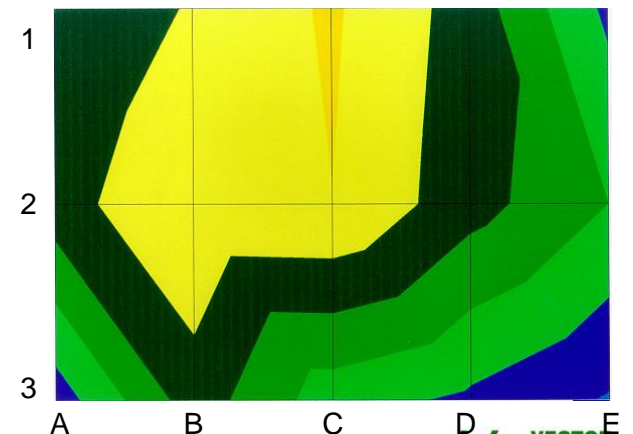
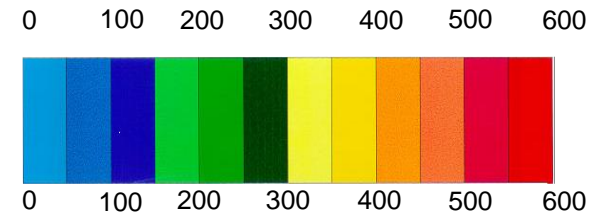


- Dá uma indicação da provável actividade de corrosão quando nenhum outro dano é visível
- Identifica as áreas para uma possível investigação de cloretos
- O mapeamento ajuda a identificar 'hot-spots' de provável corrosão, áreas problemáticas
- Diferenças no potencial de corrosão podem ser mais importantes que o valor absoluto



# Resultados do Potencial de Corrosão

| Eléctrodo de Sulfato de Cobre | Condição de Corrosão             |
|-------------------------------|----------------------------------|
| $> -200$ mV                   | Baixo - 10% de risco de corrosão |
| $-200$ to $-350$ mV           | Risco de corrosão intermediário  |
| $< -350$ mV                   | Alto - 90% de risco de corrosão  |
| $< -500$ mV                   | Corrosão severa                  |





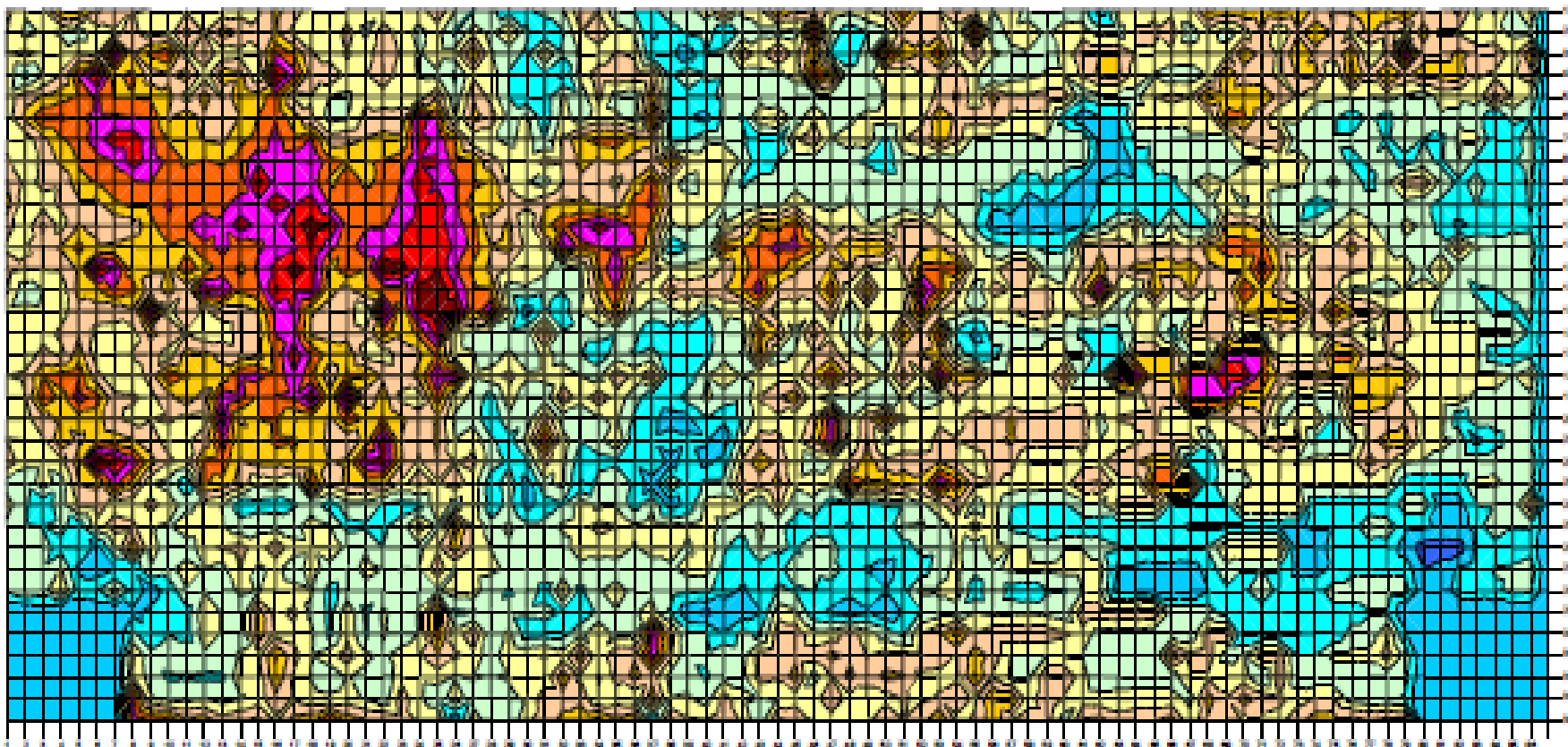
**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Exemplo

---





**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Continuidade da Armadura

---



- Verifique a continuidade eléctrica do aço
  - Aço descontínuo pode colocar problemas de protecção catódica
- Critérios Típicos
  - Menos de 1 mV ou
  - Menos de 1 Ohm de resistência





**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Resumo dos Ensaaios

---

- Nenhum método individual fornecerá uma imagem completa para uma determinada estrutura ou área
- É importante que múltiplas avaliações sejam feitas
- Só assim a solução mais económica pode ser determinada para atender às necessidades da estrutura e do cliente

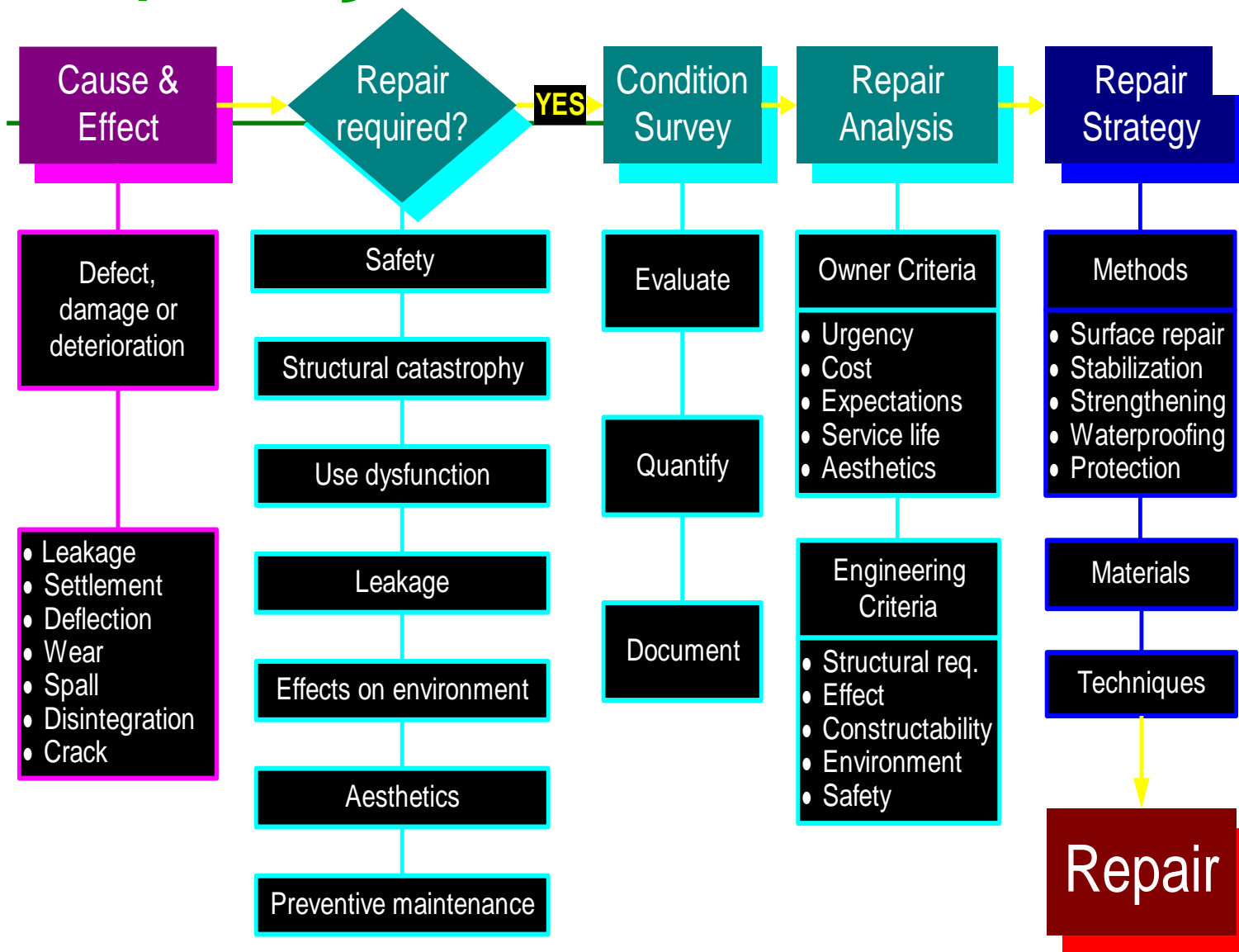
# Reparação do Betão



**BIU**

INTERNACIONAL

www.biu.pt





**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Protecção Catódica (PC)

---

O princípio da protecção catódica não é novo.

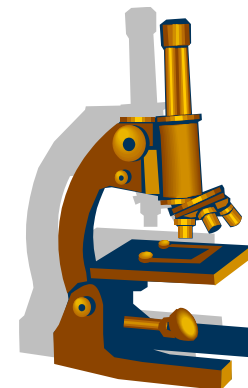
O processo foi introduzido pela primeira vez por Sir Humphrey Davey em **1824**

Ele usou a ideia para proteger o revestimento em cobre nos navios de guerra



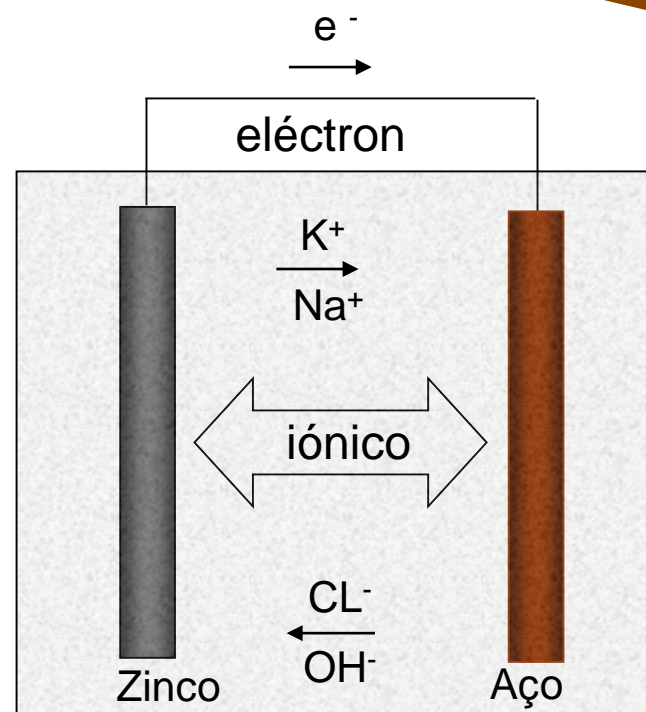
**Os primeiros sistemas de Protecção Catódica em estruturas de betão foram instalados nos anos '70**

# Potenciais e Fluxo Eléctrico



| Série Galvânica Parcial |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| <u>Metal</u>            | <u>Voltagem</u>       |
| Zinco                   | -1100 mV              |
| Aço no betão            | -200 mV to<br>-500 mV |

\* Potenciais típicos medidos em relação ao eléctrodo de cobre/sulfato de cobre



# Níveis de Protecção contra Corrosão

---

|                      |                                       |
|----------------------|---------------------------------------|
| Prevenção Catódica   | Impedir a corrosão de iniciar         |
| Controle de Corrosão | Reduzir a corrosão contínua           |
| Proteção catódica    | Praticamente pára a corrosão contínua |

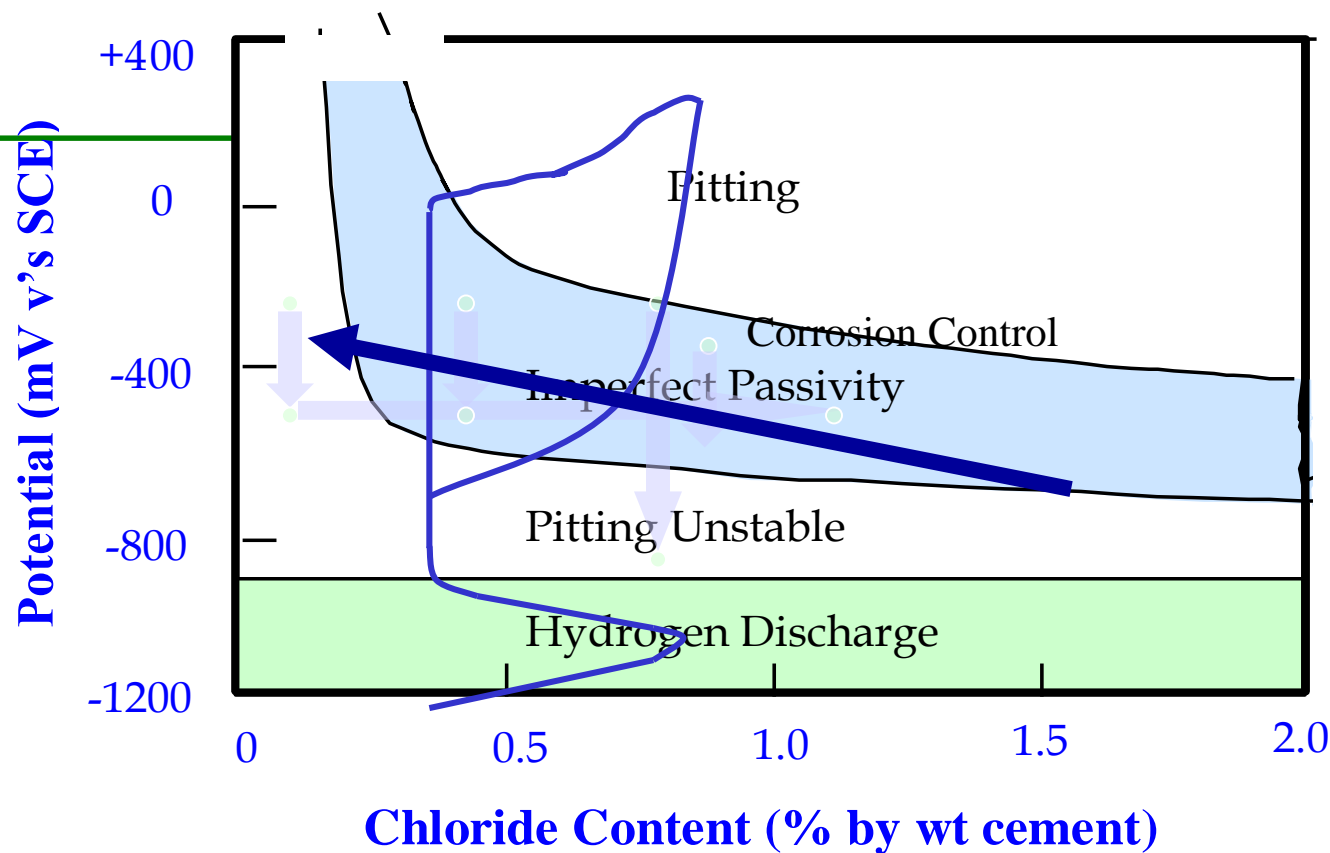
# Tipos de Proteção



BIU

INTERNACIONAL

www.biu.pt



Domínios aproximados do comportamento eletroquímico do aço em betões com diferentes níveis de contaminação por cloretos



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Prevenção de Corrosão

---

- O objetivo é evitar que a corrosão inicie
- A intensidade de corrente necessária para evitar o início da corrosão é menor que a corrente necessária para parar a atividade de corrosão em curso
  - Pesquisas mostraram que 0,25 a 2 mA/m<sup>2</sup> é suficiente para evitar a iniciação da corrosão



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Controle de Corrosão

---

- Reduzir significativamente o ritmo de corrosão
- Corrente aplicada típica: 1 a 7 mA/m<sup>2</sup>
- Pesquisas mostram que tão pouco quanto 1 mA/m<sup>2</sup> alcançou uma redução de 96% no aumento da delaminação





# Protecção catódica

---

- Quase completa protecção contraa corrosão
- Reduz a corrosão para perto de zero
- Critério mais amplamente utilizado: mudança do potencial de 100 mV
- Corrente aplicada típica: 5 a 15 mA/m<sup>2</sup> (inferior em alguns casos)
- EN12696

# Sistemas de protecção galvânica

- O ânodo é mais activo (electronegativo) e corrói preferencialmente no lugar do aço
- Nenhuma fonte externa de electricidade necessária



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

---

# Ânodos Galvânicos Individuais para uma Prevenção de Corrosão Selectiva





# Corrosão Acelerada por 'reparação'

Betão Contaminado com Cloretos

Material livre de Cloretos

-350 mV

$\text{OH}^-$

$\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$

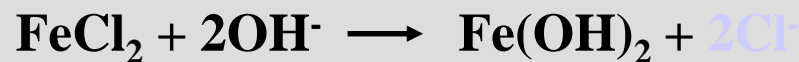
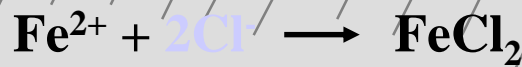
-200 mV

$\text{OH}^-$

Ânodo

$2\text{e}^-$

Cátodo



-200 mV



# Ânodo Galvânico Instalado

Betão Contaminado com Cloretos

-350 mV

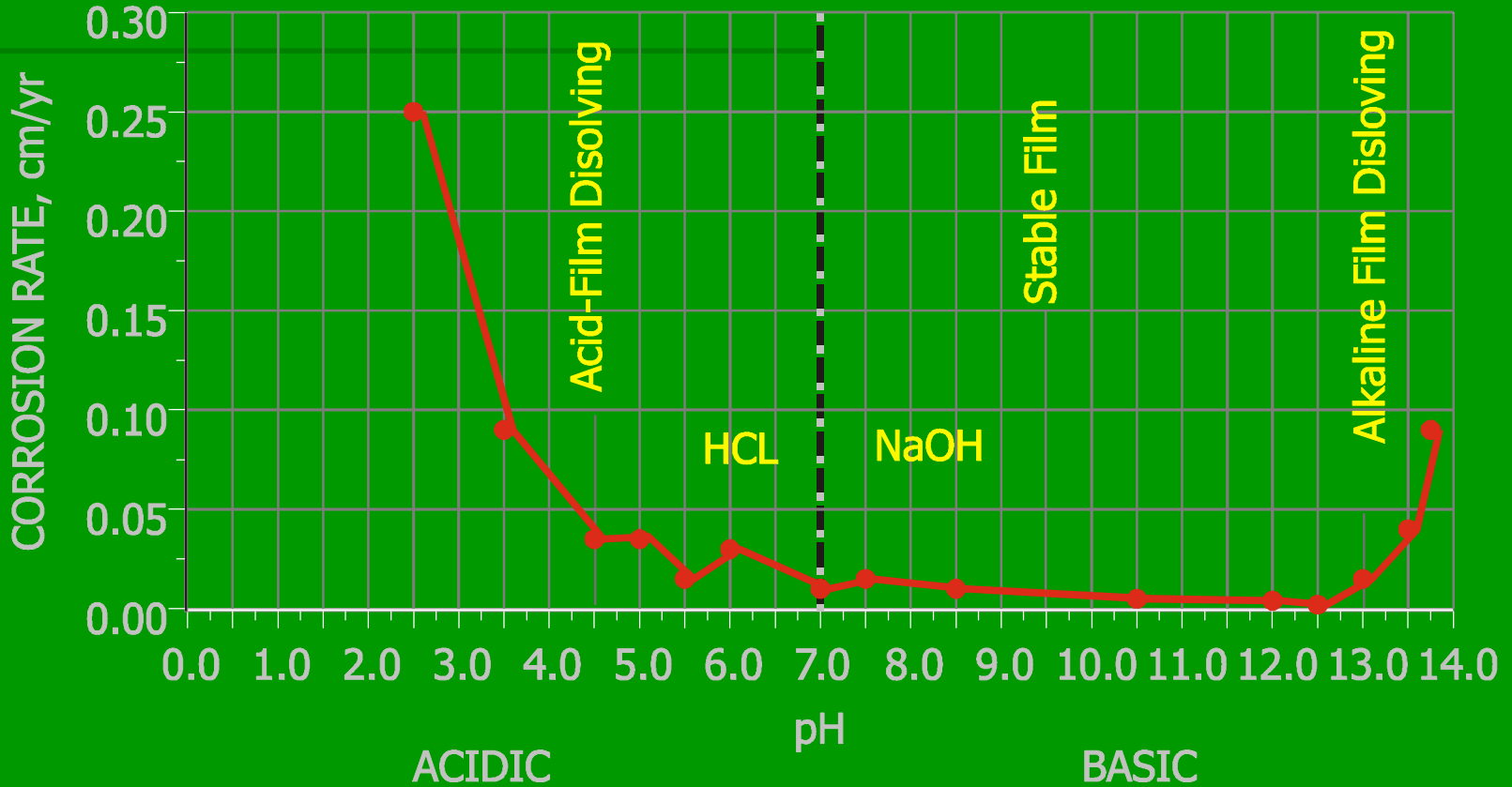
Material livre de Cloretos

-200 mV

-1100 mV

**Ânodo Protege Galvanicamente  
a Armadura Circundante**

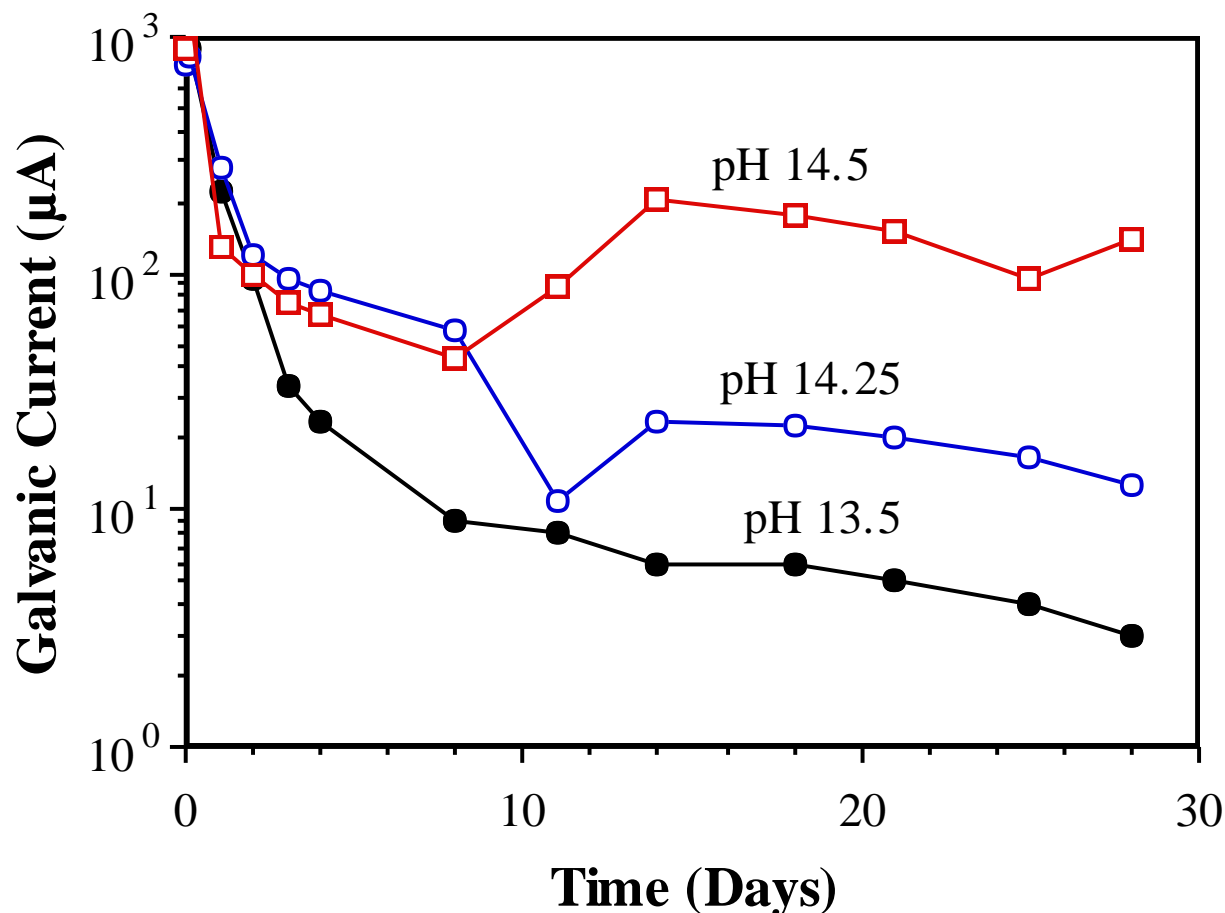
# EFFECT OF pH ON CORROSION OF ZINC IN AERATED SOLUTIONS (CO<sub>2</sub> Free In Dilute HCl And NaOH Solutions At 30 ° C)



Source: Slunder and Boyd, ZINC: Its Corrosion Resistance, 1983



# Desenvolvimento de Ânodo Galvânico



Corrente galvânica entre ânodos de zinco e cátodos de aço embutidos em argamassas contendo 1% de cloreto em peso de cimento

# Desenvolvimento de Ânodo Galvânico

---

Hidróxidos alcalinos podem atingir pH 14 ou superior

Sodium hydroxide

Potassium hydroxide

Enhance risk of alkali silica reaction (ASR)

Hidróxido de lítio

Inibidor de ASR

pH da solução saturada = 14,7

Estabilize o pH e evita a acidificação em torno do ânodo

Produtos solúveis de corrosão do zinco que podem se dissipar nos poros



**BIU**  
INTERNACIONAL  
[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Ânodos Galvânicos **Galvashield® XP** Incorporados para Prevenção Catódica

---

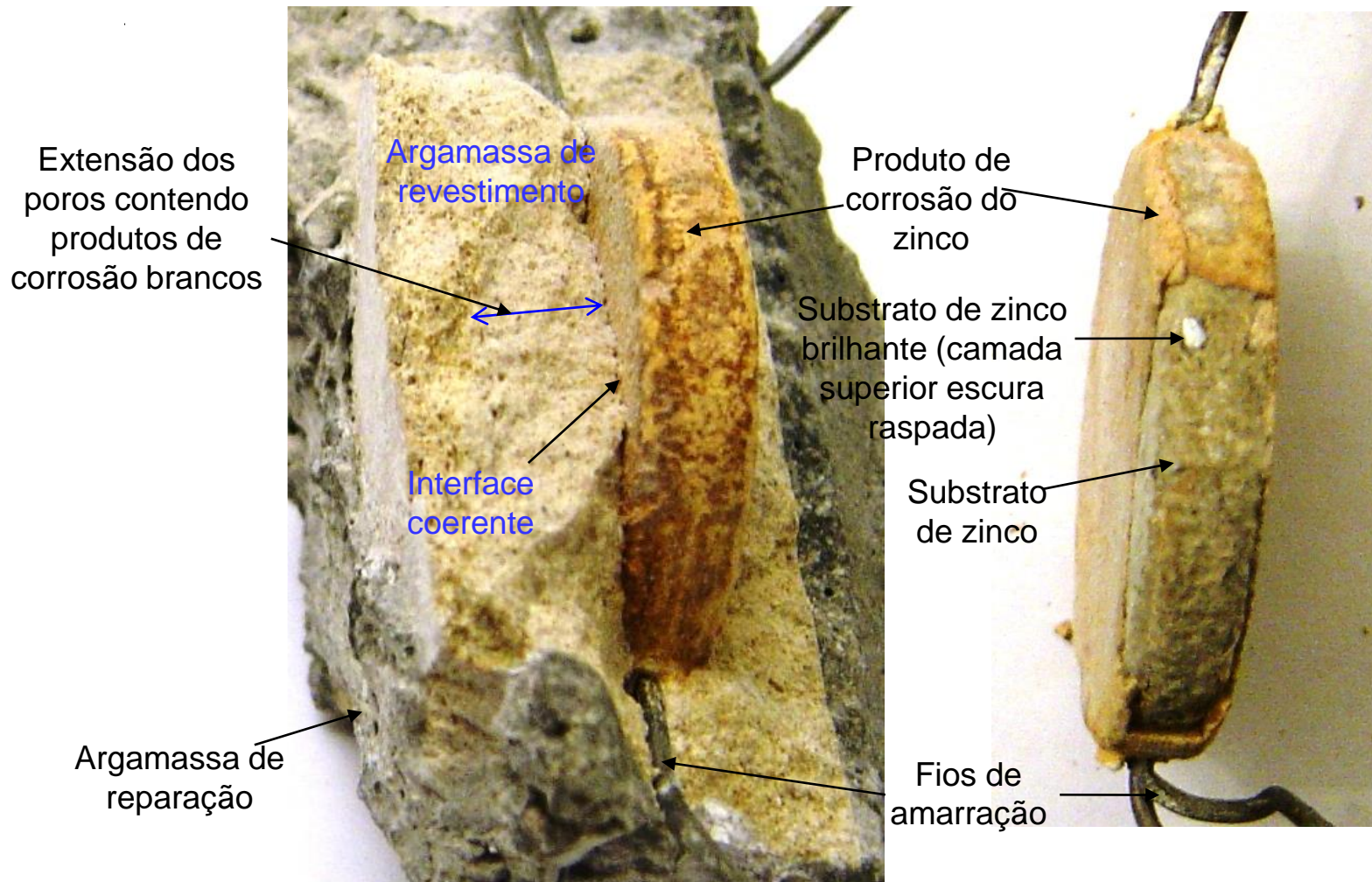


# Qual é o propósito da argamassa à volta do ânodo?

---

- A argamassa é especialmente formulada para manter o zinco ativo ao longo do tempo.
  - pH alto
- A argamassa aceita subprodutos de corrosão do núcleo de zinco.

# Resultados in situ, XP



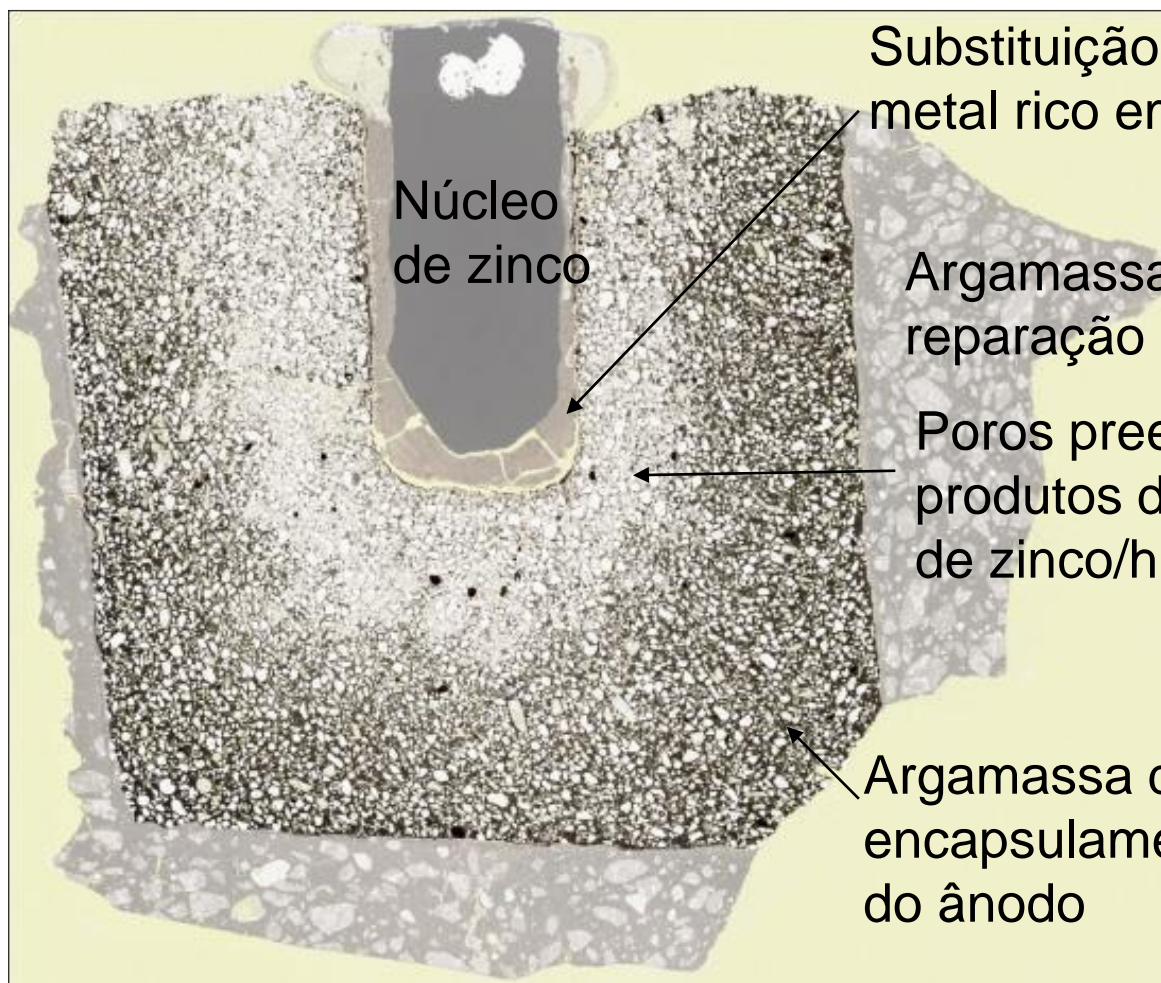
# Resultados in situ, XP



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)



Substituição pseudomórfica do metal rico em óxido de zinco

Núcleo de zinco

Argamassa de reparação

Poros preenchidos com produtos de corrosão de óxido de zinco/hidróxido de zinco

Argamassa de encapsulamento do ânodo



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Gama Galvashield® XP

---

- Use para evitar que pontos de corrosão iniciem próximo às reparações do betão
- Nas juntas entre betão novo e betão existente contaminado com cloretos
- Instalação rápida e fácil
- Adequado para estruturas de betão reforçadas convencionalmente, pré-esforçadas e pós-tensionadas







**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Instalação do ânodo

---



**Instalação de ânodos no perímetro da reparação**



**Reparação de viga  
Prevenção de Corrosão**

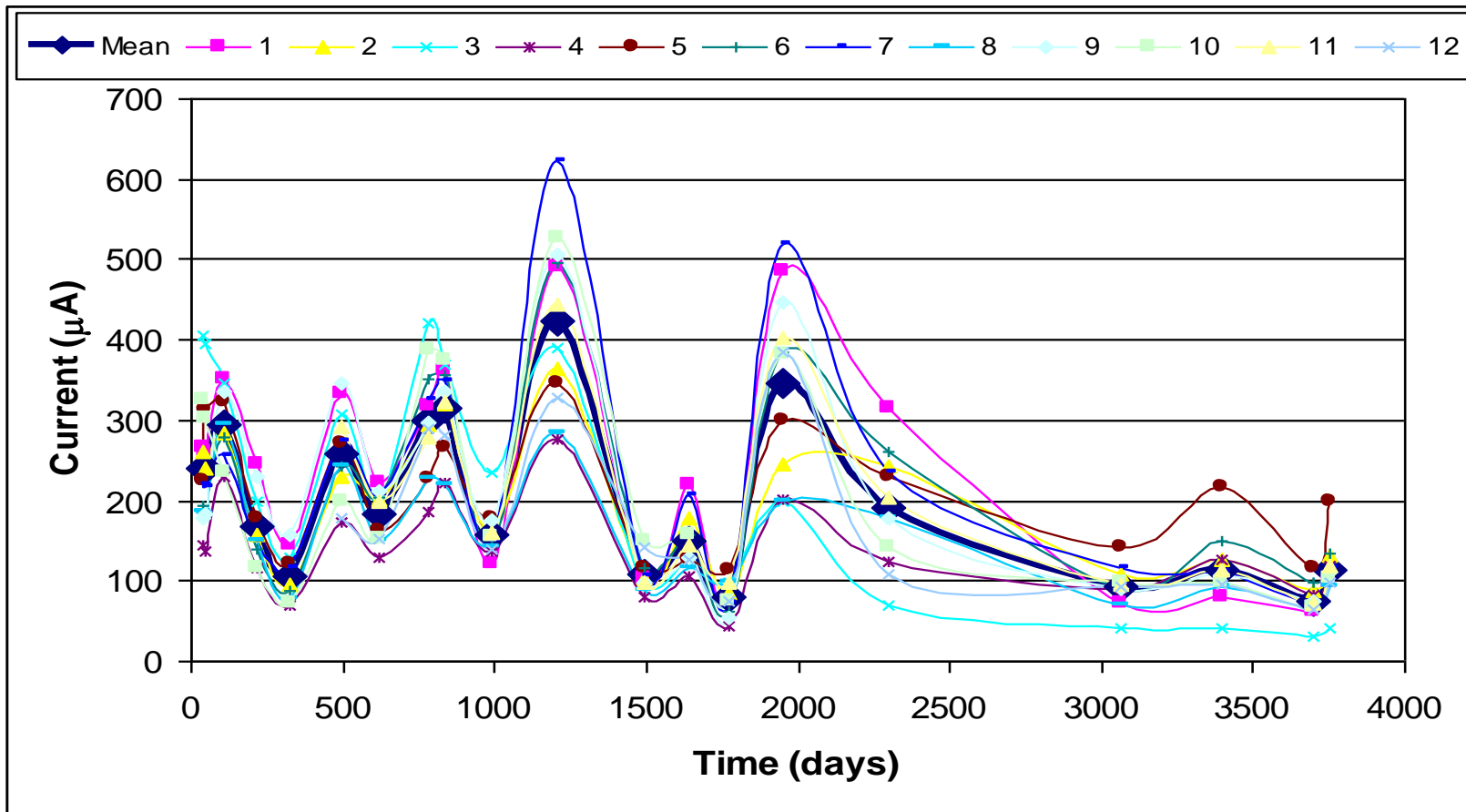
# Viga transversal da ponte de Leicester

---

- Concluído em 1999
- Monitorado por mais de 10 anos



# Monitoramento de 10 anos : Corrente ( $\mu\text{A}$ )





**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Densidade da Corrente

---

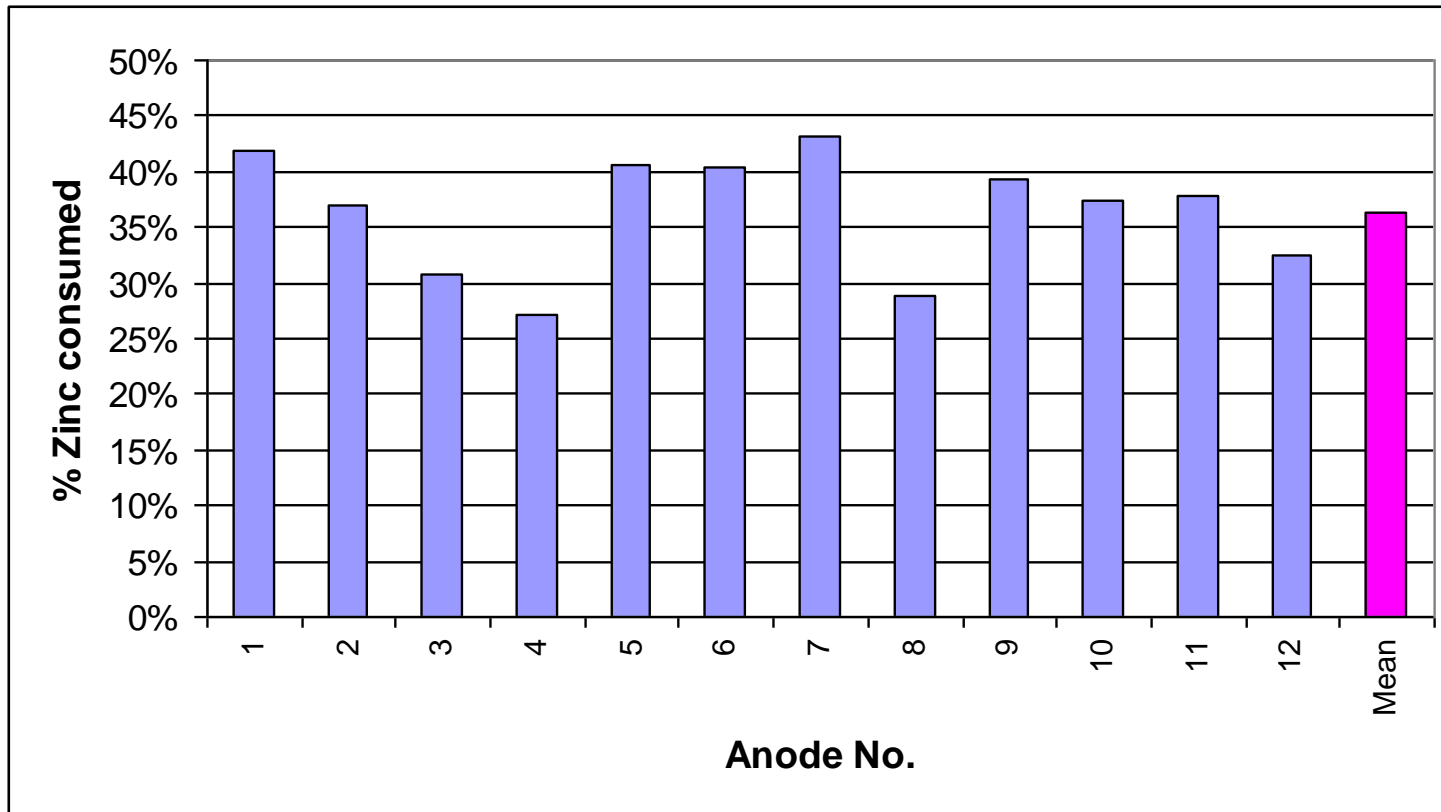
- Prevenção de Corrosão (Prevenção Catódica)
- European Standard EN 12696
  - Densidade da corrente:  $0.2-2\text{mA/m}^2$
  - Nenhum critério de polarização
- Leicester Bridge
  - Variou entre  $0.6\text{ mA/m}^2$  e  $3.0\text{ mA/m}^2$
  - Média geral de cerca de  $1.4\text{ mA/m}^2$



# Medições de polarização

| Número de dias a partir da activação | No intradorso da viga dentro da área reparada, no meio dos ânodos (mV) | Face vertical oeste da viga à distância indicada da borda da reparação (mV) |                 |
|--------------------------------------|--|---|-----------------|
|                                      |  | 50mm  | 300mm           |
| 21                                   | 56   | 58  | 56              |
| 41                                   | 27   | 47  | 31              |
| 50                                   | 22   | 55  | 28              |
| 112                                  | 24   | 48  | 11              |
| 3400                                 | 95   | 184   | Não determinado |

# Consumo Aproximado de Zinco



- Calculado com base nos resultados actuais e numa eficiência de 85%



BIU

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

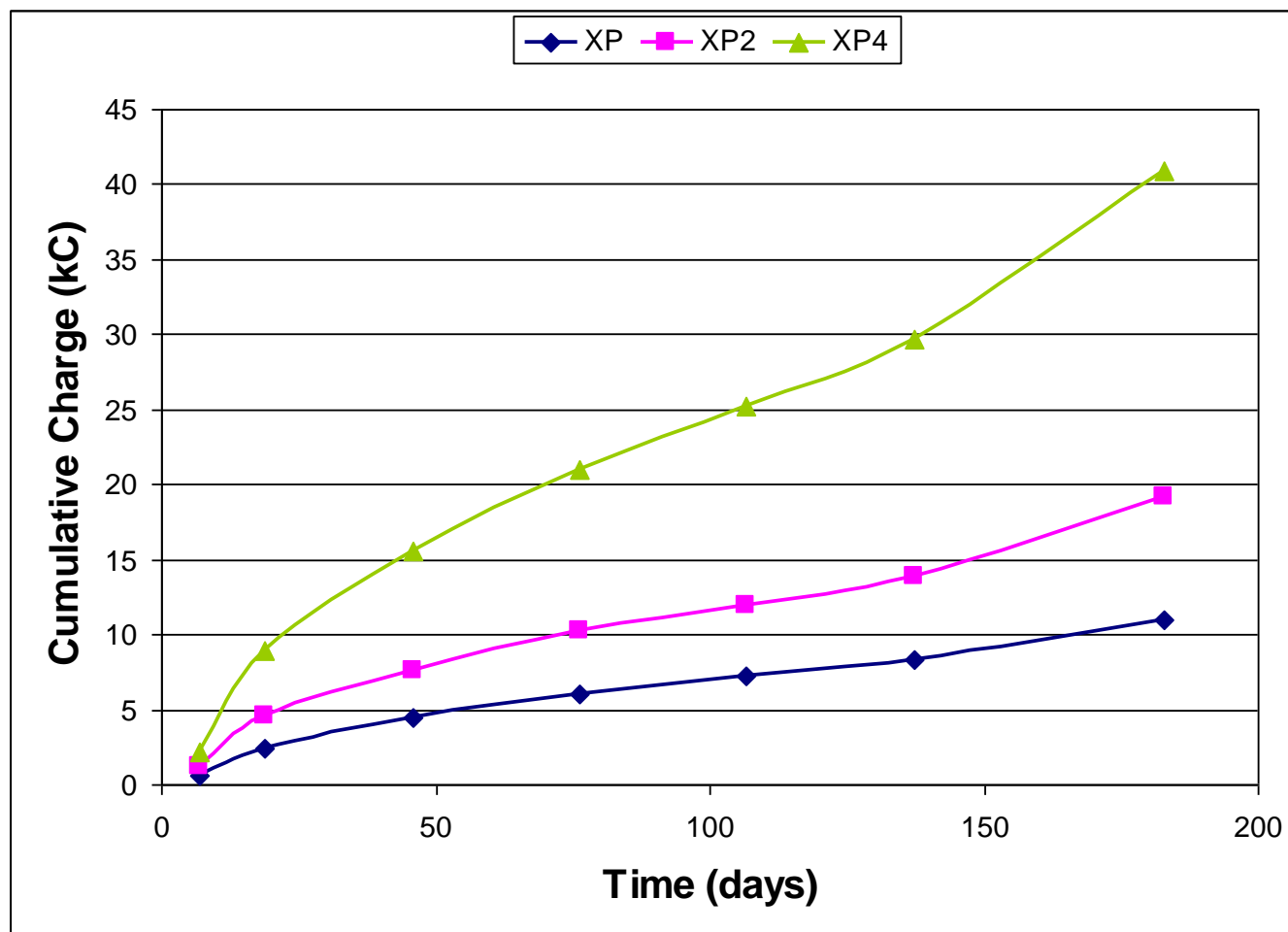
# Galvashield XP2 e XP4

---

- Maior área de contacto  
XP2 = 2x            XP4 = 4x
- Maior massa de zinco
- Maior rendimento e mais elevada capacidade
- Maior flexibilidade de projecto



# Ânodos do tipo Galvashield XP



# Perguntas

---



**BIU**  
INTERNACIONAL  
[www.biu.pt](http://www.biu.pt)





**BIU**

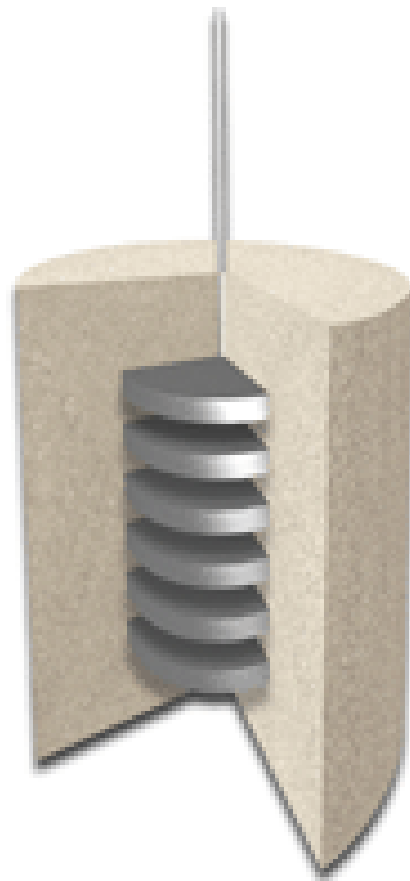
INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Galvashield® CC

## Âodos Galvânicos Embutidos para Controle de Corrosão

---







**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Galvashield<sup>®</sup> CC

---

- Reduz ou trava significativamente a corrosão em curso
- Solução proactiva para áreas contaminadas, mas que não estejam lascadas ou a delaminar
- Adequado para estruturas em betão reforçado de forma convencional, pré-esforçado e pós-tensionado
- Pode ser usado com a linha Galvashield<sup>®</sup> XP para conferir uma protecção global

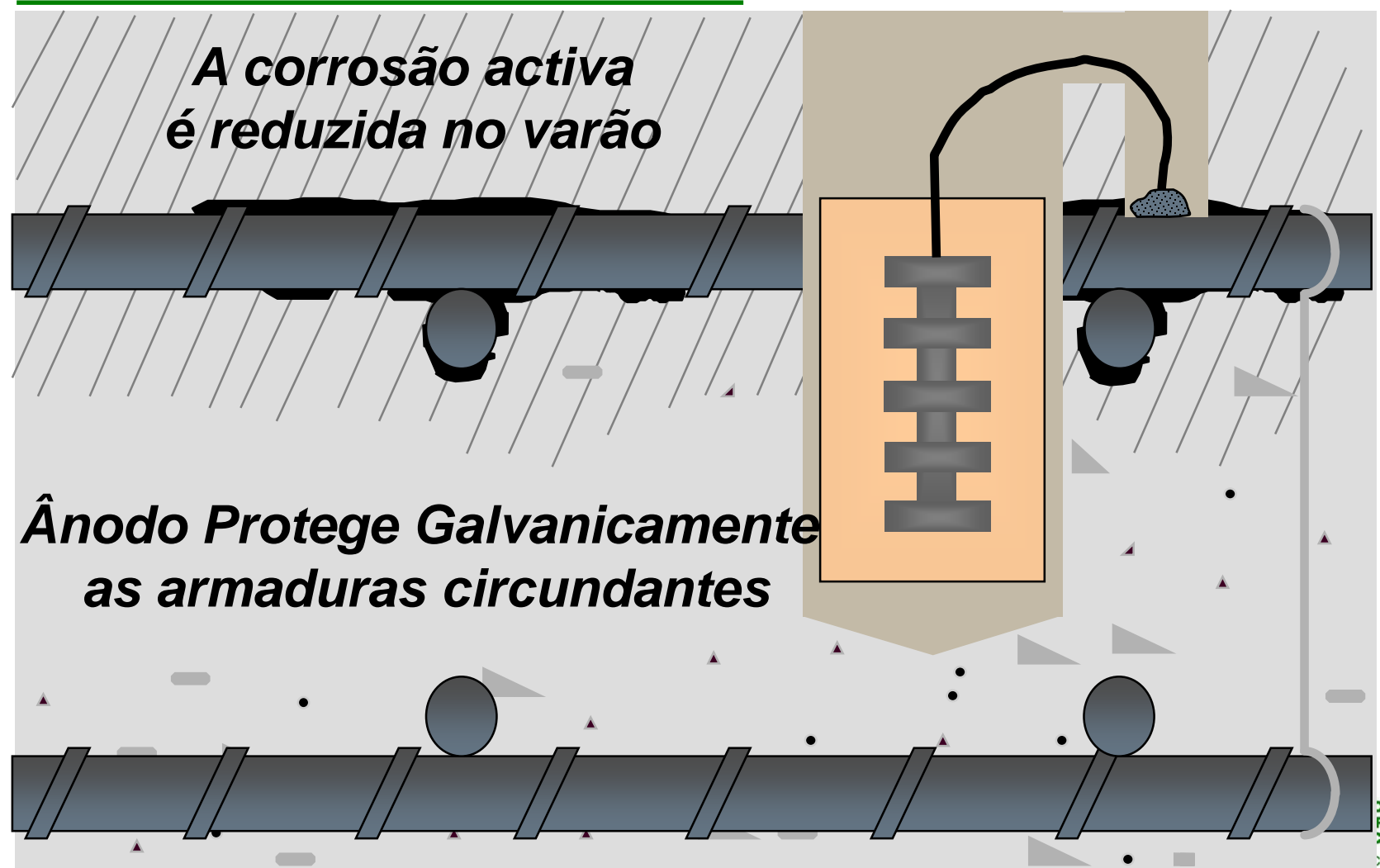
# Aplicações do Galvashield® CC

- Betão mecanicamente intacto precisando de uma protecção localizada contra a corrosão
  - Estruturas que exigem reparações, mas que não lascam por confinamento estrutural - podem não ter condições para utilizar o XP
  - Pode ser mais económico ou prático de proteger antes da deterioração física detectada



# Controle de Corrosão

## Instalação Galvashield® CC



# Ânodos CC Galvashield® Controle de Corrosão

---



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)







**BIU**  
INTERNACIONAL  
[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Galvashield® CC Protegendo “Hot Spots”

---



Ânodos durante  
a instalação



Instalação  
Concluída

# *Tamanhos CC Galvashield<sup>®</sup>*



CC 65



CC 100



CC 135



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

---

# Aplicações Especiais

## Juntas e Interfaces



New Concrete Extension

Old Retaining Wall

Failed Concrete Next to Joint  
Due to Patch Accelerated Corrosion



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

**Substituição da laje  
Brookline Blvd. Garage  
Pittsburgh Parking Authority**



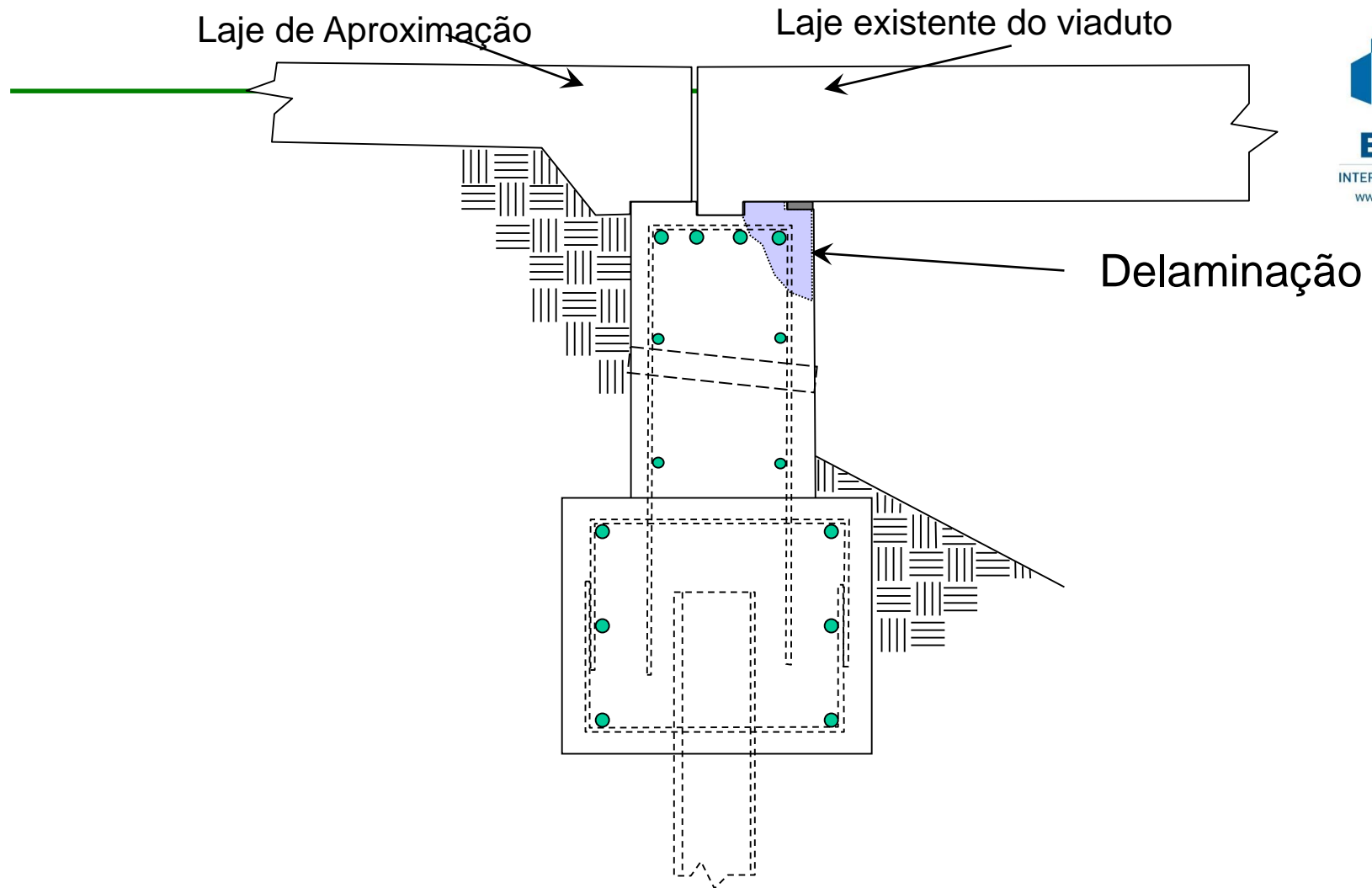




LOWE'S



# Reparação de Pilares de Viaduto



**BIU**

INTERNACIONAL

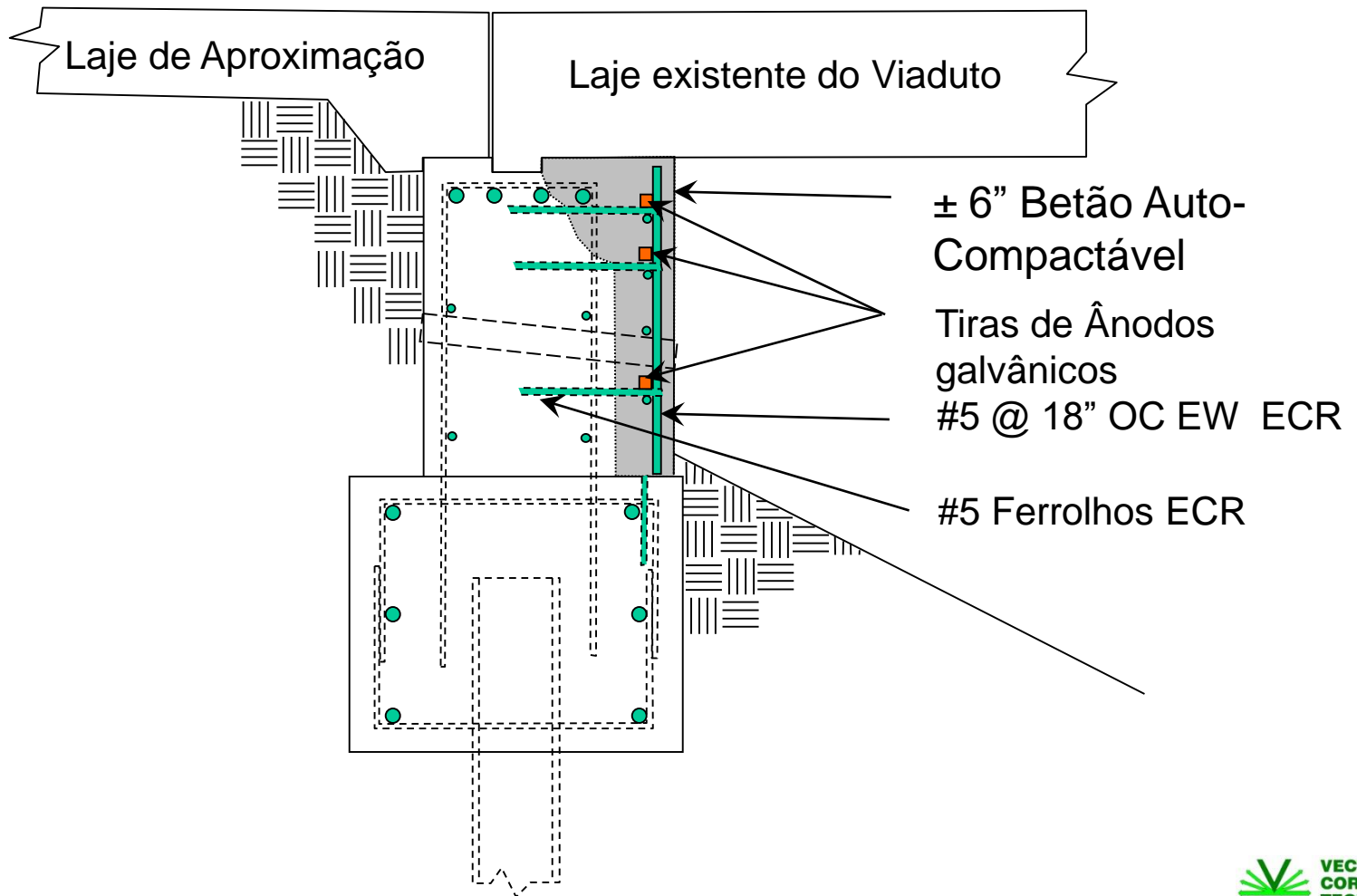
[www.biu.pt](http://www.biu.pt)



# Pormenor do reparação do pilar com protecção galvânica



BIU  
INTERNACIONAL  
www.biu.pt





Cofragens  
instaladas



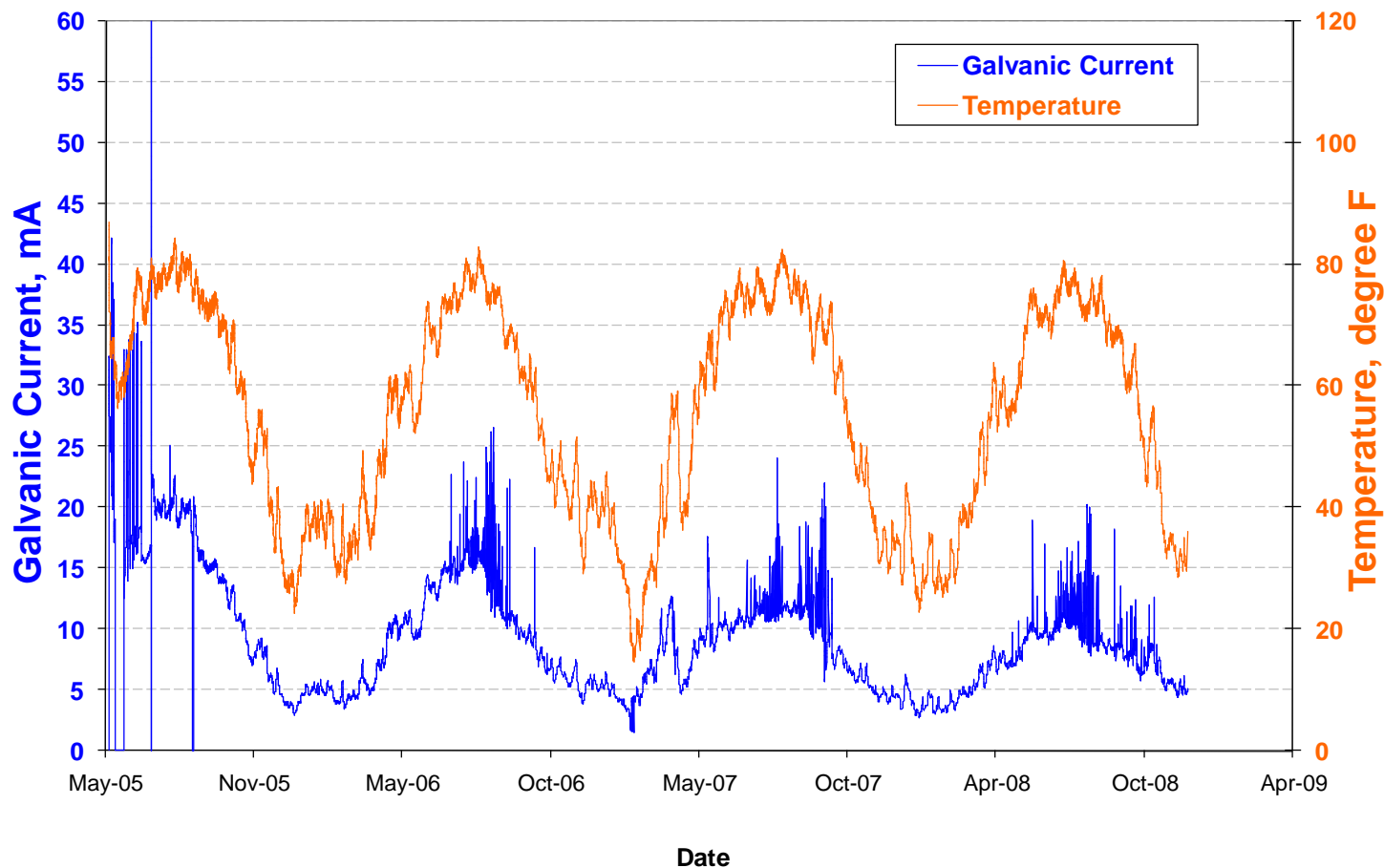


7 19:51



Reparação  
concluída

# Kirkwood Road - Corrente Protetora





# Desempenho - Kirkwood Road

| <b>Data</b>     | <b>Temp</b> | <b>mA/m<sup>2</sup></b> | <b>Polarização</b> | <b>Instant Off</b> |
|-----------------|-------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>5/6/05</b>   |             | <b>37.7</b>             |                    | <b>654*</b>        |
| <b>7/20/05</b>  |             | <b>13.9</b>             | <b>346</b>         | <b>1000</b>        |
| <b>8/16/05</b>  | <b>31</b>   | <b>12.9</b>             | <b>333</b>         | <b>987</b>         |
| <b>10/26/05</b> | <b>12</b>   | <b>5.4</b>              | <b>394</b>         | <b>1048</b>        |
| <b>12/7/05</b>  | <b>11</b>   | <b>3.2</b>              | <b>339</b>         | <b>993</b>         |
| <b>5/1/06</b>   | <b>14</b>   | <b>7.5</b>              | <b>335</b>         | <b>989</b>         |
| <b>12/20/06</b> | <b>4</b>    | <b>4.3</b>              | <b>500</b>         | <b>1154</b>        |
| <b>5/30/07</b>  | <b>26</b>   | <b>7.5</b>              | <b>446</b>         | <b>1100</b>        |
| <b>9/20/07</b>  | <b>24</b>   | <b>9.7</b>              | <b>484</b>         | <b>1138</b>        |
| <b>12/09/08</b> | <b>4</b>    | <b>3.3</b>              | <b>470</b>         | <b>1124</b>        |
| <b>7/9/09</b>   | <b>23</b>   | <b>3.3</b>              | <b>475</b>         | <b>1129</b>        |

# Perguntas

---



**BIU**  
INTERNACIONAL  
[www.biu.pt](http://www.biu.pt)



# 3 tipos de PC

---

- Existem 3 tipos básicos do princípio de Proteção Catódica.
  1. **Proteção Catódica por Corrente Imposta (PCCI)**
  2. **Proteção Catódica Galvânica (PCG)**
  3. **Realcalinização e Dessalinização do Betão**



**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# PC por Corrente Imposta

---

Existem **3 componentes básicos** para um sistema PCCI.

**1. O Ânodo** pode ser considerado o distribuidor da corrente. Geralmente são feitos de materiais inertes, tais como,

**Titânio óxido de metal misto (malha/fita)**

**Polímero condutor/Tintas (Carbono)**

**Titânio revestido com Platina e Nióbio**

**Cerâmica Condutora**



**BIU**  
INTERNACIONAL  
[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# PC por Corrente Imposta...

---

**2. A fonte de energia** para um sistema PCCI produz a corrente directa (Dual Current) passando para as armaduras. Várias fontes de energia forã̃m usadas, incluindo;

**Ligação à rede principal**

**Energia solar**

**Aerogeradores**

**Geradores com motor de combustão**



**BIU**  
INTERNACIONAL  
[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# PC por Corrente Imposta...

---

**3.O equipamento de controle** é a parte do sistema que controla o nível de proteção. Estes podem ser muito simples ou muito complicados.

**Monitora os dados e ajusta o nível de proteção ao longo do tempo para garantir o cumprimento das especificações do projeto**

**Permite monitoramento e acesso remotos**



**BIU**  
INTERNACIONAL  
[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# PC por Corrente Imposta...

---





**BIU**  
INTERNACIONAL  
[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# PC por Corrente Imposta...

---







**BIU**

INTERNACIONAL

[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

# Vantagens da PCCI

---

- A maioria dos sistemas é altamente durável  
~ 50 anos de vida ou mais
- Totalmente Controlado
- Se instalado corretamente, está em conformidade com a EN12696
- Comprovado para interromper completamente o processo de corrosão em todos os ambientes



erik@biu.pt

---



**BIU**  
INTERNACIONAL  
[www.biu.pt](http://www.biu.pt)

Obrigado !