

RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DETERIORADAS POR CORROSÃO

Objetivos

Nosso objetivo principal é apresentar o estado-da-arte da tecnologia de recuperação de estruturas de concreto deterioradas pela corrosão.

Porque a corrosão é perigosa?

Porque com a corrosão há uma diminuição da seção transversal da armadura. Assim, com o tempo podem ocorrer deformações da estrutura, quer por perda de aderência entre o aço e o concreto devido a fissuras e destacamento de partículas, quer como resultado da diminuição da seção transversal da armadura, em especial em estruturas protendidas, nas quais uma pequena perda de metal pode acarretar o rompimento de um cabo. Além disso, a ferrugem ocupa um volume muito maior que o do aço atacado e exerce pressão expansiva no concreto, em volta deste aço, produzindo deslocamentos

Custo

O custo das intervenções de recuperação e reparo nas estruturas deterioradas é estimado num montante entre 3 a 4% do PIB de cada país.

Histórico

A corrosão primeiramente foi observada em estruturas marítimas e nas unidades de processamento de produtos químicos. A seguir, em superestruturas de pontes e viadutos, estruturas de estacionamento e outras estruturas industriais e comerciais.

O ferro na natureza

Há um princípio da termodinâmica que afirma que um material em busca da estabilidade, sempre procura seu estado de mais baixa energia livre.

Assim, o ferro encontra-se na natureza na condição de óxido de ferro Fe_2O_3 hematita.

O aço na usina siderúrgica

A tecnologia contemporânea injeta energia no óxido, separando-o do oxigênio e adicionando-lhe carbono e outros metais, tais como manganês, silício, fósforo e enxofre para compor o aço.

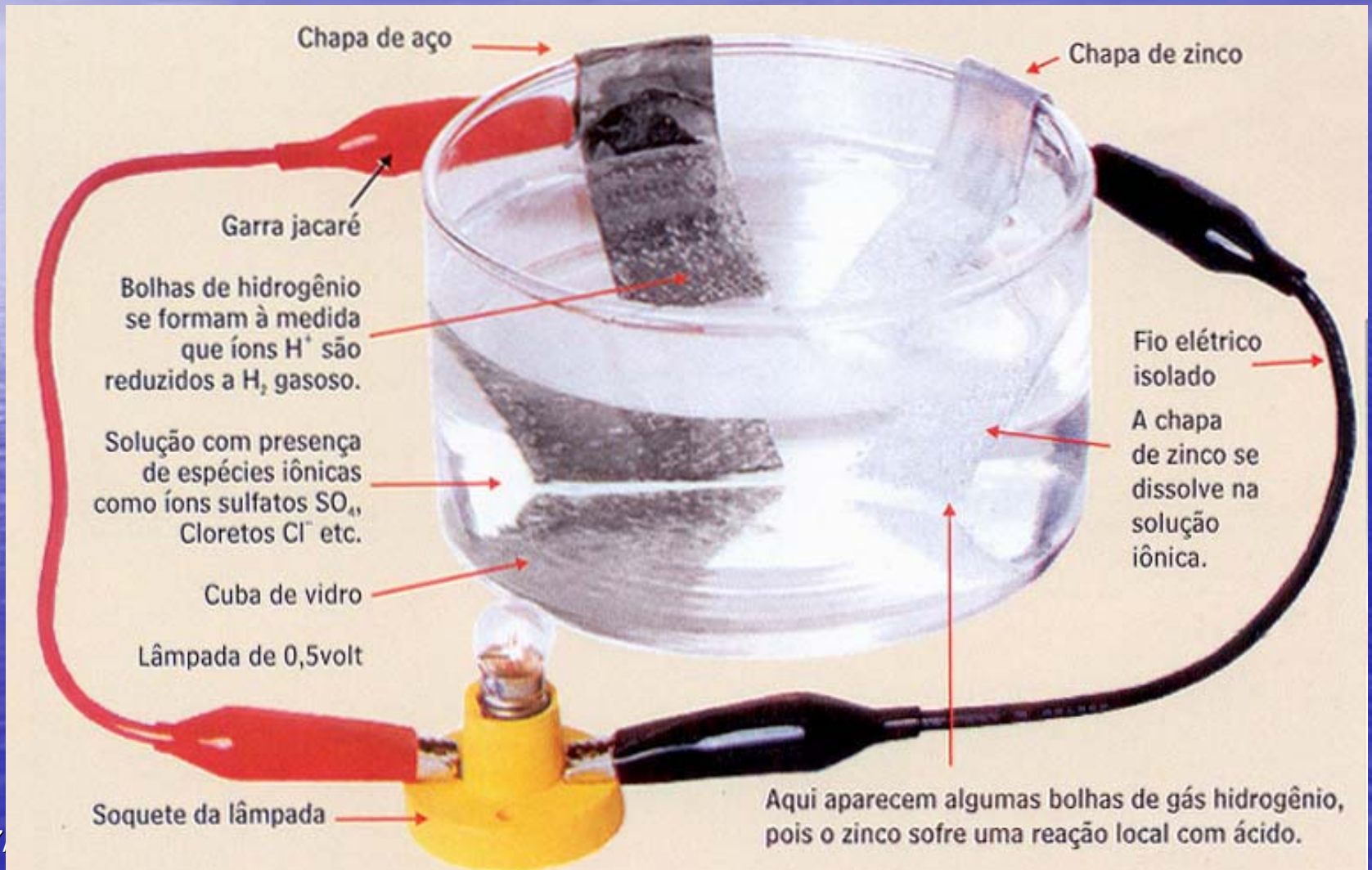
60% é produzido em alto-forno, sendo minério de ferro, coque e fundentes variados as principais matérias-primas. A redução do minério até o metal líquido produz ferro-gusa

34% é produzido em forno elétrico a arco, onde a sucata ferrosa é fundida.

Definição de corrosão

1. O IPT a define como “a transformação de um material pela sua interação química ou eletroquímica com o meio em que se encontra”.
2. A ASTM a define como “corrosão galvânica acelerada, em função do ambiente agressivo e de contatos elétricos com metais mais nobres”.

A corrosão



Potenciais eletroquímicos

Diferentes metais possuem diferentes potenciais em suas superfícies, ou seja, o ferro Fe, o alumínio Al, o zinco Zn, entre outros possuem, cada um, seu potencial em volts, medidos de forma padrão em relação a um determinado referencial.

Onde a corrosão pode ocorrer

A corrosão do aço pode ocorrer nas estruturas que:

- a) não estejam preparadas para barrar o ingresso dos agentes agressivos que deflagram a corrosão;
- b) aquelas que não foram adequadamente projetadas para enfrentar o meio ambiente agressivo;
- c) aquelas em que este meio ambiente não foi adequadamente identificado em sua agressividade;
- d) aquelas que não foram preparadas para enfrentar as mudanças do meio ambiente durante sua vida útil.

Corrosão do ferro como processo eletroquímico

A ferrugem mais comumente encontrada é o $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, óxido hidratado.

A corrosão que ocorre no aço é um processo eletroquímico, de natureza galvânica, já que o aço da construção é composto de ferro e de outros diferentes metais e se desenvolve com a transferência de elétrons entre metais

Fatores que aumentam a corrosão

- a) Presença de cloretos e sulfatos;
- b) Presença de oxigênio e de umidade;
- c) Ciclos de umedecimento e secagem;
- d) Heterogeneidades no concreto e no aço;
- e) Abaixamento do pH da água contida nos poros do concreto;
- f) Carbonatação da pasta de cimento Portland e Lixiviação;
- g) Fissuras no concreto;
- h) Correntes de fuga;
- i) Efeitos galvânicos resultantes do contato de metais dissimilares;

Íon e solução iônica

O íon é uma partícula que adquiriu carga elétrica, positiva ou negativa, quando e onde a superfície do metal originário e íntegro dissolveu-se, ainda que em microscópica espessura, numa solução iônica.

Esta solução torna-se, com isso, um condutor eletrolítico, eletrólito ou solução simplesmente.

Corrente elétrica

Uma solução conduz eletricidade ou produz corrente iônica porque seus íons positivos e negativos movimentam-se. Essa mobilidade é provocada pela força eletromotriz ou diferença entre os potenciais da pilha existente, em metais diferentes, em função de uma corrente elétrica entre os dois metais existentes na superfície da liga aço.

Ou seja, é devido à facilidade com que o metal mais eletronegativo, no caso o ferro, doa seus elétrons para um metal menos eletronegativo que entra na composição da liga

Corrente de corrosão

A corrente de corrosão representa a rapidez com que ocorre a desintegração da superfície do aço, envolvido pela solução existente na interface e vazios do concreto. Quanto maior a corrente eletrônica, maior a quantidade de átomos de ferro que “pulam” para formar íons ferrosos no eletrólito.

De forma simultânea, quanto maior o “alimento”, a quantidade de oxigênio, por exemplo, que chega à superfície das armaduras, maior a corrente iônica e maior a quantidade de íons hidroxilas que passam para o anodo onde ocorre a corrosão

Anodo e Catodo (1)

- Para que uma reação eletroquímica se dê, são necessárias reações em duas semicélulas ou eletrodos:
- Numa semicélula, há a “libertação” de elétrons, a chamada reação anódica, a oxidação do ferro, Fe, para formar os íons ferro, Fe^{++} ;
- Na outra, há o consumo destes mesmos elétrons, a chamada reação catódica, a redução do oxigênio, para a formação dos íons hidroxila, OH^- ;

Anodo e Catodo (2)

- No anodo, os átomos de ferro desprendem para a solução seus dois elétrons, tornando-se íons com carga positiva (Fe^{++}). Esta reação é chamada de **oxidação**.
- Os dois elétrons, que se libertaram, “viajam” através da armadura para a região denominada de catodo, onde são consumidos por outros elementos presentes, ávidos por receber estes elétrons, como por exemplo, o oxigênio e o hidrogênio. Esta reação é chamada de **redução**.

Os circuitos eletrônico e iônico

- O primeiro, o transporte dos elétrons, através do condutor metálico, que é a armadura.
 - O segundo, através do condutor eletrolítico, do eletrólito, que é o próprio concreto, envolvendo cargas elétricas denominadas íons.

Da importância da redução no catodo

As reações de redução no catodo, têm um importantíssimo papel no desenvolvimento da corrosão no concreto armado, porque são decisivamente influenciadas pelos “alimentos” que chegam à interface aço-concreto, como o oxigênio, dióxido de carbono, íons cloretos e outros, e que servem de combustível à corrosão no anodo, estabelecendo a natureza dos produtos da corrosão, como os hidróxidos ferrosos

Potencial de corrosão da semi-pilha

Quando fazemos chegar à superfície da armadura, através dos vazios existentes no concreto, uma solução de um eletrólito qualquer, surgirá uma força eletromotriz ou uma diferença de potencial (**DDP**) crescente nesta interface armadura/concreto, devido a uma distribuição irregular de cargas (elétrons e íons) tanto na solução quanto na armadura.

Só poderemos medir esta DDP se introduzirmos uma outra semipilha, chamada de referência, de modo a poder quantificar o potencial existente.

O potencial medido desta forma é chamado potencial de corrosão e depende tanto da condição e composição do aço quanto das características da solução existente na interface armadura/concreto.

Corrosão atmosférica

A reação de corrosão do aço ao ar é :



O processo de corrosão atmosférica é composto por elétrons fluindo pelo metal e íons fluindo no eletrólito superficial constituído de água e agentes poluentes dissolvidos.

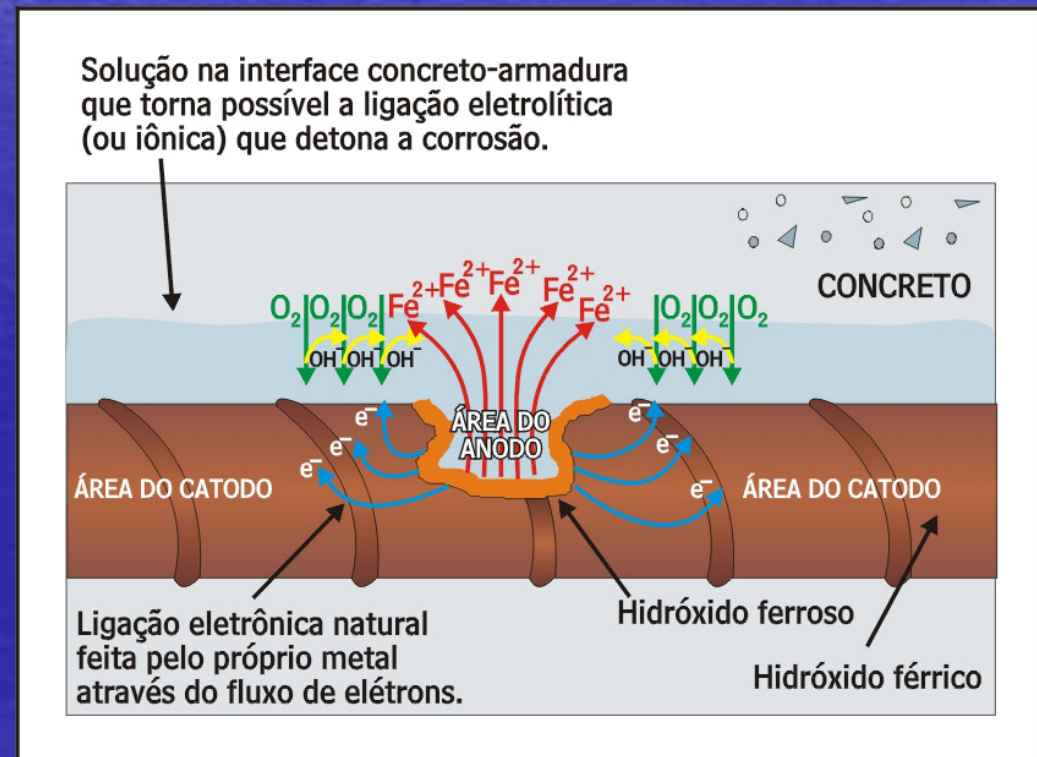
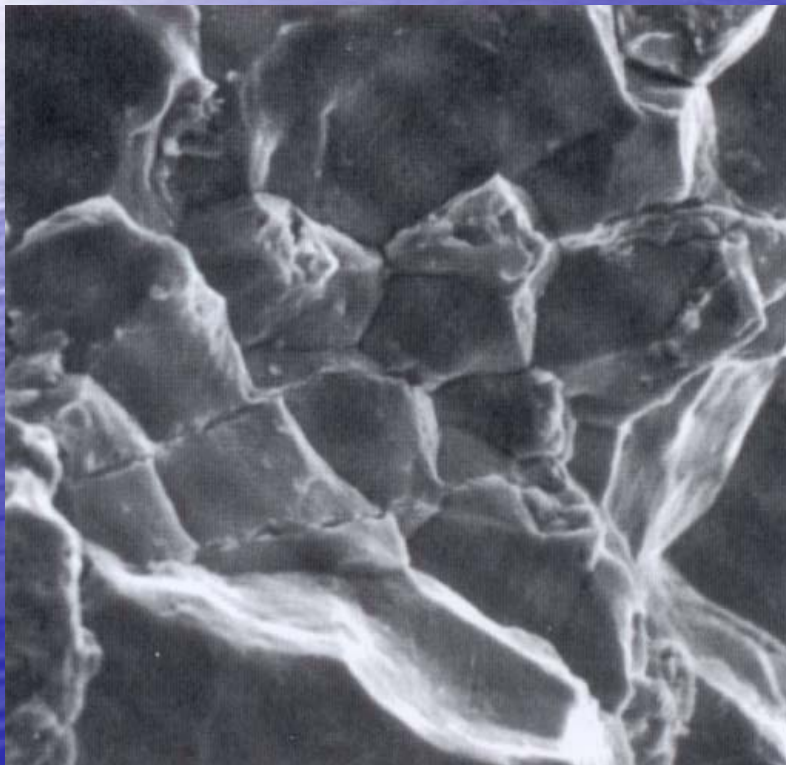
A umidade relativa do ar determina a % de umidade, a partir da qual ocorrerá a condensação.

A experiência da gota salina

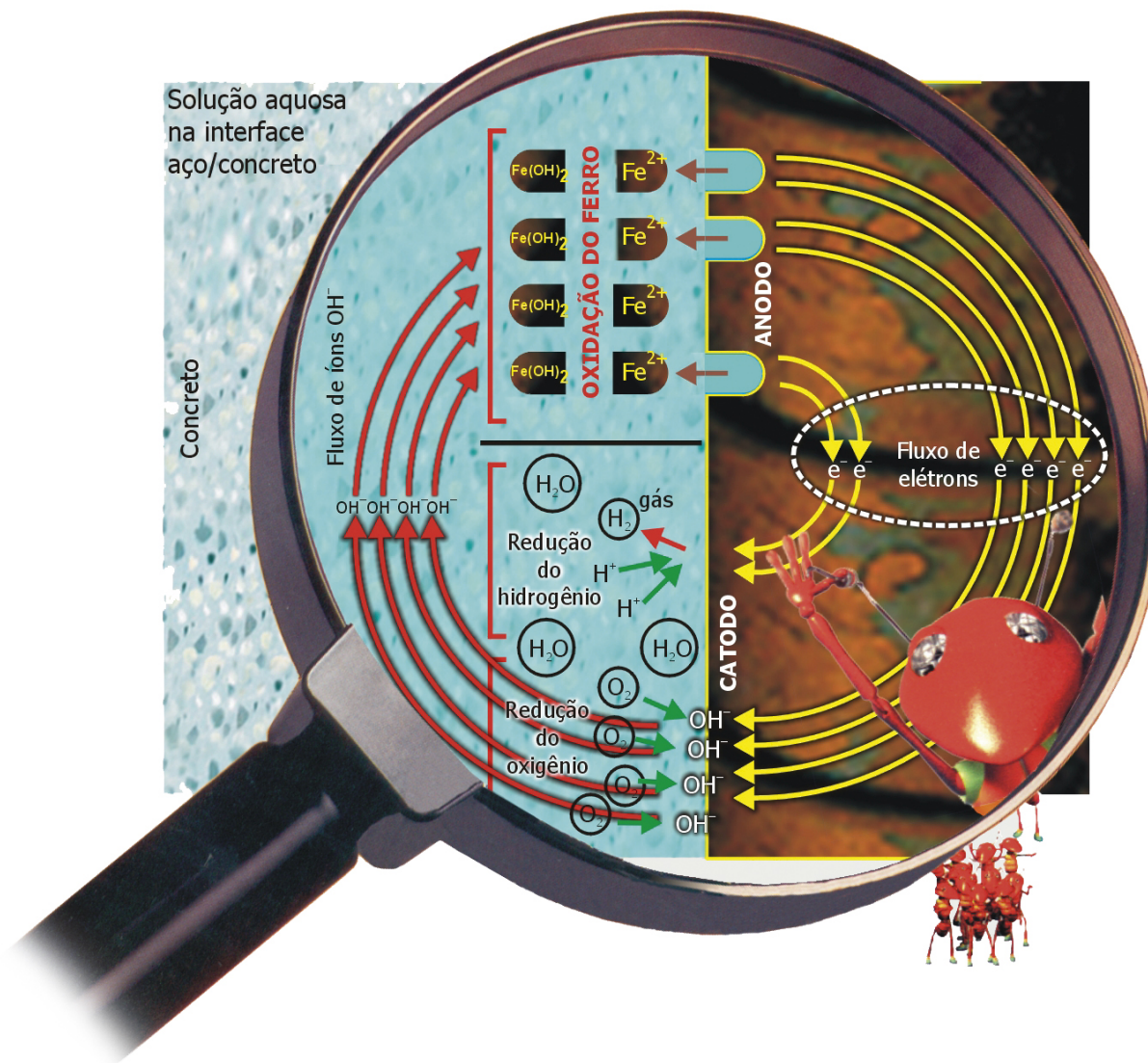
- Uma gota de solução NaCl 3% é pingada sobre superfície finamente lixada de aço carbono. A solução também contém ferricianeto de potássio, que azula frente a íons ferrosos e fenolftaleína que arrosa frente a hidroxilas.
- Inicialmente, há pequenas áreas azuis e róseas distribuídas ao acaso. Posteriormente, há concentração de azul ao centro e rosa na periferia, com amarronzado entre ambas.
- As reações são:
 - $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{++} + 2\text{e}^-$ (azul)
 - $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$ (rosa)
 - $2 \text{Fe}^{++} + 4 \text{OH}^- + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{FeOOH} + \text{H}_2\text{O}$ (marrom)
 - $8 \text{FeOOH} + \text{Fe}^{++} + 2\text{e}^- \rightarrow 3 \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$ (marrom)

O aço da construção

Cada metal possui sua própria energia, responsável pelo seu tempo de vida



MOVIMENTO ELÉTRICO (VOLTAGENS E CONSEQÜENTES CORRENTES)



Visão ampliada das interfaces de oxidação e alimentação (redução) que provocam a destruição da armadura no concreto armado. No anodo, átomos de ferro ao perderem seus elétrons ganham carga positiva. Esta transação chama-se corrosão. Como íons metálicos na interface, os Fe^{2+} esperam os íons hidroxilas OH^- para formar produtos de corrosão do tipo $Fe(OH)_2$. Os elétrons "abandonados" imediatamente fluem através da armadura para regiões catódicas onde, em contato com a solução, "oferecem" suas cargas elétricas ao oxigênio, à água e ao hidrogênio ali presentes que, com o troca-troca, promoverão reações de redução no oxigênio e no hidrogênio, formando íons hidroxilas (OH^-) e gás hidrogênio (H_2). Caso a água, nos vazios do concreto, contenha outros íons, poder-se-á formar além do hidróxido ferroso $Fe(OH)_2$, no anodo, outras substâncias como FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 etc. Para manter a neutralidade da carga, os íons hidroxila OH^- migram do catodo para o anodo através da solução interfacial, para reagir com os íons Fe^{++} . O que vemos, então, é um fluxo de elétrons através da armadura e um fluxo de íons pela solução interfacial concreto-armadura.

Série galvânica prática

Liga ou metal	Potencial em mV
Carbono, grafite e coque	300
Cu, bronze e latão	- 200
Ferro fundido	- 200
Aço da construção passivado	- 200
Aço da construção corroído	- 350 a - 500
Al comercialmente puro	- 800
Liga de Al com 5% Zn	- 1.050
Zinco	- 1.100
Liga de Al, Z e Sn	- 1.100
Liga de Mg com 6%Al + 3%Zn + 0,15%Mn	- 1.600
Mg comercialmente puro	- 1.750

Cloretos

Os íons cloretos são considerados a maior causa da corrosão prematura da armadura.

Em pequenas quantidades são encontrados nos constituintes da mistura do concreto, mas também eram adicionados intencionalmente.

Os íons cloreto dissolvidos podem penetrar no concreto endurecido e não protegido das estruturas expostas às atmosferas marinhas com as névoas salinas, às chuvas ácidas dos ambientes industriais ou aos sais descongelantes nos países do hemisfério norte.

Permeabilidade

Concreto com baixa permeabilidade minimiza a infiltração de substâncias agressivas. Esta permeabilidade também aumenta a resistividade elétrica do concreto, o que diminui o fluxo das correntes eletroquímicas de corrosão

Alcalinidade

O concreto proporciona excelente proteção anticorrosiva à armadura de aço. O meio altamente alcalino do concreto resulta na formação de uma película de óxido protetora, estável e firmemente aderida, que passiva o aço e o protege contra a corrosão

Carbonatação

A carbonatação do concreto acarreta a diminuição da alcalinidade, permitindo a corrosão da armadura. Contudo, a carbonatação do concreto com baixa relação água/cimento é um processo lento e a corrosão induzida pela carbonatação não é tão comum quanto à provocada pelos íons cloretos.

Reações Básicas da Carbonatação no Concreto

Fase 1: Os poros do concreto contêm:

água e cal livre



Fase 2: Quando o dióxido de carbono do ar entra nos poros do concreto, forma-se o ácido carbônico:

dióxido de carbono + água = ácido carbônico

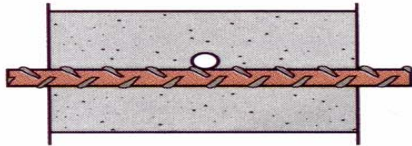


Fase 3: O ácido carbônico neutraliza a cal livre e forma sólidos de carbonato de cálcio em pH neutro.

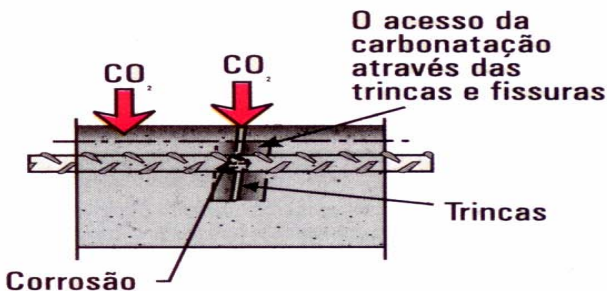
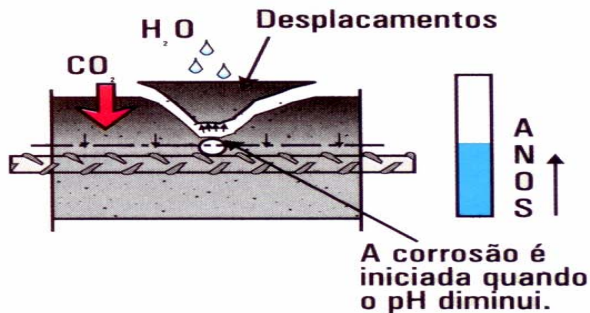
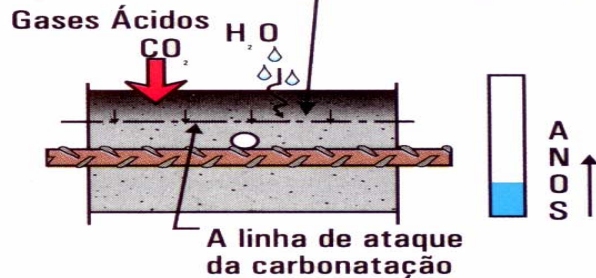
cal livre + ácido carbônico = carbonato de cálcio + água



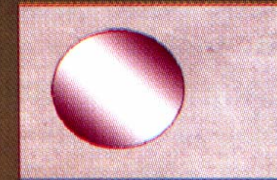
Concreto armado sem comprometimento



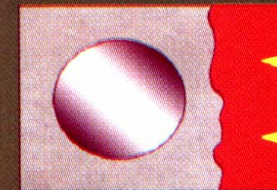
O pH diminui através da reação ...
 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$



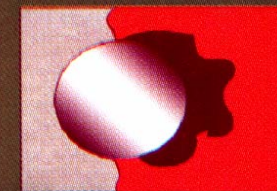
Carbonatação



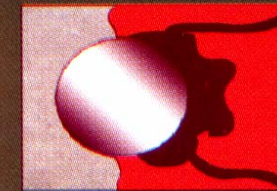
Concreto de boa qualidade (pH = 13/14) aço encontra-se passivado



Dióxido de carbono entra, pH começa a diminuir. O aço ainda não é afetado.



O pH do ambiente em torno da armadura diminui abaixo de 9,5. Começa a corrosão.

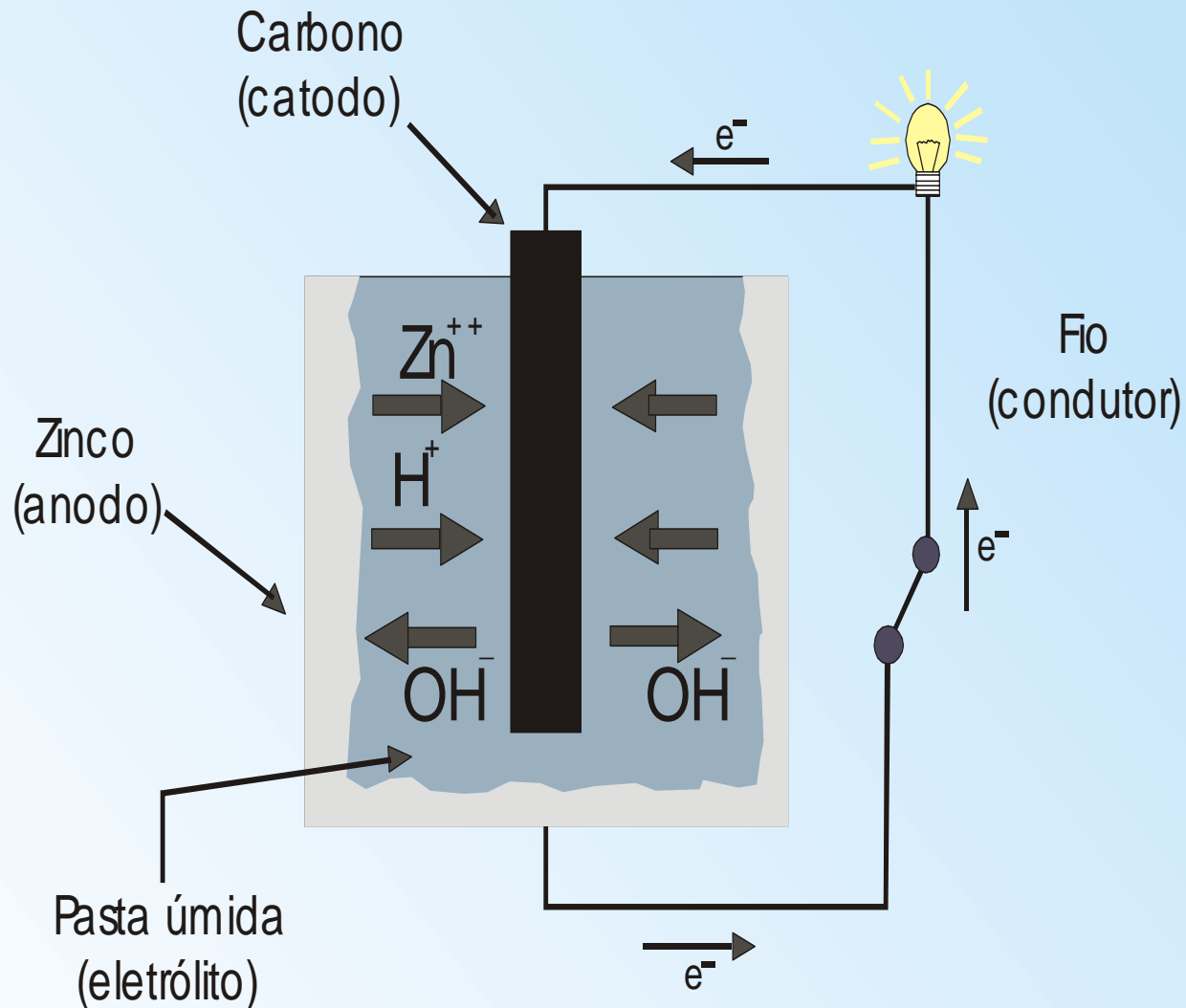


A expansão voluntária da corrosão causa trincas e deslocamentos.

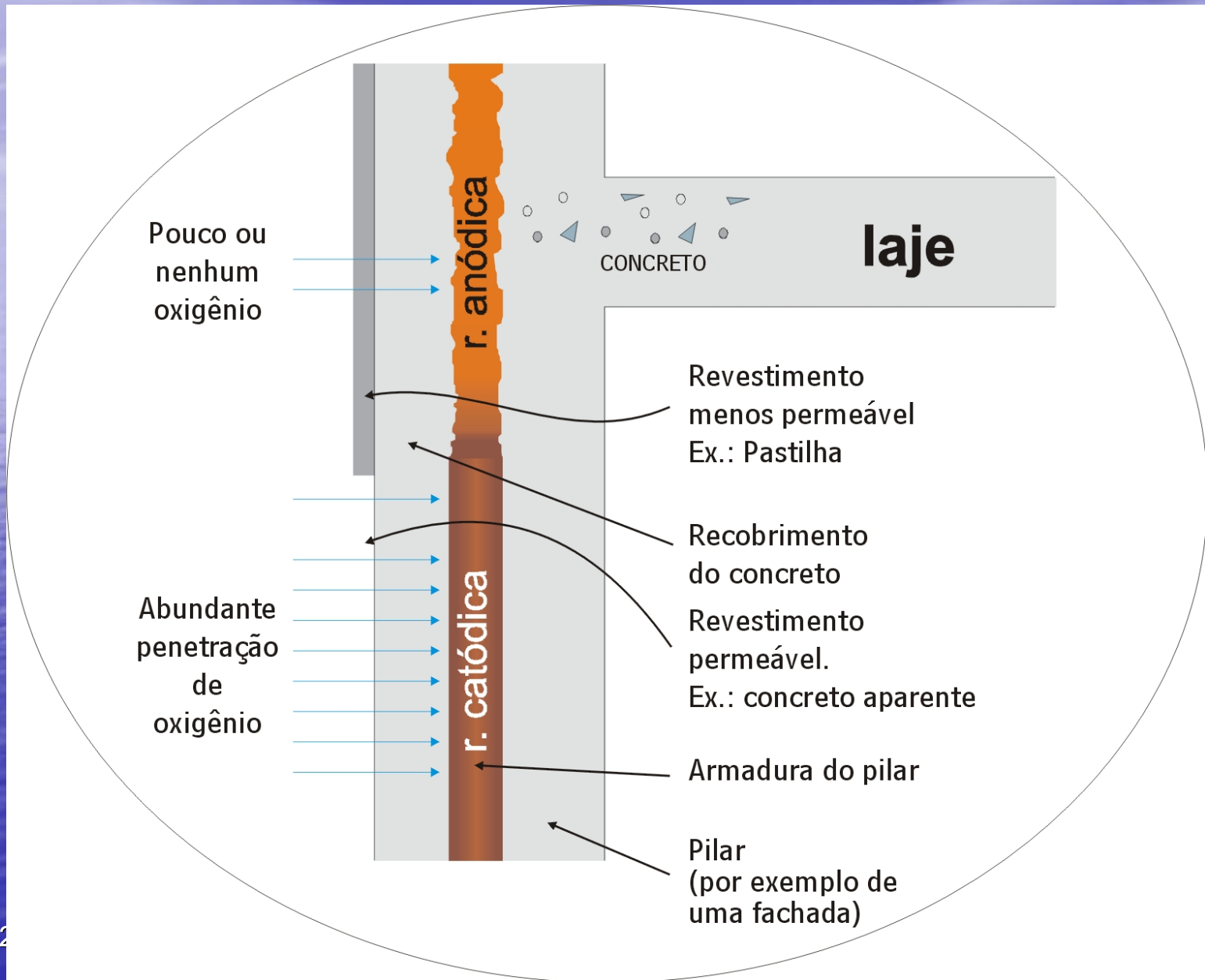
Quando a linha de ataque da carbonatação alcança o nível das armaduras, a área óxido passivante em torno das armaduras perde sua estabilidade, instalando-se a partir daí as células eletroquímicas de corrosão.

A Formação das Pilhas

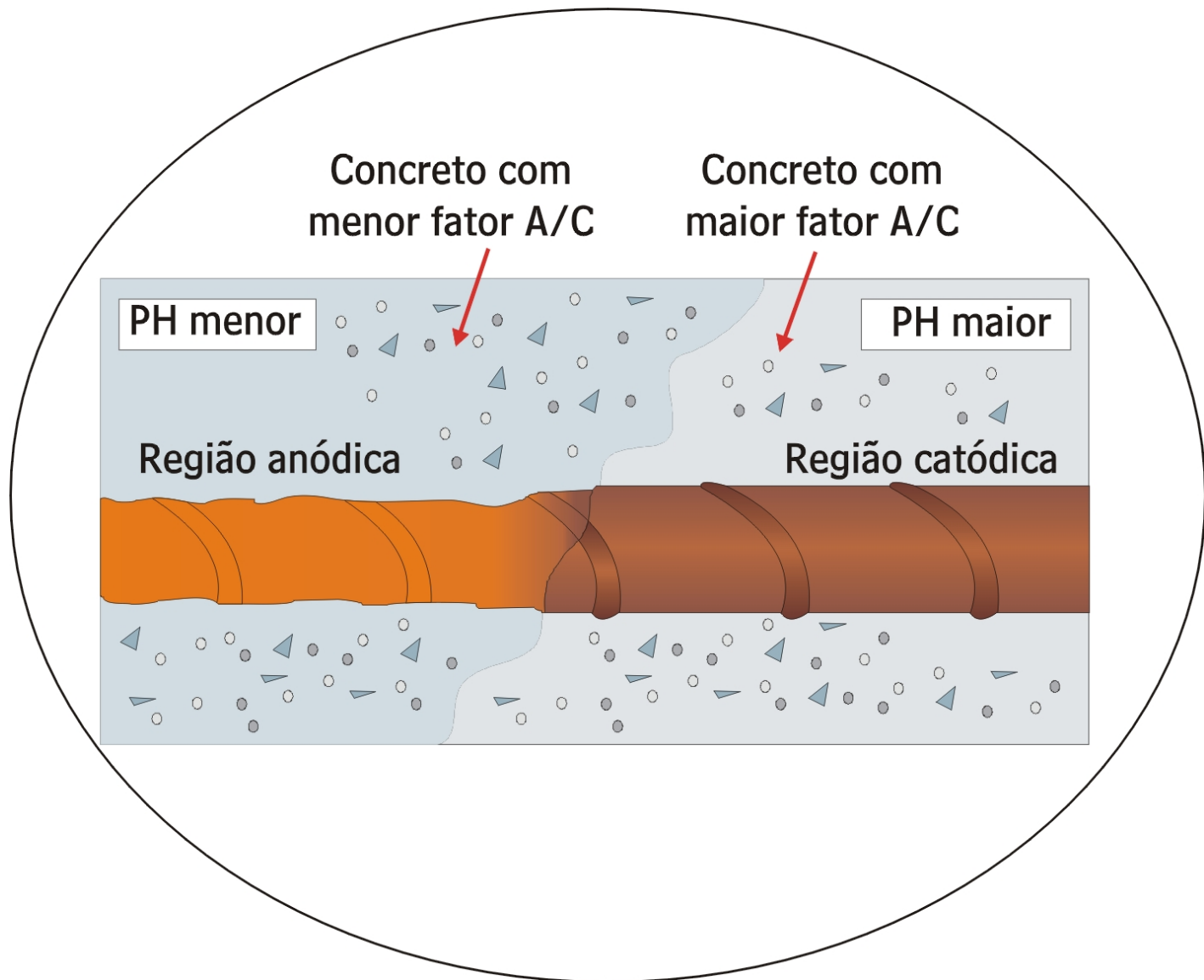
PILHA COMUM



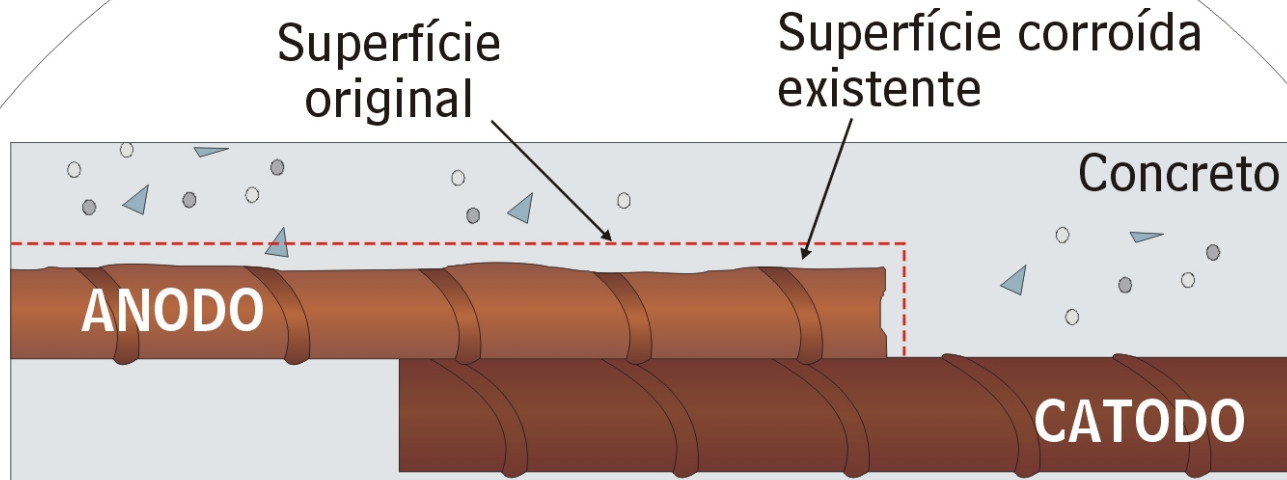
PILHA POR AERAÇÃO DESIGUAL



PILHA POR PH DESIGUAL

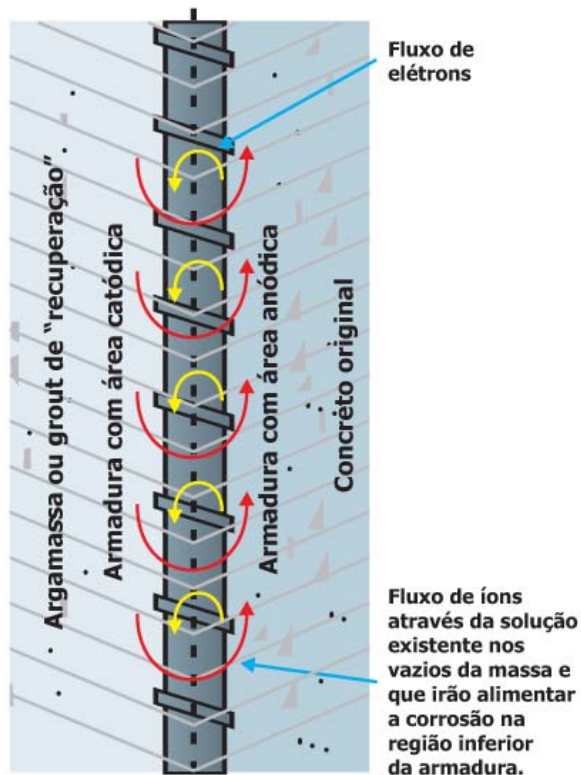


PILHA POR CONTATO BIMETÁLICO

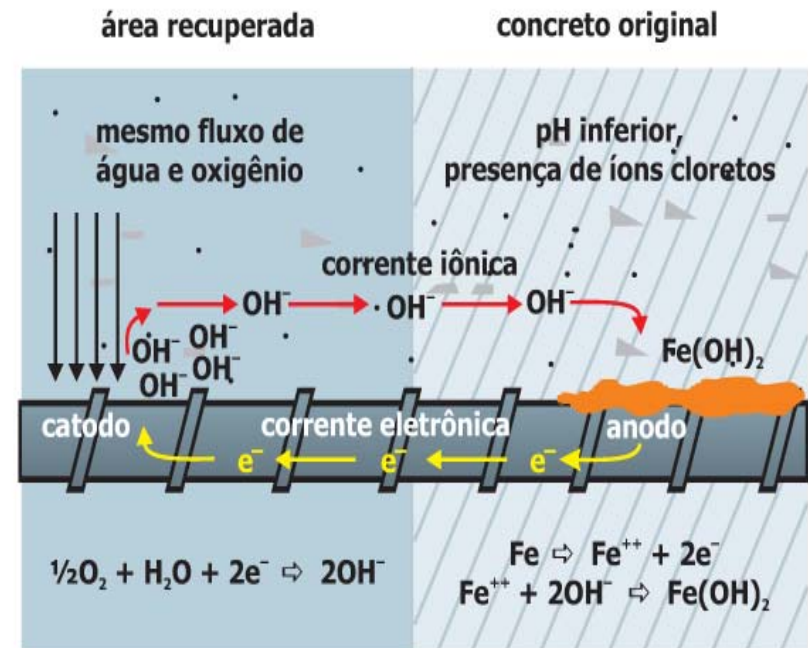


A pilha por contato bimetálico durante o transpasse das armaduras utilizando-se aço de diferentes procedências. A condutividade da solução estabelecerá a velocidade e a distribuição da corrente galvânica.

PILHA POR RECOMPOSIÇÃO DO CONCRETO

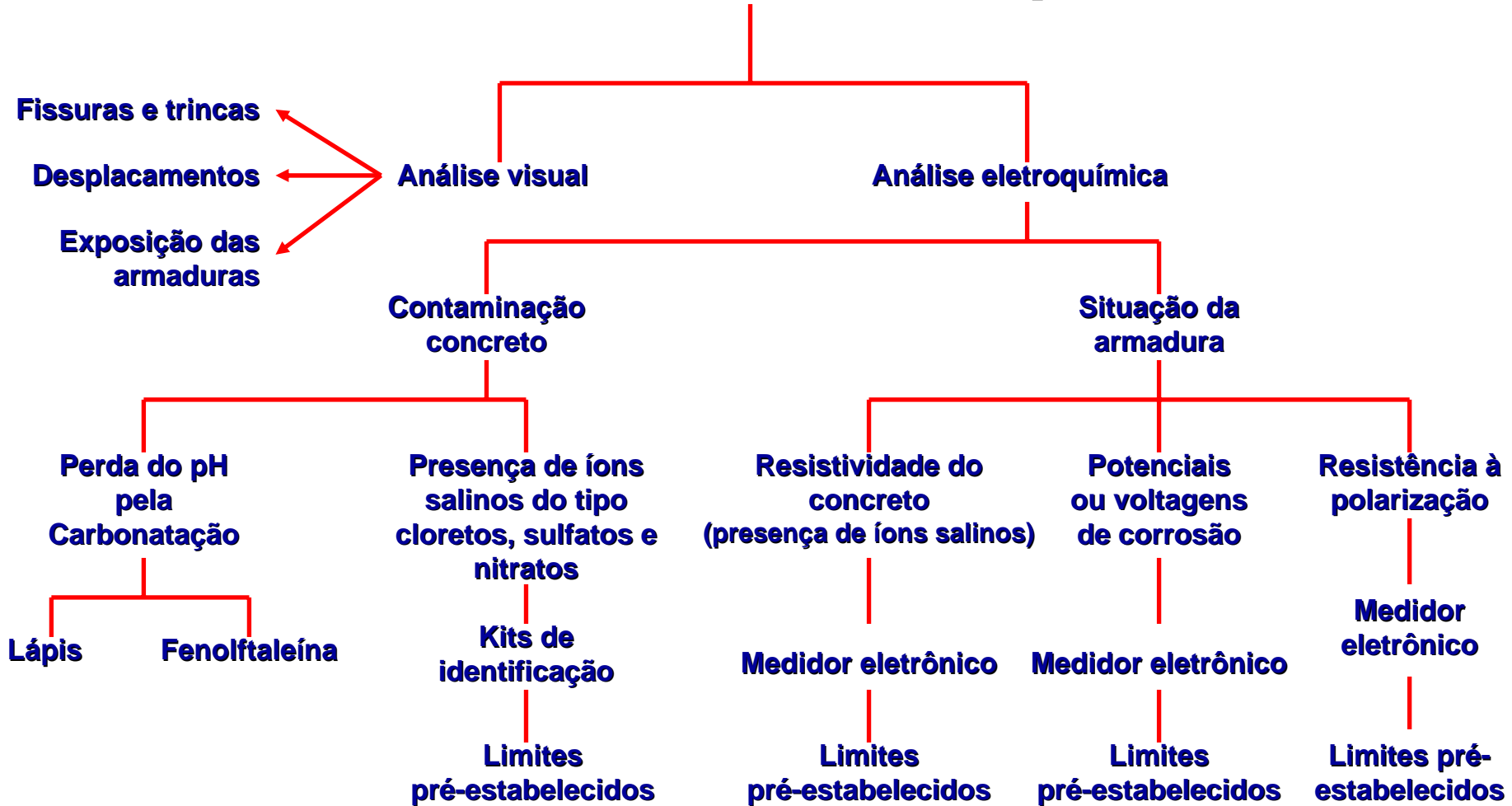


Uma típica forma de "recuperação" estrutural onde "trata-se" apenas a metade da superfície da armadura corroída. O processo de corrosão é contínuo e inexorável. Está a caminho o total comprometimento das armaduras. A linha tracejada é o limite da "recuperação".



Pilha de corrosão proveniente de uma "recuperação". De forma não intencional, criou-se uma diferença de potencial entre o concreto original e a região "recuperada", suficiente para acelerar a corrosão de diminutas pilhas de corrosão anteriormente existentes no lado "bom". Glórias para a corrosão!

Identificação da Corrosão e Natureza de Ataque



Metodologia para Recuperação da Deterioração

1. Informações sobre condições da estrutura e do meio ambiente;
2. Levantamento eletroquímico e físico dos dados da estrutura e do meio ambiente;
3. Análise destes dados, estabelecendo modelos de deterioração;
4. Identificar opções viáveis de recuperação da estrutura;
5. Projetar e detalhar tais soluções;
6. Especificar materiais e procedimentos para recuperação;

Principais dados a serem obtidos

Localização, tamanho, tipo e idade da estrutura. Qualquer detalhe de projeto ou construção que não seja usual.

Condições de exposição ao meio ambiente, tais como variações de temperatura e de umidade relativa, chuvas e sua drenagem, impermeabilização, ambiente marinho ou industrial.

Sobre as armaduras, se protendidas, se protegidas, cobrimento, detalhamento.

Histórico de recuperações e reforços, manutenção, presença de sistemas de proteção anticorrosiva.

Principais exames a serem realizados

Inspeção visual detalhada dos locais manchados, fissurados e deslocados com registro fotográfico. Percussão na estrutura;

Análise e quantificação de íons cloreto e sulfato;

Resistência à compressão estimada do elemento estrutural;

Estimativa da frente de carbonatação;

Verificação da continuidade elétrica e sua reposição;

Umidade do concreto e correspondente resistividade;

Mapeamento do potencial eletroquímico das armaduras;

Medição da velocidade de corrosão;

Medição da perda de seção transversal das armaduras corroídas.

Medição da Presença de Corrosão

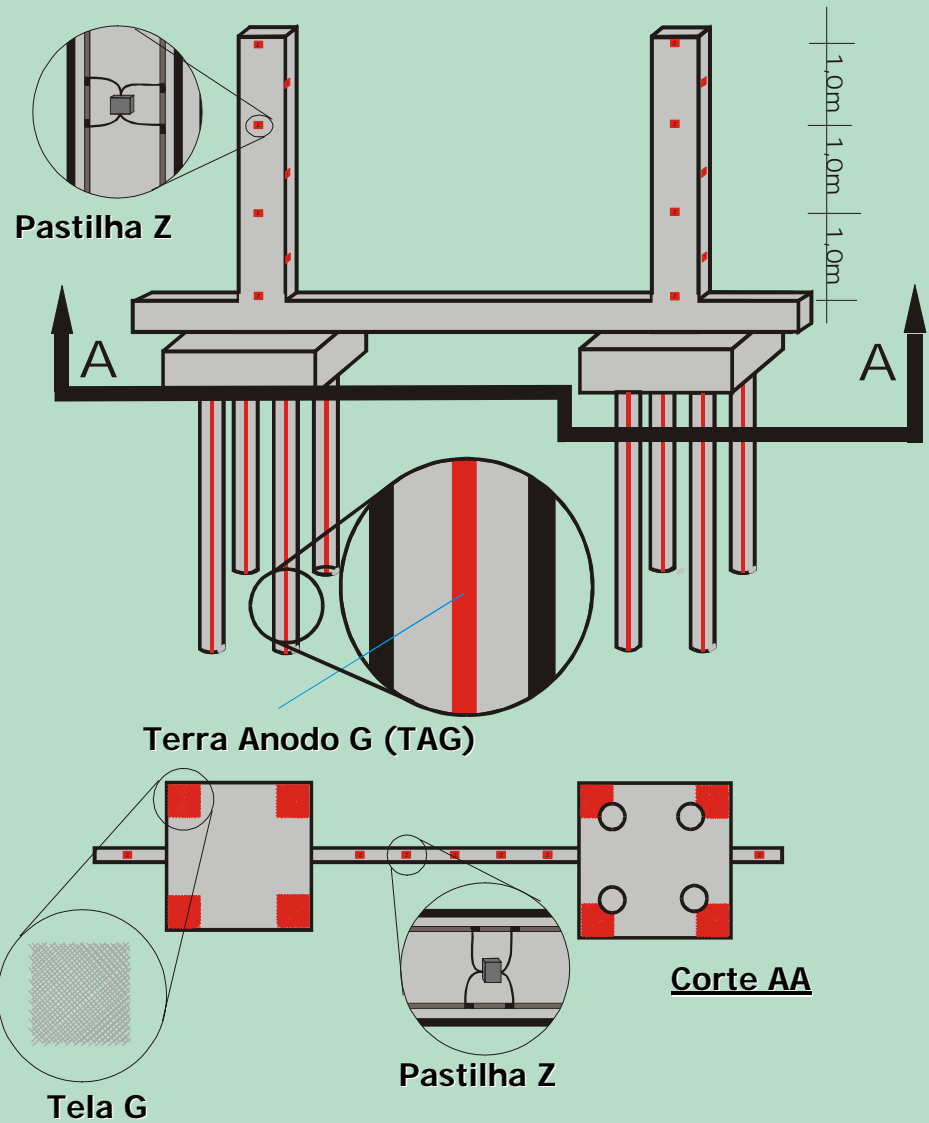


CPV-4

Lápis semi-pilha

O medidor de potenciais (semi-pilha) juntamente com o medidor de resistividade (RESI) são fundamentais no levantamento do estado de corrosão no concreto armado-protendido.

PROTEÇÃO CATÓDICA PREVENTIVA



Monitorando a Proteção Catódica

O controle da corrosão tem como benefícios: aumento da segurança, diminuição significativa do volume de obra, da interrupção dos serviços, redução dos custos e, o mais importante, aumento da expectativa de vida da estrutura.

Existem quatro estratégias para lidar com a corrosão.

- **Ignorando-a até ocorrer a ruína parcial ou total da estrutura**

Nesta técnica, o monitoramento da corrosão é completamente ignorado e suas conseqüências catastróficas, em termos de segurança ao usuário quanto ao prejuízo material.

- **Com inspeções e recuperações a intervalos programados**

Caso os intervalos sejam muito longos, o risco de corrosão torna-se excessivo, incorrendo em grandes gastos e no fator segurança. Esta estratégia apenas baseada na análise visual, isto é, sem o monitoramento da corrosão, conduz a serviços ausentes de qualidade além de perigosos, já que dão a falsa impressão de que está tudo bem.

- **Usando materiais que impedem a corrosão, como as Pastilhas Galvânicas, Zinco Termo Projetado, Jaqueta G**

A utilização de materiais que efetivamente neutralizam a corrosão é crucial na maioria dos programas de controle da mesma. Entretanto, sem o seu monitoramento, poder-se-á incorrer em gastos excessivos ou, o que é mais comum, em proteção insuficiente, devido ao desconhecimento total da corrosão existente.

- **Aplicando, seletivamente, o controle de corrosão, onde e quando necessário**

Conceitualmente, com o monitoramento da corrosão, cria-se uma estrutura inteligente, onde revela-se quando e onde se necessita de ações corretivas. Econômica e segura.

Resultados

Os resultados das práticas levam a novas concepções de estruturas de concreto e melhoram os métodos de reparo e recuperação dos danos nas estruturas existentes.

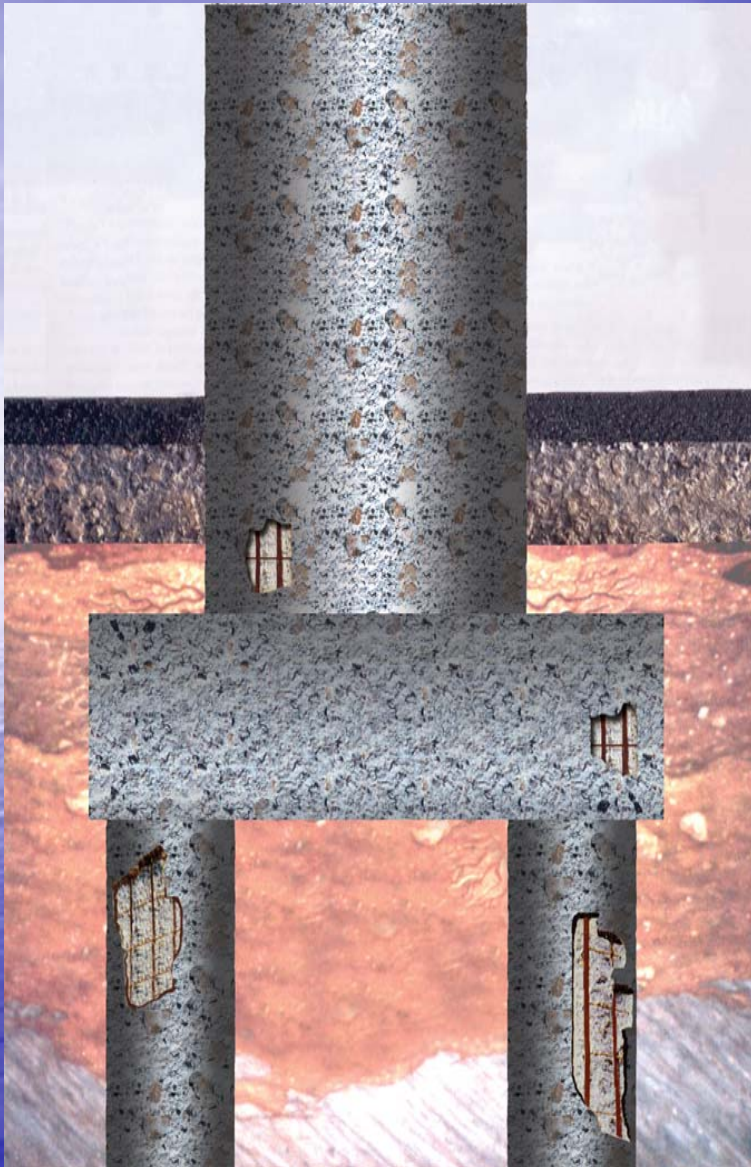
Tais documentos devem estar disponíveis para os responsáveis pelo projeto, pela construção e pela manutenção destas estruturas de concreto.

CORROSÃO EM ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO

Estacas, blocos, tubulões e sapatas

Os contaminantes existentes no solo

Concentração (em ppm)	Grau de corrosividade	
Cloretos	>5.000	severa
	1.500 – 5.000	considerável
	500 – 1.500	corrosivo
	< 500	início
Sulfatos	> 10.000	severo
	1.500 – 10.000	considerável
	150 – 1.500	positivo
	0 150	insignificante
pH*	< 5,5	severo
	5,5 – 6,5	moderado
	6,5 – 7,5	neutro
	> 7,5	insignificante (alcalino) **

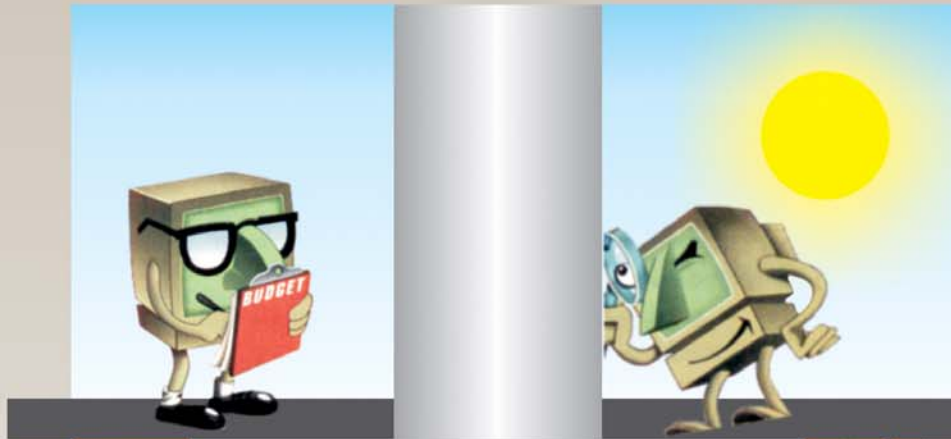


Ruína de estacas e pilares devido a corrosividade do solo.

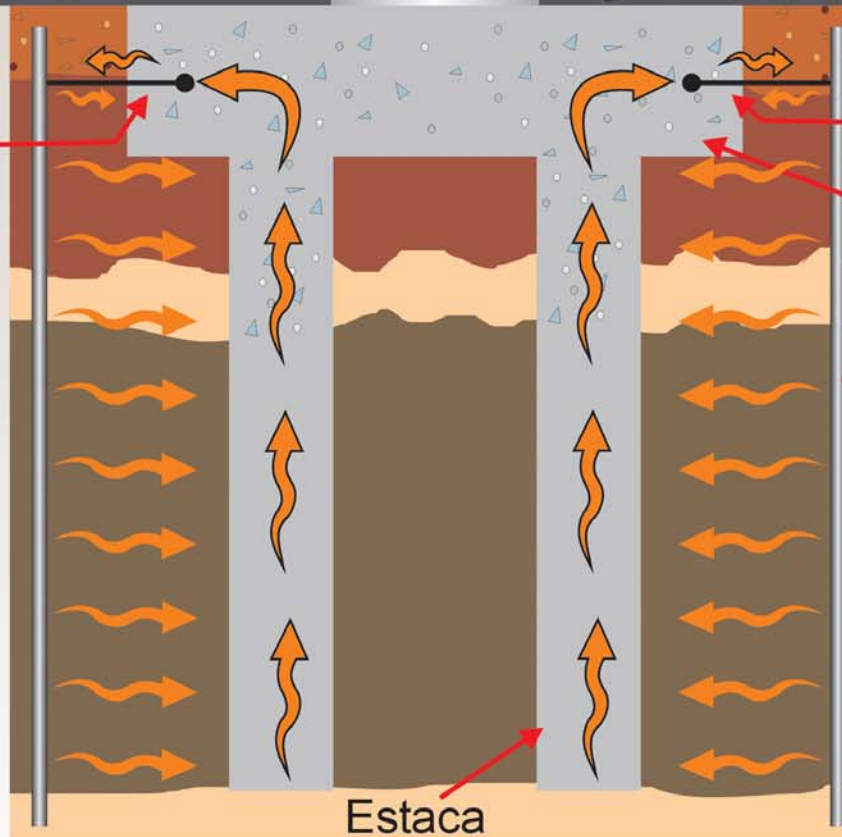
Conjunto de estacas em ruína.



COMO INTERROMPER A CORROSÃO NAS FUNDAÇÕES



Ligação
anodo-armaduras
da fundação



Ligação
anodo-armaduras
da fundação

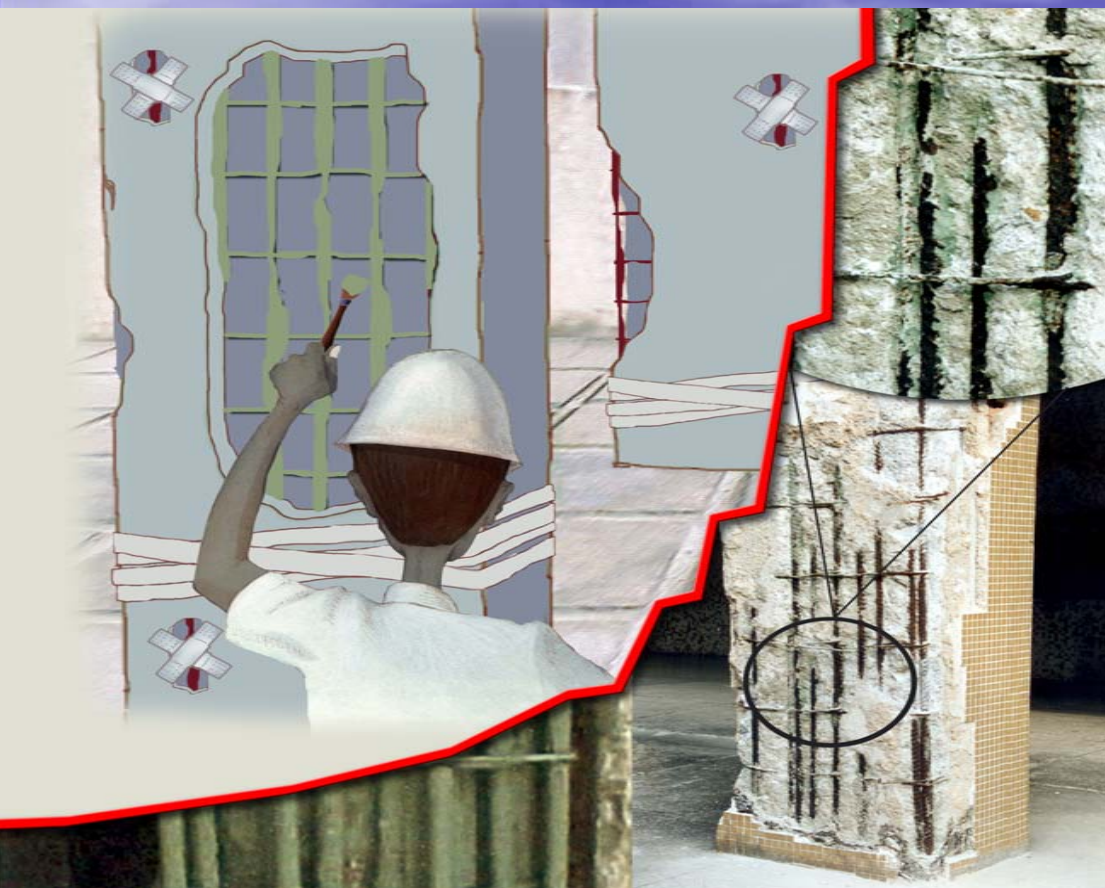
Bloco de fundação

Terra-Anodo G

Esquema de funcionamento da proteção catódica em estacas de fundação. As setas indicam a corrente de proteção proveniente dos anodos, através do solo, até as armaduras das estacas, retornando aos anodos pela ligação acima.

CORROSÃO EM EDIFICAÇÕES

Proteção por barreira



Metodologia à base de massas e pinturas, sem efeito definitivo para a corrosão.



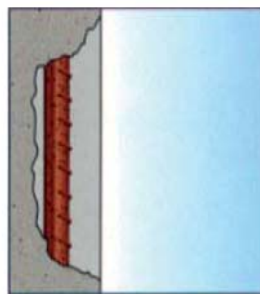
A aplicação de tintas na superfície das armaduras, só piora o estado da corrosão na estrutura



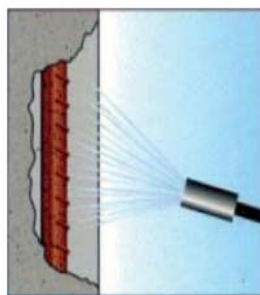
Neste pilar, "trata-se" a corrosão encamisando-o, na vã ilusão de que "abafará" o processo.

X

Proteção por Barreira



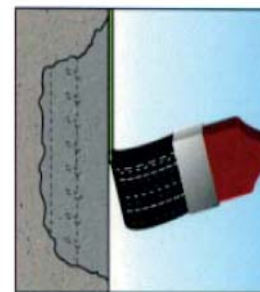
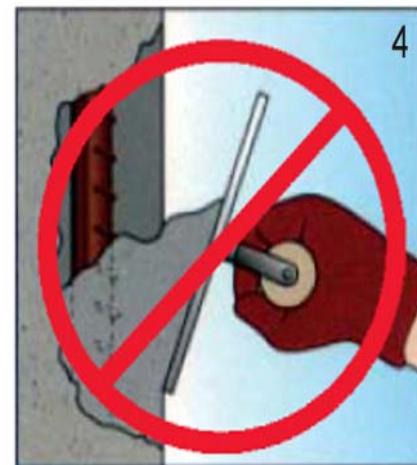
1 - Remoção do concreto danificado pela corrosão, expondo as armaduras corroidas.



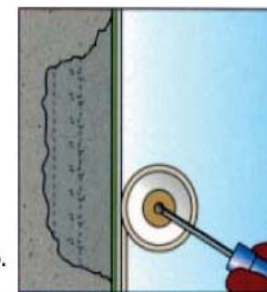
2 - Remoção das carepas de corrosão.



3 - Pintura inibidora polimérica ou anticorrosiva à base de zinco, cromato de zinco etc. O efetivo controle da corrosão só é conseguido com pastilhas, telas galvânicas ou outro processo eletroquímico.



5 - Cura química.



6 - Pintura de proteção.

Neste pilar de edificação, há contaminação generalizada por íons cloretos, motivada pelas sucessivas lavagens com ácido muriático. A solução foi pela utilização de proteção catódica com corrente galvânica.

1

Como aplicar anodos de sacrifício



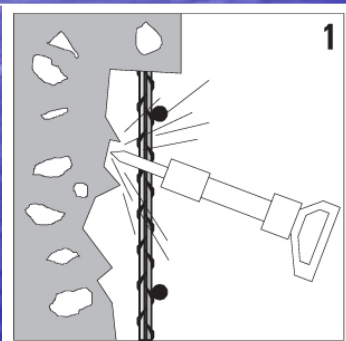
O corte do concreto comprometido e a surgência de armaduras em estado são.



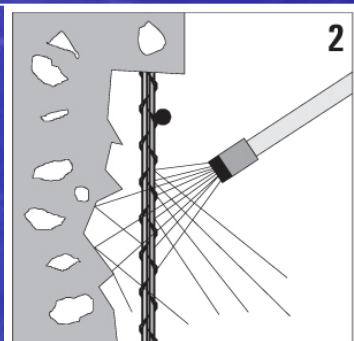
Após o corte e o estabelecimento da área recuperada, foi feita a instalação de novos estribos, acompanhado da escovagem para retirada das carepas de corrosão, permitindo-se uma boa ligação com os arames da pastilha. O arame é fixado com alicate.



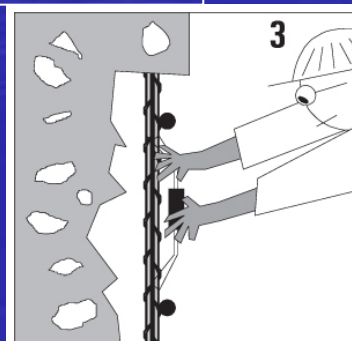
Instalação da Pastilha Z. É desejável que se verifique a continuidade elétrica entre a pastilha (arame de fixação) e a armadura, com um simples multímetro.



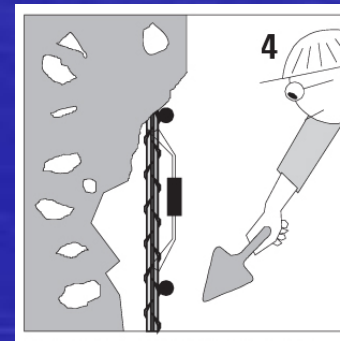
Corte do concreto



limpeza das barras



amarre a Pastilha Z



Termine a recuperação. Corrosão neutralizada

Instalação de Anodo de Sacrifício em tela



CORROSÃO EM INDÚSTRIAS



Ambientes corrosivos como os existentes em indústrias químicas e estruturas off-shore de concreto armado e aço promovem rápida contaminação do concreto com conseqüente desintegração do aço.





Galeria de esgotos, em concreto armado, sem qualquer revestimento de proteção, na qual, periodicamente, algumas centenas de metros são desativados para serviços de recuperação, particularmente em sua região superior, onde o H_2S manifesta-se. Os sintomas mais comuns são a corrosão ou perda de massa do concreto e o afetamento de suas armaduras (ou cabos) com altos níveis de corrosão. Paralisação do sistema, implicando na utilização de PC para interromper a corrosão nas armaduras (ou cabos) e aplicação de revestimento epóxico próprio para resistir à ação do gás.



CORROSÃO EM PONTES E VIADUTOS

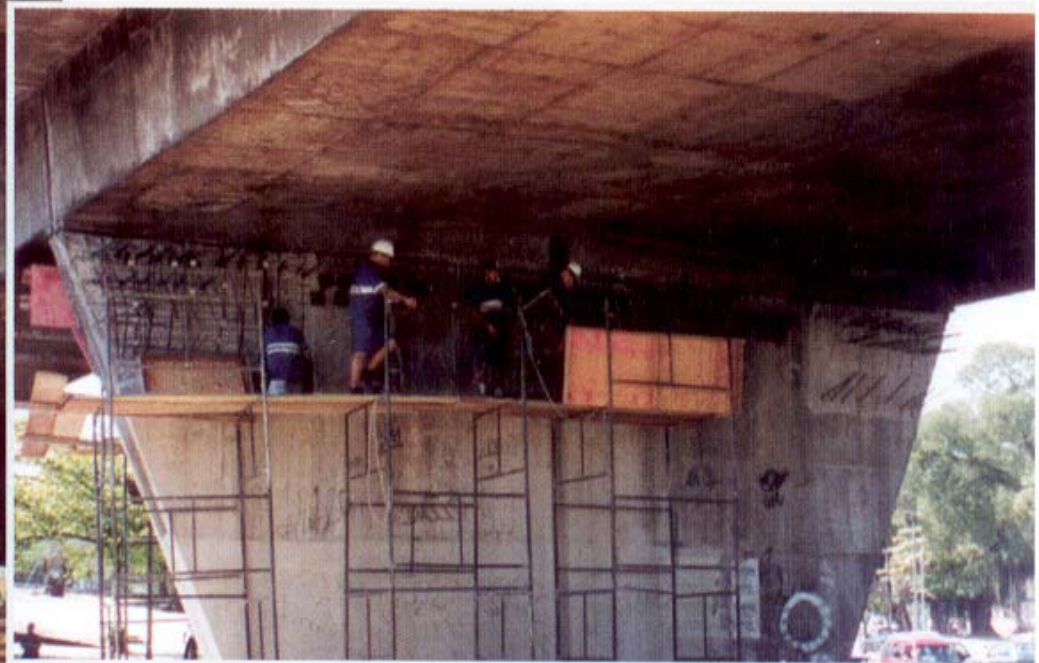


Estruturas protendidas devem, antes de qualquer trabalho de recuperação, ser avaliadas por profissionais especializados em protensão e corrosão, resultando daí as regras que deverão ser seguidas na obra de recuperação. Obras de recuperação superficiais neste tipo de estrutura significa acender uma bomba-relógio e lavar as mãos.

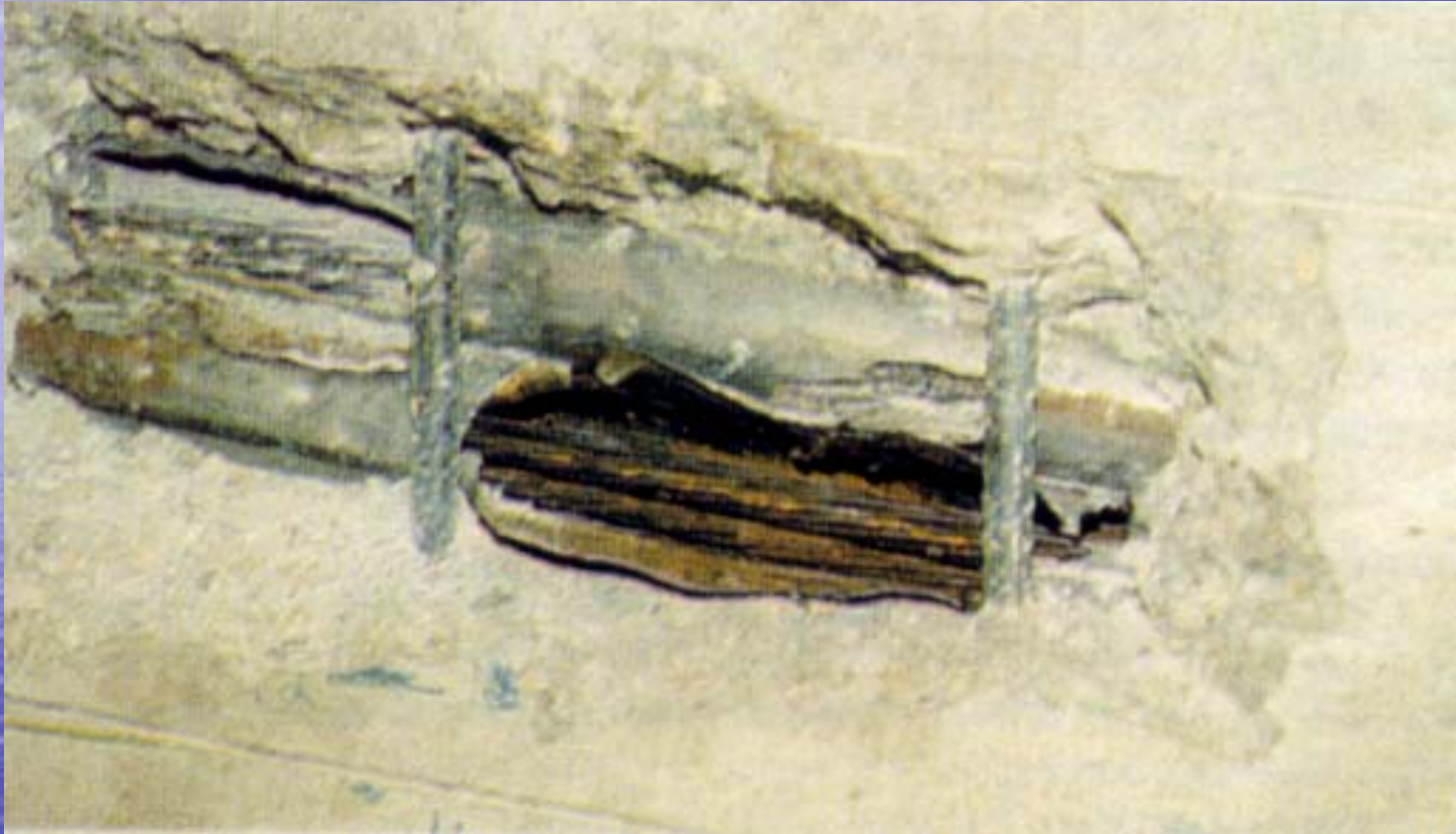
Neste viaduto, com dupla viga-caixão, a encrenca é grossa: junta de dilatação sem qualquer tratamento impermeabilizante, corrosão configurada em ambas as extremidades da estrutura, corrosão na zona de fretagem do pilar etc. Conseqüências? Quem se arrisca?



Repare nesta seqüência de fotos que um reforço estrutural está em marcha. O motivo? Corrosão na zona de fretagem do pilar, devido a ausência de impermeabilização na junta de dilatação. Tratou-se o efeito e esqueceu-se a causa. O serviço foi realizado sem o tratamento da junta. Descaso da autoridade competente? A corrosão irá alastrar-se para as novas armaduras. Novos serviços a vista.

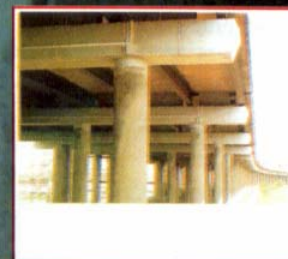
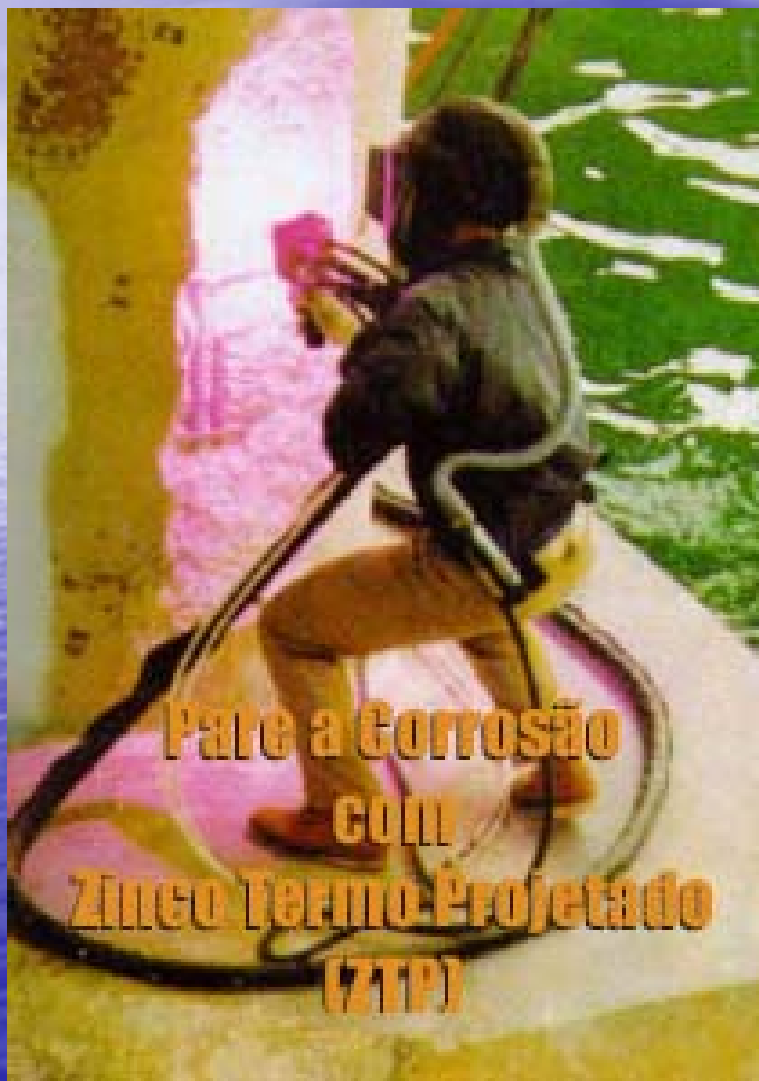


Corrosão em cabos de protensão



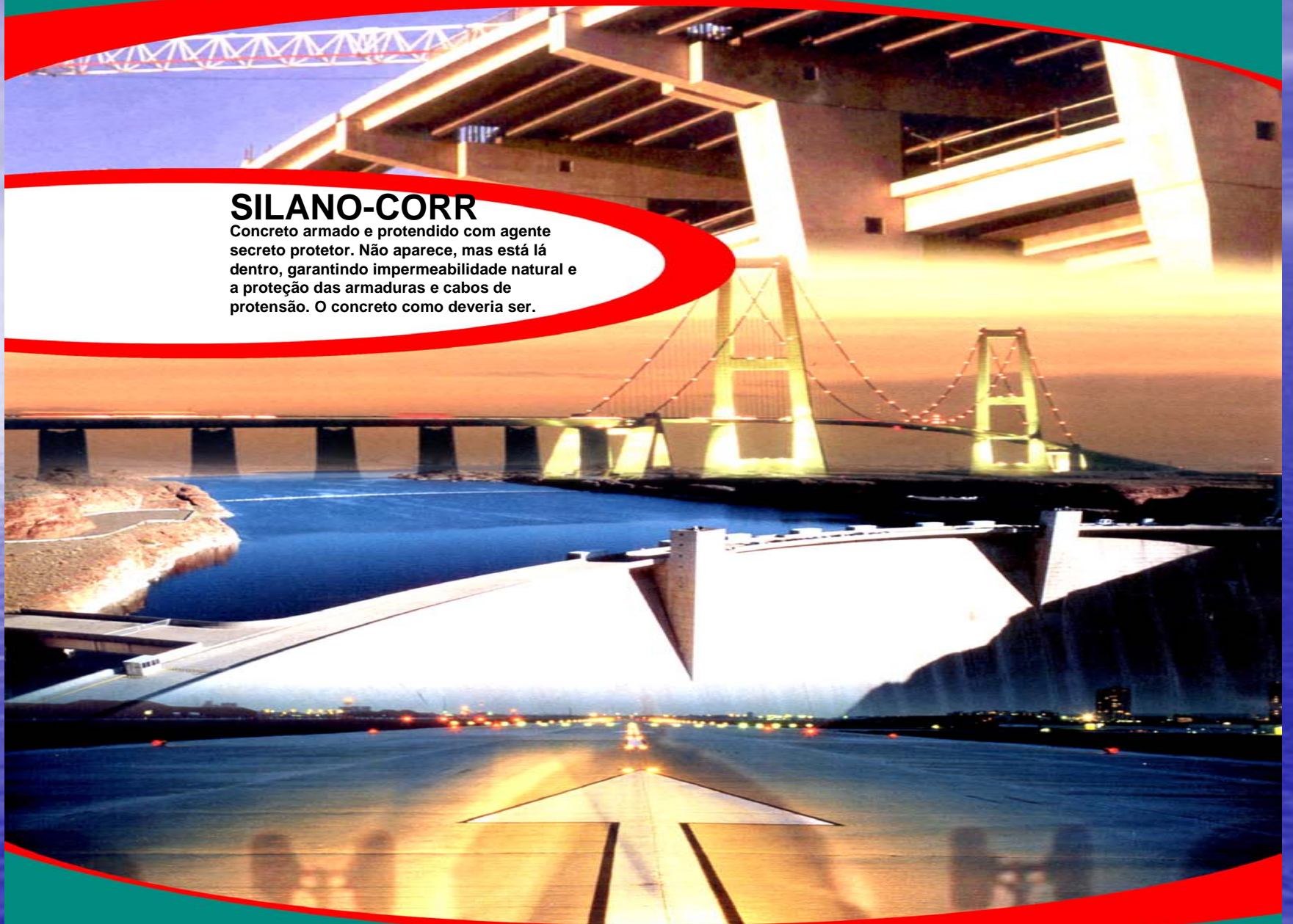
Na "janela" aberta observa-se intensa corrosão nos cabos de protensão.

Tratamento da corrosão no concreto armado com proteção catódica por corrente galvânica com Zinco Termo Projetado (ZTP)



SILANO-CORR

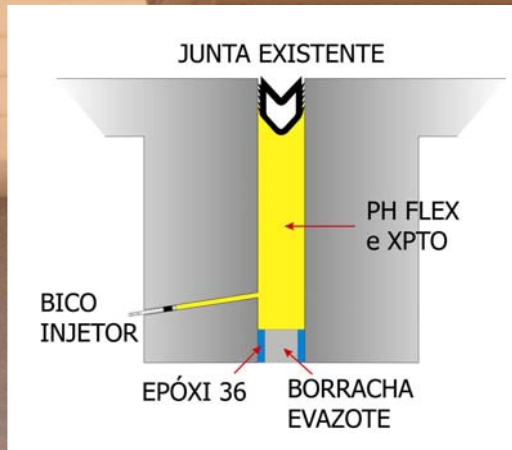
Concreto armado e protendido com agente secreto protetor. Não aparece, mas está lá dentro, garantindo impermeabilidade natural e a proteção das armaduras e cabos de protensão. O concreto como deveria ser.



JUNTAS VAZANDO?

Tratamento de juntas de dilatação sem interferência na sua região superior?

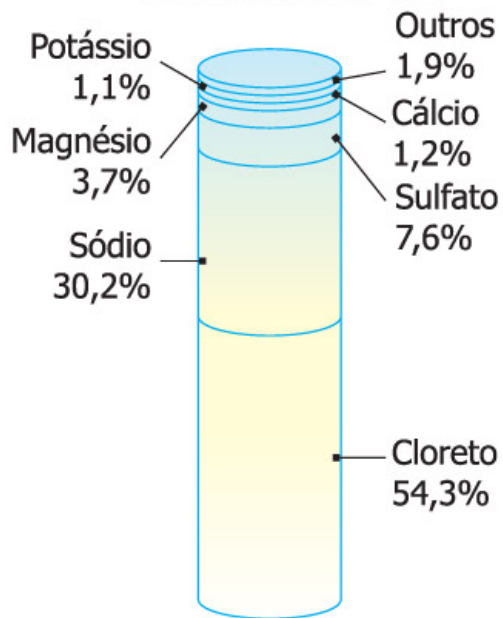
banda E.V.A.* nela



Banda E.V.A. é um revolucionário tratamento impermeabilizante de juntas de dilatação, à base de EVAZOTE, PH FLEX e XPTO que, ao ser executada, não interfere na vida da estrutura.

CORROSÃO EM ESTACAS MARÍTIMAS E FLUVIAIS

CONTEÚDO DE SAIS DA ÁGUA DO MAR



1

Esgotos { industrial
agricultura
doméstico

Íons de metais pesados

Nutrientes com fosfatos e nitratos

Matéria orgânica dissolvida

2

Outras substâncias provenientes de processos biológicos e bacteriológicos desenvolvidos durante e após a diluição com os componentes da água do mar.

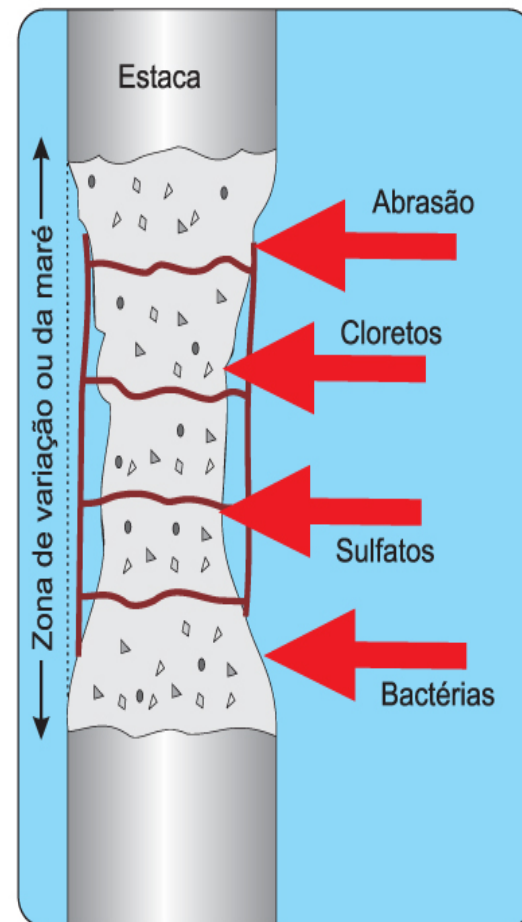


Figura 2 - Processo de degradação via corrosão do concreto/armaduras pela água salgada.

Estacas de pontes e piers marítimos velocidade da corrosão pelo mundo

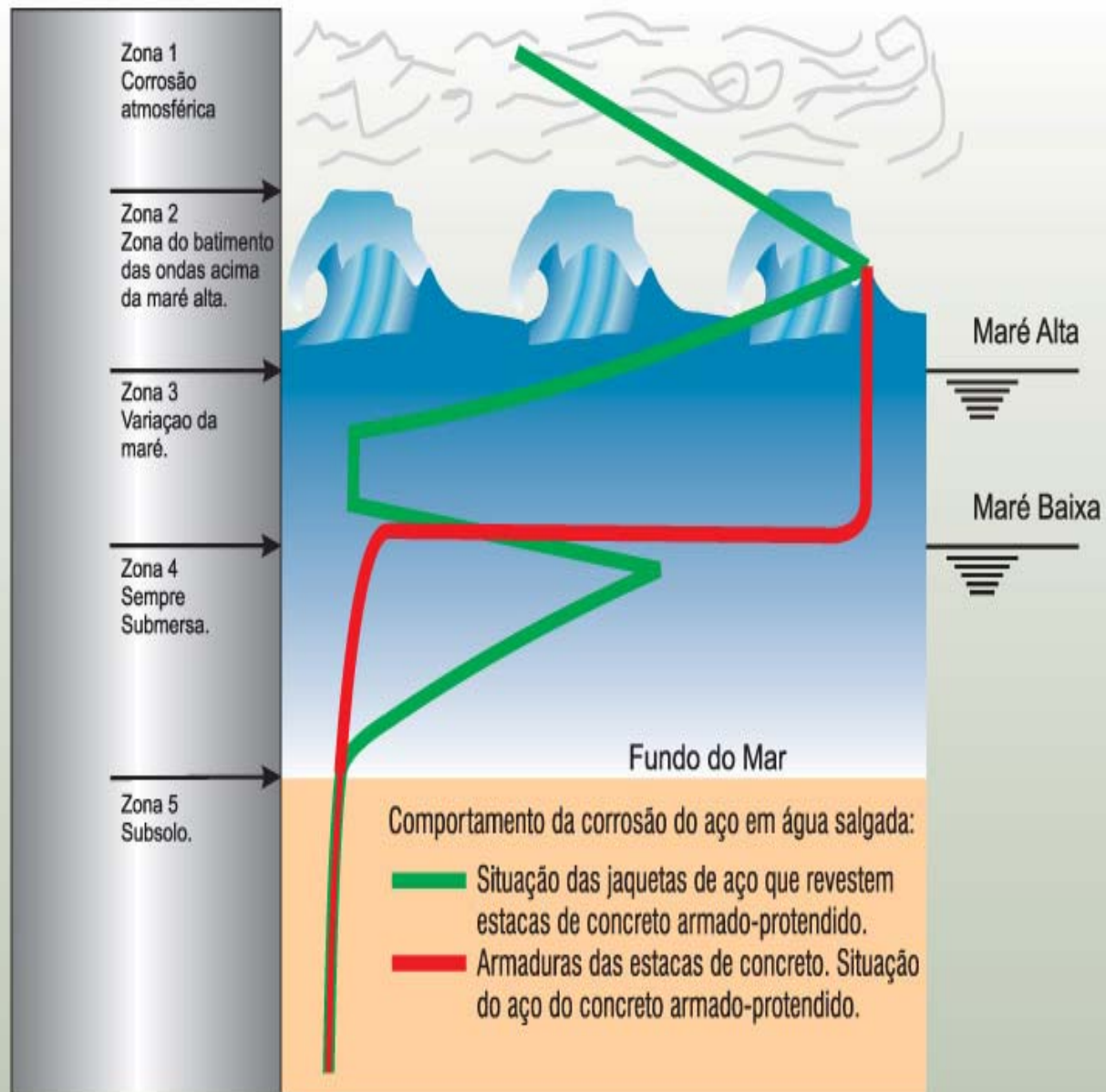
Local	Velocidade de corrosão (mm/ano) caracterizada pela perda de seção do aço	
	Zona de batimento das ondas (splash)	Zona imersa
Estuário no Reino Unido	0,20	0,08
Baía de Tóquio	0,5	0,01(PC)
Portos no Reino Unido	0,18	0,14
Holanda	0,18	0,06
Chipre	0,21	0,11
Emirados	0,22	0,12
Aeroporto de La Guardia (Nova York)	0,15	0,025(PC)
MEDIA	0,23	0,10
VARIAÇÃO	0,15 a 0,50	0,06 a 0,12

Solubilidade do oxigênio (ml/l) na água do mar função da temperatura e da salinidade

Temperatura °C	Salinidade					
	0	8	16	24	31	36
15	7,05	6,72	6,40	6,10	5,83	5,65
20	6,35	6,07	5,79	5,52	5,29	5,14
25	5,77	5,52	5,27	5,04	4,84	4,70
30	5,28	5,06	4,84	4,63	4,45	4,33



Situação de uma estaca protendida, de seção quadrada, com apenas 8 anos de idade. Perda de concreto e aço.

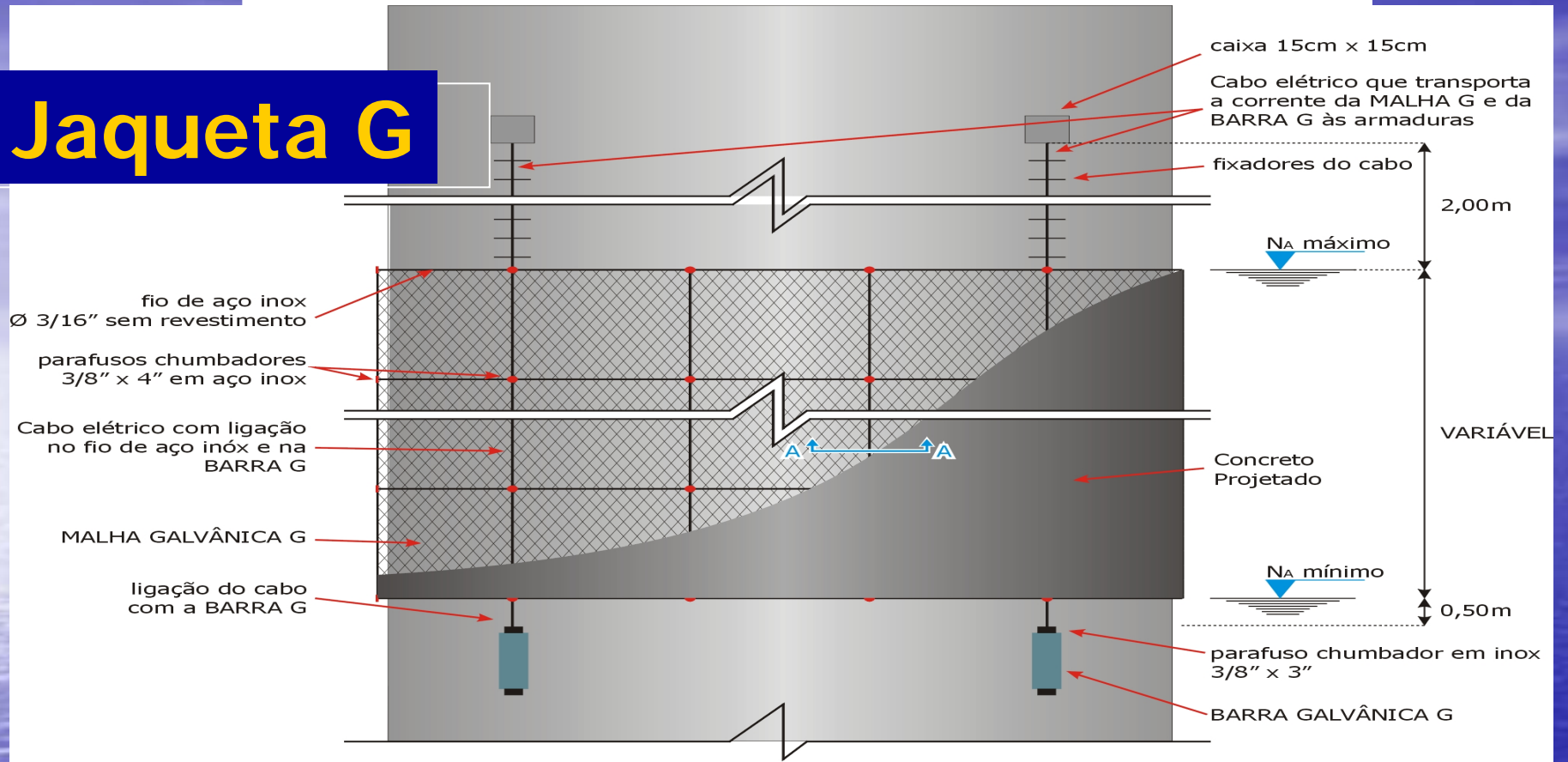


Perda relativa da seção do aço.

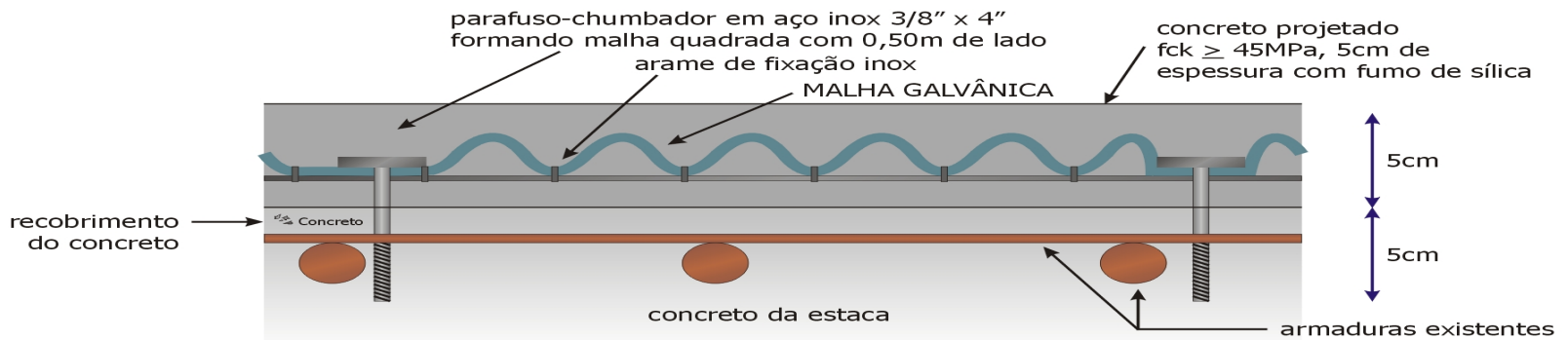
Figura 1 - Zonas de corrosão nas estacas e a perda relativa da seção do aço para revestimentos metálicos e armaduras de concreto comportamento diferenciado para jaquetas metálicas e superfícies de concreto armado/protendido.

COMO INTERROMPER A CORROSÃO EM ESTACAS

Jaqueta G

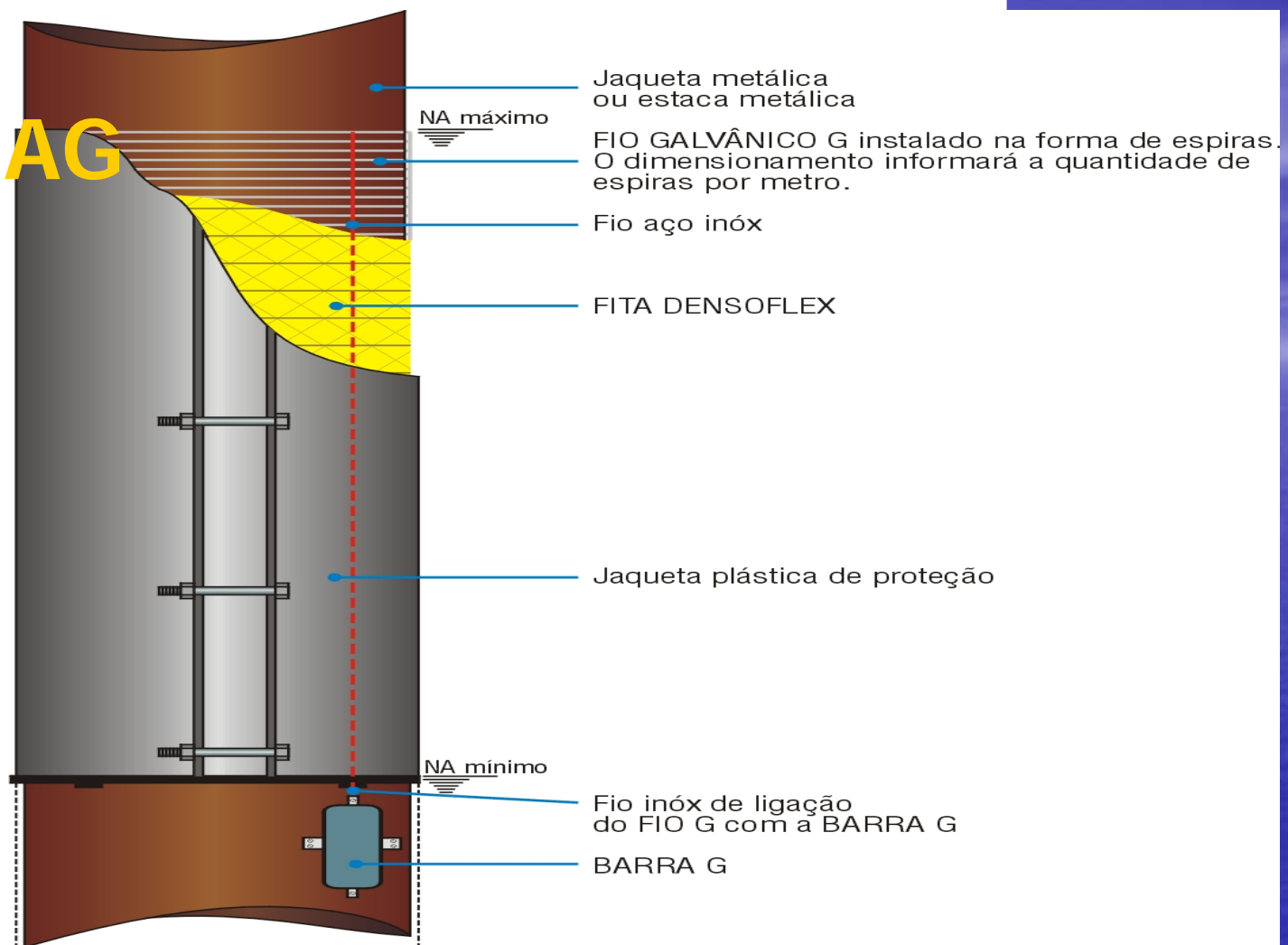


Situação Final CORTE AA

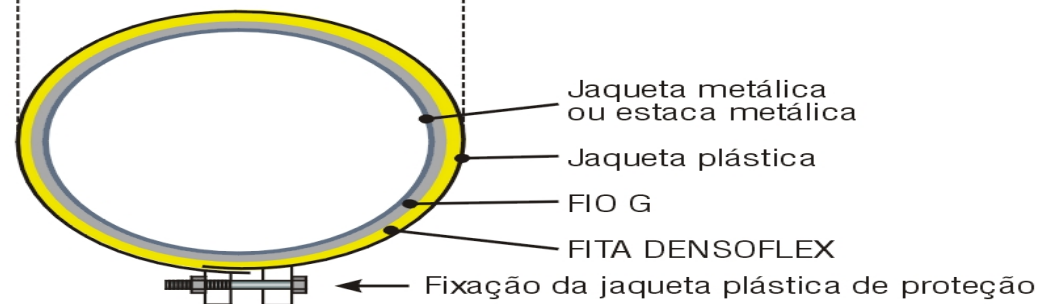


Jaqueta AG

PROJEÇÃO FRONTAL



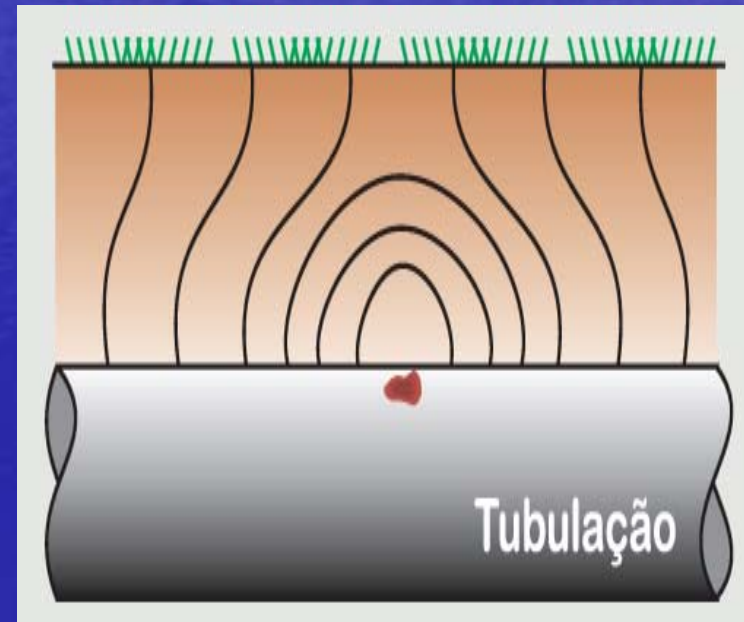
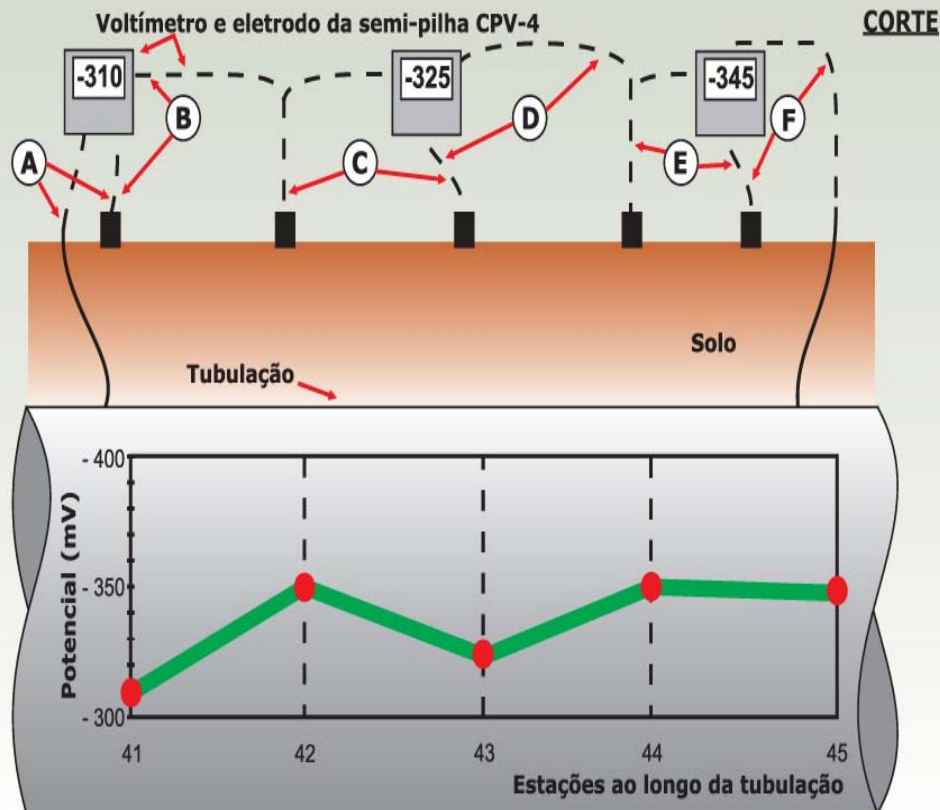
CORTE

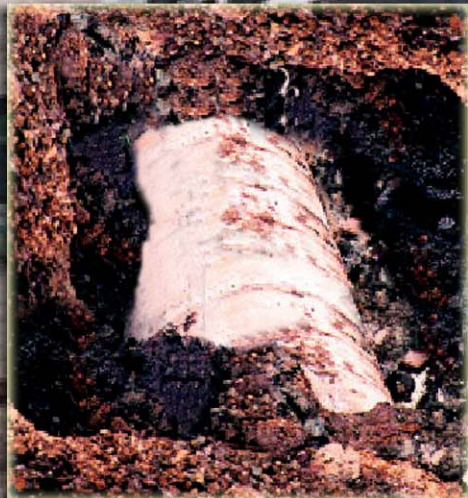


CORROSÃO EM TUBULAÇÕES DE CONCRETO ARMADO OU PROTENDIDO

Corrosividade do solo (Resistividade)

Resistividade do solo (ohm.cm)	Corrosividade
Acima de 30.000	Não corrosivo
Entre 15.000 e 30.000	Meio corrosivo
Entre 10.000 e 15.000	Corrosivo
Abaixo de 10.000	Muito corrosivo





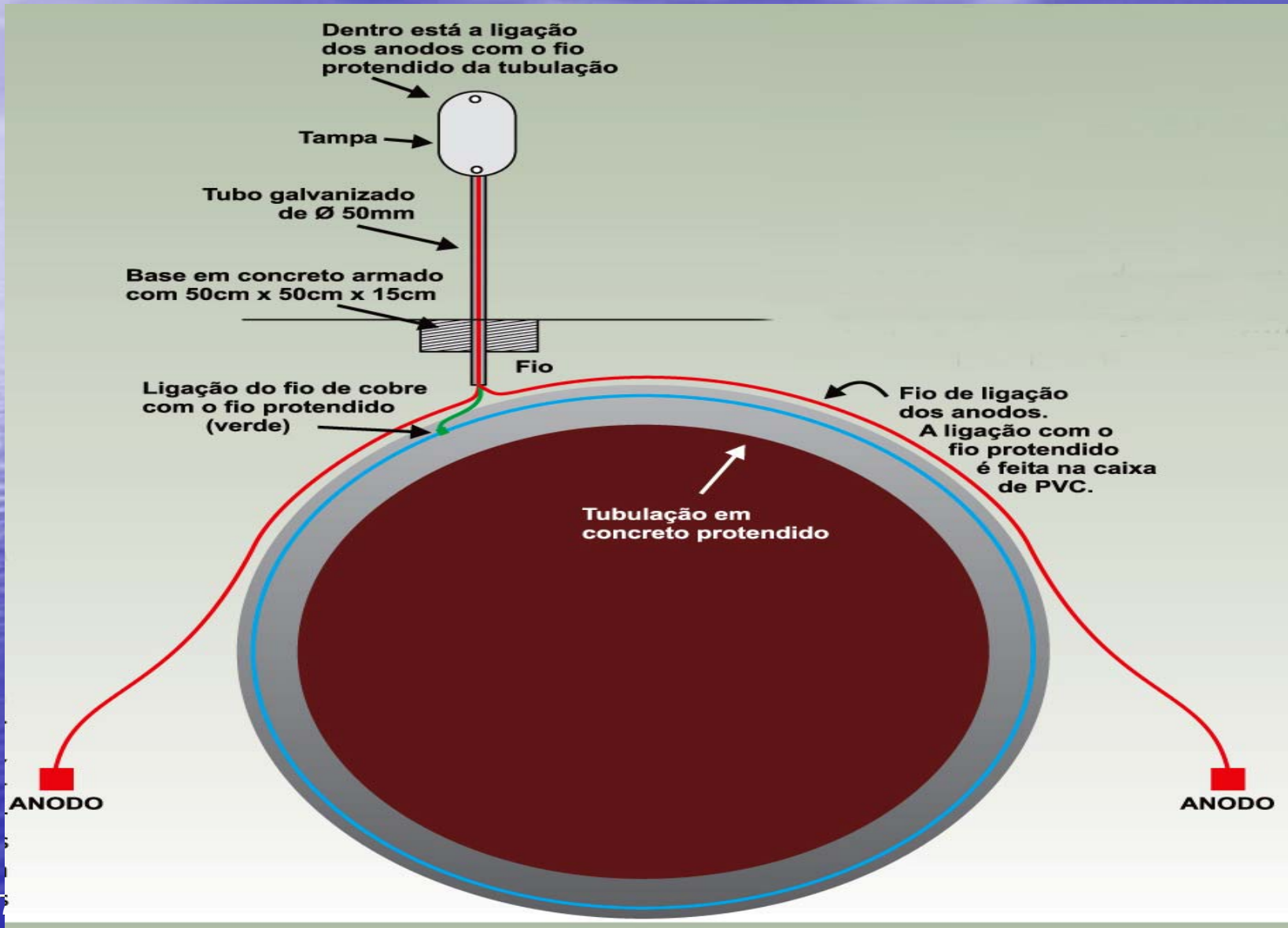
Afundamento do terreno devido aos vazamentos.

Escavação em um trecho comprometido.

Uma das trincas após a limpeza.

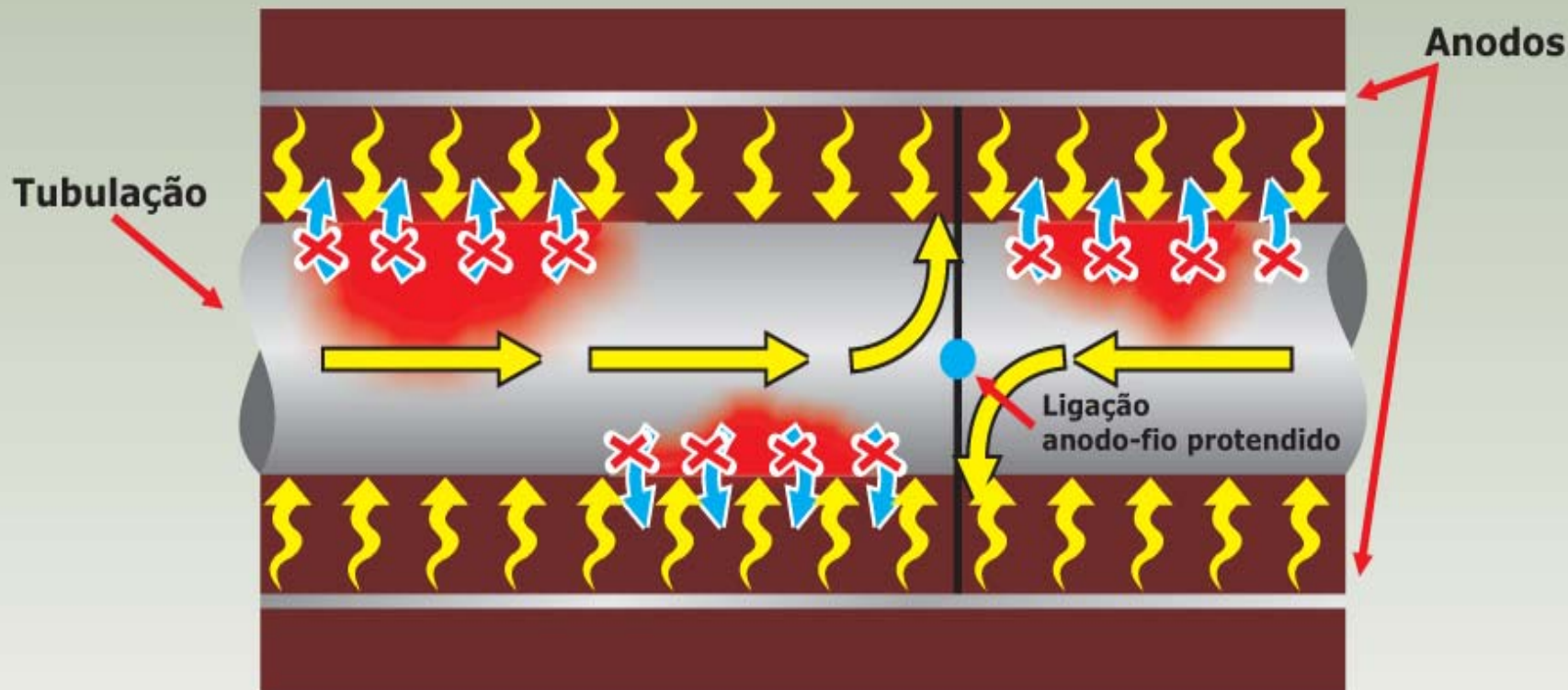
COMO INTERROMPER A CORROSÃO EM TUBULAÇÕES DE CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO

AS ESTAÇÕES PERMANENTES PARA TESTES APÓS A PROTEÇÃO CATÓDICA



Como funciona a proteção catódica em tubulações de concreto protendido (ou armado)

PLANTA



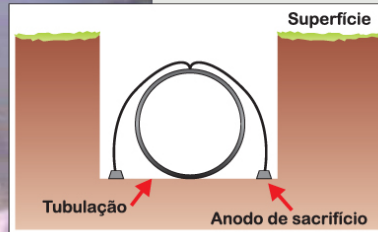
As áreas vermelhas, na tubulação de concreto, significam presença de corrosão nos fios protendidos. Repare a saída dos íons Fe^{++} (setas azuis) ou seja, a desintegração do aço antes da proteção catódica.

O X em vermelho representa a eliminação da corrente de corrosão do aço nas áreas anódicas, devido a abundância da corrente de proteção (setas amarelas) promovida pelos anodos de sacrifício. As setas amarelas ao longo da tubulação "viajam" pelas armaduras e retornam aos anodos de sacrifício pela emenda (ponto azul).



O maçarico derrete o anodo, descobrindo o miolo de aço, o qual é soldado no novo rolo de anodo.

A ligação do anodo de sacrificio com o fio protendido.



Posicionamento dos anodos de sacrificio e sua ligação aos fios protendidos.

O fio de cobre isolado sendo conectado ao anodo de sacrificio. Repare que primeiramente foi utilizado um bracelete de aço fixado com alicate de pressão. A seguir, é feito o isolamento com fita isolante polimerizável. A continuidade elétrica do anodo é mantida por seu miolo com fio de aço.



Medindo o potencial e a corrente entre o anodo de sacrificio e o fio protendido. A linha do anodo foi posteriormente coberta com material condutivo.



Detalhe das barras utilizadas de 5mm de diâmetro.



A abertura do sulco com serra de lâminas paralelas preenchidas, posteriormente, com epóxi aplicado com cartucho.



O reforço estrutural com barras de fibra de carbono, anterior à instalação dos anodos de sacrifício.



Outro trecho sendo reforçado com barras de fibra de carbono inseridas em sulcos preenchidos com epóxi.

Sessão encerrada
Obrigado a todos

Eng^o Marcelo Iliescu