



Figura 1 - A situação da barragem durante a fase de investigação.

# A recuperação da barragem do Rio Descoberto

Marcos V. Kffuri

Perda d'água crescente, acompanhada de processo de corrosão no próprio concreto, gerou a maior estratégia de impermeabilização em uma barragem brasileira.

A barragem do Rio Descoberto, tipo concreto gravidade, de propriedade da CAESB, está localizada a cerca de 50km a oeste do centro de Brasília/DF. Foi construída com concreto, utilizando-se agregado dolomítico, entre os anos de 1971 e 1974. O corpo da barragem foi dividido em três partes principais: a ombreira esquerda com 125m de comprimento, a ombreira direita com 85m de comprimento e o vertedouro central com 55m de comprimento. A barragem está subdividida em 18 blocos, nomeados sequencialmente de "A" a "R". Este reservatório, com capacidade de 102,9 milhões de metros cúbicos, tem o nível d'água na cota do vertedouro e é responsável pelo fornecimento d'água a aproximadamente 1,2 milhões de habitantes, ou seja, 60% do Distrito Federal.

## E os problemas começaram...

Após alguns anos de operação começaram a surgir intensos vazamentos no paramento de jusante, além de no interior da galeria. A perda d'água era visivelmente crescente. Um valor médio beirava cerca de 3m<sup>3</sup>/minuto. Várias intervenções, em diferentes épocas, com a finalidade de recuperar tais vazamentos foram realizadas. Porém, sem êxito. Preocupada com o grau de

deterioração e o nível de perda d'água da barragem, a CAESB promoveu uma série de análises e estudos, visando a impermeabilização e também o concreto, material hospedeiro da água passante. O diagnóstico, claro como água cristalina, identificou pirita no agregado do concreto. A partir deste quadro sombrio, estabeleceu-se a terapia de recuperação baseada na proposição de impermeabilizar à montante, inclusive adentrando na própria rocha base, de modo a promover a drenagem natural da água contida e circulante no concreto da barragem. A recuperação via impermeabilização do concreto seria obrigatória e vital à durabilidade da barragem, devido a degradante reatividade entre a pirita do agregado e a água livre circulante.

## GLOSSÁRIO

**Pirita** – sulfeto metálico de ferro (FeS<sub>2</sub>) formando cristais com reflexos ou brilho dourado, frequentemente confundido com ouro. É encontrado em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas na forma de cristal cúbico. É empregado na fabricação de ácido sulfúrico.



Figura 2 - Muitos vazamentos ao longo do paramento de jusante, com desintegração do concreto...



Figura 3 - ... se manifestavam também na galeria.

### A solução definitiva

Tendo em vista a seriedade do diagnóstico, o tratamento foi preciso e dividido em 6 etapas bem definidas.

#### 1ª Etapa

Execução de parede diafragma, com aplicação submersa de argamassa cimentícia aditivada, ao longo da crista, através de uma linha secante de furos verticais, de ombreira a ombreira até a rocha de fundação, feitas a ombreira até a rocha de fundação, feitas com perfuratriz tipo DHT, com diâmetro de 165mm. Esta medida contemplou o preenchimento da matriz (pasta) afetada devido, principalmente, a reatividade da pirita. Esta barreira, etapa principal do tratamento, possibilitou também uma redução substancial nos vazamentos.



Figura 4 - Grandes vazamentos ao longo das paredes da galeria.

#### 2ª Etapa

Injeção da nova resina hidroexpansiva de poliuretano inteligente (hidrófobo) para preenchimento dos vazios remanescentes. A injeção desta resina foi feita também a partir de furos verticais, feitos com diâmetro de 50mm, a partir da crista da barragem até a rocha de fundação, anexo aos furos do grande diafragma anteriormente realizado. Utilizaram-se obturadores a partir do fundo dos furos, de modo a sempre concentrar o processo expansivo da espuma do poliuretano. A novidade neste poliuretano-espuma é que sua cadeia expansiva não vira



Figura 5 - Perfurações e a injeção ao longo da crista, repare a perfuratriz abrindo novos furos. Note a urgência da espuma pelo meio do paramento de jusante.

# Tecnologia

Injeção de poliuretano espuma sem  
necessidade de injeção de gel?

**PH FLEX S** é hidrófobo, ou seja, sua espuma não contém água. Logo, é estável aos ciclos de secagem/molhagem. O poliuretano-espuma da concorrência é hidrófilo, ou seja, reage com a água, formando uma espuma instável aos ciclos de secagem/molhagem. Daí a necessidade da injeção posterior de gel, para "impermeabilizar" a "esponja". Pare de perder clientes, tempo, dinheiro, além de esburacar toda a estrutura, instalando bicos injetores para injetar espuma e depois gel. **PH FLEX SUPER** resolve de uma vez. Experimente hoje mesmo. Peça sua amostra, compare e sinta a diferença, no bolso e na tecnologia.

**PH FLEX SUPER**

**Tele-atendimento**  
(0XX21) 2494-4099  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 02

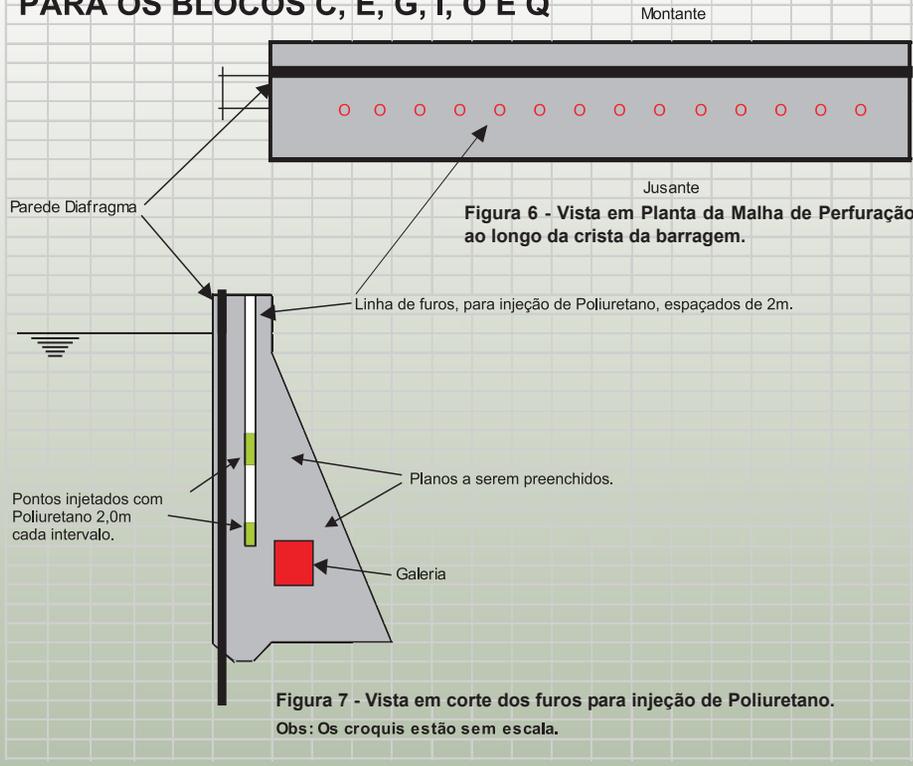


# PH FLEX SUPER

SOLUTION WITH ONE SHOT INTELLIGENT FOAM



## DESENHO ESQUEMÁTICO DAS INJEÇÕES PARA OS BLOCOS C, E, G, I, O E Q



### 4ª Etapa

Após os serviços de injeção pela crista da barragem, objetivou-se operação pente fino de ataque a dimínutas surgências ao longo do maciço, por jusante, utilizando-se a super resina da 2ª Etapa. O fato de ser hidrófoba significa estabilidade aos ciclos de secagem-molhagem, razão pela qual não necessitou da injeção complementar de gel de poliuretano. Isto porque a resina hidroexpansiva convencional é hidrófila, ou seja, sua cadeia expansiva é formada com poliuretano expandido suportado por moléculas d'água. Portanto, sensível a ciclos de secagem-molhagem, razão pela qual torna-se obrigatória a injeção do gel de poliuretano para envolver e preencher a "esponja" formada, estabilizando-a. Os furos foram feitos com furadeiras elétricas tipo MAX, utilizando-se brocas de diâmetro 12mm e comprimentos de 1m e 1,30m.



Figura 8 - Bomba de injeção MAX (elétrica) e furos ao longo da crista da barragem.

uma "esponja" saturada d'água como faz o poliuretano-espuma convencional. Não havendo, com isso, necessidade da injeção do gel.

### 3ª Etapa

Injeção de gel acrílico, não expansivo, com viscosidade igual a da água, de modo a atingir os vazios inferiores a 0,01mm. Esta resina, também injetada em furos específicos como monocomponente, após 40

minutos torna-se um semi sólido. Esta etapa de trabalho objetivou, principalmente, os vazios naturais que haviam na parede diafragma previamente formada, assim como os capilares existentes no concreto da barragem. A injeção desta resina, com viscosidade igual à da água, teve o importante objetivo de, literalmente, retirar a água livre residual do interior do concreto, de modo a interromper o processo de corrosão do concreto, através da reação da pirita com a água.

22 anos no mercado

Investindo em tecnologia

ecl  
engenharia  
www.eclengenharia.com.br

técnica • segurança • responsabilidade

praticando engenharia.



#### Matriz - DF

SBS - Quadra 02 - Bloco A Ed. Casa de São Paulo, Sala 401  
Brasília - DF CEP: 70078-900 Fone: +55 61 322-4337  
matrizdf@eclengenharia.com.br

#### Filial - SP

Rua Cardeal Arcoverde, 1749, cj. 27 - Torre B  
Bairro Pinheiros São Paulo - SP CEP: 05.407-002  
Fone: +55 11 3031-4616 filialsp@eclengenharia.com.br

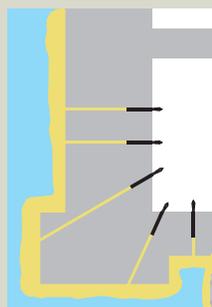
#### Escritório - RJ

Rua da Assembléia, 10 Sala 1317 Bairro Centro  
Rio de Janeiro - RJ CEP: 20011-000  
Fone: +55 21 2531-4630 escritorio@eclengenharia.com.br



Para impermeabilizar com injeção você não precisa mais se transformar...

...injete **WATERCRIL**



**WATERCRIL** utiliza a própria água para interromper infiltrações em barragens, metrô e solos em geral. **WATERCRIL** entra na estrutura como água e, em segundos, transforma-se numa borracha impermeável (gel) preenchendo os vazios ou fazendo barreira. **WATERCRIL** não contém solventes. É à base d'água. Ideal para grandes serviços porque é muito econômico. **WATERCRIL** é a maneira mais moderna de interromper infiltrações no concreto, em alvenarias e em solos, tornando-os estanques. **WATERCRIL** tem viscosidade igual a da água e é injetado com bomba monocomponente normal.



## WATERCRIL

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-6862  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 03

## MC serviços técnicos e engenharia

- Impermeabilização com injeção de resina hidrossintética
- Reforço com Fibra de Carbono
- Tratamento de trincas e fissuras com adesivos de baixíssima viscosidade
- Pontes, pontilhões, viadutos e passarelas
- Reservatórios elevados, semi-enterrados e enterrados
- Juntas de dilatação
- Pinturas protetoras
- Estruturas incendiadas
- Galerias
- Laudos técnicos para levantamento e diagnóstico de anomalias estruturais

Atendimento em todo território brasileiro

### Reforço Estrutural



Reforço com aplicação de Manta de Fibra de Carbono

### Impermeabilização



Impermeabilização com injeção de resina hidrossintética.

Ligue hoje mesmo.  
Atendemos em todo o Brasil.  
tel/fax: (11) 3904-0122 / 3904-0493

## Espumas hidrófilas e hidrófobas

Poliuretanos hidroexpansivos hidrófilos, ao contrário dos hidrófobos, têm seu processo de expansão condicionado ao volume d'água existente no interior do concreto. Quer dizer, se houver pouca água o volume da espuma será pequeno. Muita água possibilitará o desenvolvimento de um volume de espuma padrão, algo em torno de 30 vezes o volume de poliuretano injetado. Traduzindo: a "esponja" formada pelo poliuretano hidroexpansivo hidrófilo é construída à base de moléculas d'água e, portanto, sofre os efeitos adversos dos ciclos de secagem/molhagem que toda estrutura hidráulica se submete. Ou seja, na medida em que o nível d'água cai ou a super-

fície do concreto aquece, a água "pendurada" na cadeia da "esponja" volatiliza ou evapora, fazendo com que sofra retração, tornando aquela região permeável novamente ao fluxo d'água. Daí, a necessidade obrigatória da injeção do gel de poliuretano para "impermeabilizar" a espuma hidrófílica. Trata-se de uma técnica antiquada, cara e perniciososa à estrutura, já que exige a execução de furos adicionais para a injeção do gel. O poliuretano hidroexpansivo hidrófobo não sofre os efeitos dos ciclos de secagem/molhagem porque sua cadeia expansiva é de apenas poliuretano. Seu processo de expansão ocorre apenas com o contato da resina com a água.

## Injeção versus viscosidade

Uma resina com viscosidade de 100cps penetra no concreto com 1/100 da velocidade da água (1cps). Isto considerando pressões de injeções iguais. Ou necessitam de cem vezes mais pressão para obter velocidades iguais à da água. Portanto, em qualquer trabalho de impermeabilização é fundamental

trabalhar-se com viscosidades iguais ou próximas a da água, de modo a acessar seus caminhos. Desta forma, a velocidade com que uma resina pode ser injetada para dentro de uma massa de concreto varia inversamente com sua viscosidade e diretamente com a pressão da bomba.

objetivo de cobrir todo o maciço de concreto entre o diafragma executado e o piso da galeria. A segunda fase foi feita a partir do piso da galeria de drenagem, objetivando-se o tratamento e a impermeabilização do maciço, interface e rocha de fundação.

### GLOSSÁRIO

**Viscosidade** – resistência interna de um líquido para fluir. Medida da resistência que todo líquido tem para fluir.

### 6ª Etapa

Execução de furos inclinados, também com diâmetro de 50mm, a partir da galeria, de modo a se proceder a injeção do super poliuretano hidroexpansivo hidrófobo, possibilitando o tratamento e a impermeabilização em torno das tubulações do circuito hidráulico e no contato com a rocha de fundação.

Os serviços duraram quatro meses e o resultado foi o completo sucesso do tratamento imposto, sem qualquer perda d'água aparente.

### Ficha Técnica

#### Empreiteira:

**ECL Engenharia e Construções Ltda.**  
São Paulo – Brasil  
Fone: (11) 3031-4616  
Contato: Marcos V. Kffuri

#### Empresa Impermeabilizadora:

**MC Serviços de Engenharia Ltda.**  
Contato: Sr. Clarindo  
Fone: (11) 9654-3414

#### Consultoria e Fornecedor dos Produtos de Impermeabilização:

**Rogertec Engenharia e Comércio**  
Contato: Eng<sup>a</sup> Patrícia Praça  
Fone: (21) 2494-4099 - 2493-4702  
e-mail: rogetec@infolink.com.br

### Fax consulta nº 04



#### RECUPERAR

Para ter mais informações sobre Impermeabilização.

www.recuperar.com.br

### REFERÊNCIAS

- Marcos V. Kffuri é engenheiro civil.

### INJEÇÕES BLOCO H

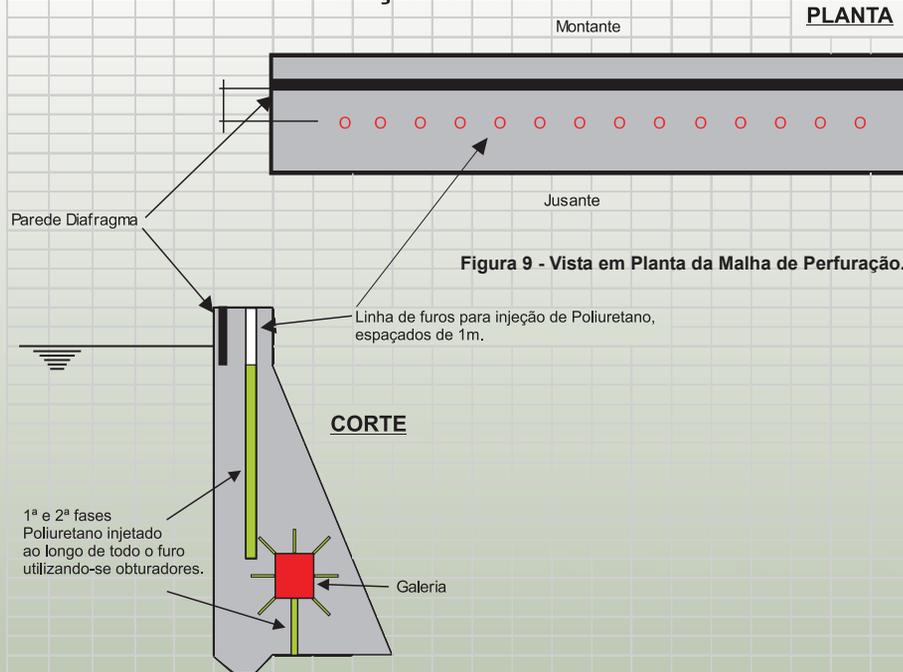


Figura 9 - Vista em Planta da Malha de Perfuração.

Figura 10 - Vista em corte dos furos para injeção de Poliuretano.

Obs: Os croquis estão sem escala.

### 5ª Etapa

Especificamente na região do bloco H, devido a presença de tubulações de tomada d'água e de descarga de fundo, não foi executada a parede diafragma com argamassa

cimentícia. Todo o processo de degradação física e química do concreto foi tratado com poliuretano hidroexpansivo inteligente e resina acrílica, com viscosidade igual a da água em duas fases. A primeira fase foi feita através da crista da barragem com o



# Perigo nas estruturas enterradas

Evandro Salles Pinto

É prudente fazer estruturas de concreto armado-protendido em contato com solo e água freática contaminados ou corrosivos?

Figura 1 - Encontro pilar-cinta com esmagamento. Corrosão intensa (perda de seção) nas armaduras. Solo com água ácida e presença excessiva de sulfatos. O reforço foi feito com o encamisamento e instalação de proteção catódica galvânica com TERRA ANODO G.



Qualquer estrutura de concreto armado/protendido em contato com solo sujeito à variação da água freática merece atenção cuidadosa. O fato é que o nível superior da água freática varia de região para região, ficando sujeito à influência de lagoas, canais e rios próximos. A medida que o nível médio de água freática marca presença ou molha estruturas enterradas ou de funda-

ções, torna-se obrigatório medidas de proteção, de acordo com as diretrizes das normas existentes.

### A variação do nível freático e as correntes subterrâneas

Efetivamente, o nível superior da água freática varia de acordo com o nível das lago-

as, canais e rios próximos, assim como é influenciado naqueles meses de chuvas intensas, condicionando as características geológicas do terreno.

A água subterrânea forma parte de uma corrente cuja direção e intensidade depende do gradiente existente. O movimento da água subterrânea aumenta a velocidade da corrosão, tanto do concreto como do aço,

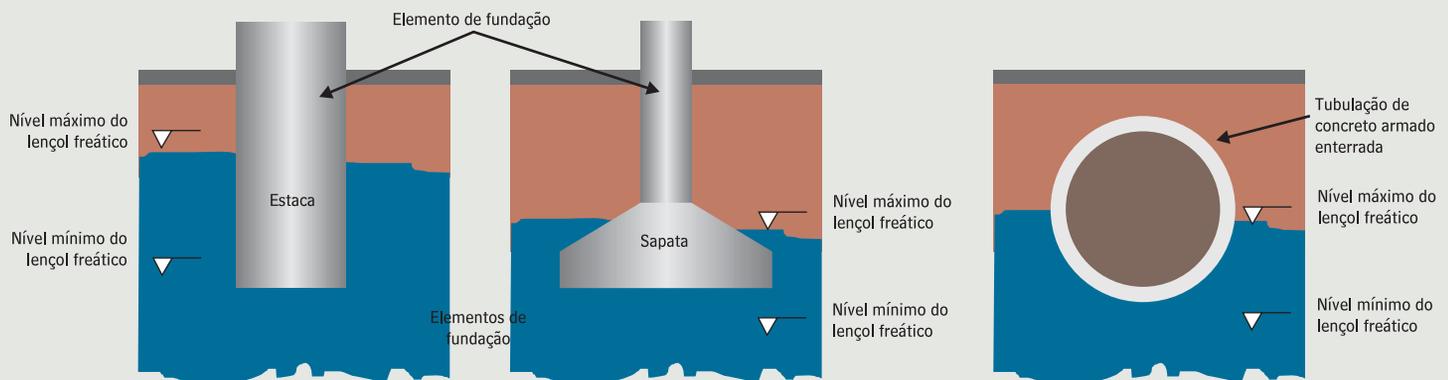
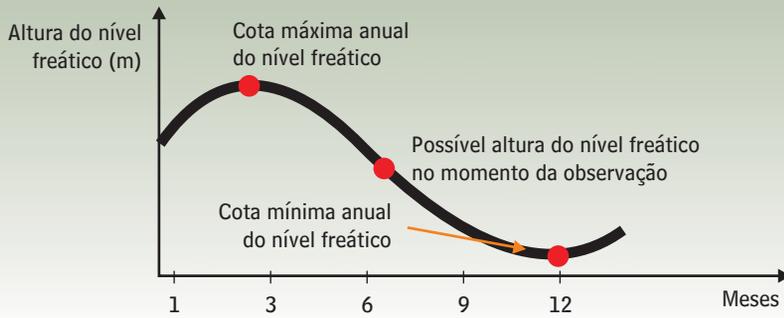


Figura 2 - A variação do lençol freático e a situação das estruturas de concreto armado-protendido enterradas. Quando o nível está alto, o concreto fica saturado. Quando está baixo, os interstícios do concreto se esvaziam parcialmente, seguindo-se um processo de evaporação. O que resta no interior dos interstícios é a cristalização de diversos sais. Quando o nível freático volta a subir, os poros do concreto voltam a se encher d'água. No entanto, a concentração dos sais prejudiciais dissolvidos na água é muito superior ao da água anterior. A repetição ininterrupta deste processo, dependendo dos sais, conduz o concreto e as armaduras à destruição. Solos arenosos são mais sensíveis a este fenômeno.

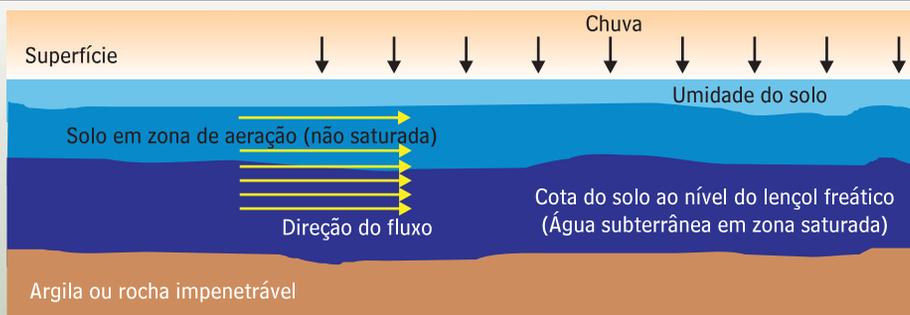
## Oscilação anual do nível da água freática



simplesmente porque determina a velocidade do transporte do oxigênio no solo. A presença de focos contaminantes próxi-

- Conteúdo de íons ou espécies iônicas: Sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), presença dos íons  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Fe}^{+3}$ , magnésio ( $\text{Mg}^{-2}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), amô-

## Águas subterrâneas em relação às regiões do solo



Na zona de aeração a água agressiva que faz contato com estruturas de concreto armado-protendido sofre forte evaporação, abandonando seus sais. Este processo ocorre em todo tipo de estrutura enterrada, particularmente em canais, túneis e muros de contenção, quando sofrem pressão hidráulica por um lado e pelo outro não há qualquer impedimento à evaporação. No lado da evaporação as concentrações de sais aumentam, principalmente pelos sulfatos de sódio, magnésio e de cálcio.

mos, como depósitos de lixos, usinas, indústrias, tubulações que conduzem gases, esgotos, além de postos de combustíveis contaminam a água freática, impregnando-a de agentes agressivos. A análise química da água subterrânea deve ser feita de modo a conhecer-se a sua natureza. A presença de íons positivos fornece a dica da presença de águas sódicas, cálcicas ou magnésicas. Por outro lado, a presença de íons negativos, poderá informar a presença de águas cloradas, sulfatadas ou carbonatadas. A norma DIN 4030 dá detalhes da agressividade da água subterrânea. De um modo geral, a análise deverá informar:

- Resíduo não evaporável.
- pH.
- Dureza, dureza total.
- Ácido carbônico, total e combinado com cal.



nio ( $\text{NH}_4^+$ ), enxofre ( $\text{S}^{-2}$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), consumo de permanganato de potássio

## Um pouco de química

Vamos conhecer os ácidos e os álcalis. O gás cloreto de hidrogênio, HCl, tem seus dois átomos bem ligados. Os átomos existem como íons, sendo o hidrogênio com carga positiva e o cloro com carga negativa. Uma vez o HCl se dissolvendo na água forma o cohecido ácido clorídrico, cujos íons ficam praticamente separados ( $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ ). Logo, todos os ácidos produzem íons hidrogênio em solução. Um álcali, como o hidróxido de sódio, NaOH, também é formado por íons, tendo o Na carga positiva e a hidroxila, negativa. Um álcali é um gerado de íons hidroxilas em solução ( $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ ). A força de um ácido, por exemplo, depende do número de íons hidrogênio que ele liberta na solução. Essa concentração de íons é muito, mas muito pequena, variando de um décimo ( $10^{-1}$ ) a um milionésimo ( $10^{-6}$ ) de íon-grama por litro (o íon-grama é o peso iônico em gramas. Por exemplo, o hidrogênio tem 1). Os químicos usam a escala de acidez chamada escala pH para medi-la. Logo, um pH de 3 corresponde a um

ácido com  $10^{-3}$  (um milésimo) de íons-grama de hidrogênio por litro de solução. Como a escala pH pertence à escala de logaritmos, uma mudança na escala corresponde a uma mudança de dez vezes sua concentração ácida ou alcalina.

Sobre os íons, podemos dizer que nada mais são do que átomos que ganharam ou perderam um ou mais elétrons, em relação ao seu estado de átomo eletricamente neutro. Melhor ainda: ácidos, álcalis e sais, são eletrólitos e, quando dissolvidos em uma solução, ficam mais ou menos dissociados em unidades eletricamente carregadas chamadas íons, brutais carregadores de cargas de eletricidade, como se fossem formigas. Essas cargas de eletricidade são chamadas de potencial iônico do íon e cada íon tem seu próprio potencial. Logo, é de se imaginar que íons positivos e negativos, ao se encontrarem, provoquem uma interação ou ação recíproca entre eles. Esse encontro gera um efeito de deformação entre eles chamado de polarização.

KMnO e espécies microbiologicamente ativas, como bactérias.

- Odor e coloração.

A dureza total permite conhecer as águas muito puras causadoras de lixiviações no concreto. O conteúdo de permanganato de potássio consumido, assim como o odor, permite conhecer a presença de matéria orgânica. O mais importante é a presença do perigoso sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e do dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ).

## E o solo?

Efetivamente, o solo hospeda água ou soluções em seu interior. Mas o que é o solo? Nada mais, nada menos do

que uma misturadora de rocha desintegrada por ação física e modificada pelo tempo, composto por partículas pequenas denominadas silicatos minerais, basicamente formadas por um átomo de silício rodeado por quatro átomos de oxigênio. Estes, por sua vez, estão ligados a outros átomos de silício (elemento mais abundante na terra depois do oxigênio) e assim por diante. Acrescentam-se ainda materiais quimicamente precipitados, a partir de soluções aquosas passantes e matéria orgânica (húmus). Claro que a diversidade dos solos existentes dependerá da história da sua formação, em função da sua localização. Em um solo seco, metade do seu volume é formado por espaços vazios entre as partículas que o constitui. Estes espaços são divididos não muito harmonica-



mente entre a solução intersticial e os gases presentes no solo. Quando a atividade biológica dos organismos do solo é alimentada de forma suficiente por nutrientes, o oxigênio é literalmente removido dos espaços vazios, dando lugar à volumosa concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), centenas de vezes superiores à existente na atmosfera. Solos biologicamente ativos também sofrem de transformações importantes devido aos ciclos de enxofre e nitrogênio.

A permeabilidade do solo exerce função extremamente importante na corrosão do concreto armado-protendido ali enterrados, exatamente pela facilidade com que permite o fluxo de soluções. A própria cor do solo pode dar uma dica a respeito da introdução ou permeabilidade do oxigênio, ou seja, se está bem ou não aerado. Boa drenagem, calor e chuvas estimulam a ação da erosão com conseqüente formação de óxidos de ferro III, dando ao solo aquela cor meio avermelhada. Solos com a cor marrom escura indicam a presença de matéria orgânica e vermelho-marrom dão a dica de que

#### GLOSSÁRIO

**Ferro** – quimicamente, o ferro, assim como outros metais de transição formam íons coloridos. Eles podem estar no estado de valência II e III, sendo os primeiros denominados ferrosos amarelados e os outros férricos vermelho-marrom. Os óxidos de ferro têm propriedades catalíticas, devido a sua capacidade de mudança de valência.

**Ferrugem** – óxidos de ferro mais ou menos hidratados, misturados com carbonatos básicos ferrosos-férricos que se formam na superfície do aço quando em ambientes úmidos, salinos ou industriais. Seu tratamento atinge cifras astronômicas no mundo inteiro.

**Valência** – pode significar a capacidade de combinação com átomos de hidrogênio ou outros elementos monovalentes. Neste caso, é um número característico daquele estado de oxidação de um elemento químico. Os números de valência podem se alterar durante os processos químicos, dando lugar ao fenômeno da oxidação-redução.

**Solos tropicais** – solos sujeitos a grande incidência de chuvas que, literalmente, lixiviam minerais solúveis das camadas superiores do solo. Altas temperaturas promovem a degradação da matéria orgânica na superfície que também é lixiviada para o interior do solo. O resultado é um solo laterítico rico em óxidos de ferro e alumínio, caracterizado por finas lâminas de material húmico, geralmente muito ácido.

**Solo laterítico** – sub ordem de solos, divididos em zonas, formadas em regiões tropicais, ou seja em climas quentes, temperados, úmidos e chuvosos.

**Ácido húmico** – qualquer um dos vários ácidos orgânicos complexos obtidos do húmus.

**Húmus** – matéria orgânica que dá ao solo sua cor escura, constituída, principalmente, por um material chamado húmus, derivado das plantas que realizam fotossíntese. A celulose é um dos seus componentes, assim como a lignina e proteína, polímeros insolúveis em água que contém grupos carboxílicos.

## Fatores que afetam a corrosão nas estruturas enterradas

Existem, basicamente, quatro importantes características que norteiam a corrosividade dos solos em relação ao aço enterrado, "protegido" ou não pelo concreto:

- Aeração e retenção d'água (permeabilidade do solo).

- Teor de sais dissolvidos e a conseqüente condutividade(resistividade) do solo e do concreto.
- Acidez do solo.
- Presença de espécies iônicas na água do solo, como cloretos, sulfatos etc, além de bactérias.

há umidade presente, devido a grande quantidade de óxido de ferro II hidratado. É o caso dos siltes.

### O poder oxidante (POX) da água e o seu potencial de redução-oxidação (PRO)

O agente oxidante mais importante em águas do sub-solo é o oxigênio dissolvido, O<sub>2</sub>. Uma vez reagindo, cada um dos seus dois átomos é reduzido do seu estado de oxidação zero para -2, formando água H<sub>2</sub>O ou hidroxilas OH<sup>-</sup>.

A química da água subterrânea baseia-se nas reações ácido-álcali e redox que controlam as concentrações dos íons inorgânicos dissolvidos na água e seu teor orgânico, com direito à movimentação do pH. A dissolução do dióxido de carbono e do oxigênio atmosférico são dois dos atores principais. Na zona de aeração, as partículas do solo estão cobertas com um filme d'água e existe ar entre as partículas. Na zona saturada todo ar foi despachado.

As reações de redução e oxidação, chamadas também reações redox, nada mais são do que reações simultâneas, inseparáveis e acima de tudo eletroquímicas de perda e ganho de elétrons, patrocinada pelo potencial eletroquímico redox das espécies iônicas dissolvidas na água ou solução. Como, por exemplo, entre os dois íons do ferro na reação de ida e volta, quer dizer de oxidação do íon ferroso Fe<sup>+2</sup> a férrico Fe<sup>+3</sup> e, na volta, de redução do íon férrico Fe<sup>+3</sup> a ferroso Fe<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup> ⇌ Fe<sup>+3</sup> → e<sup>-</sup>, muito comum na água do solo. O íon Fe<sup>+3</sup> age como agente oxidante.

Uma reação característica das águas sub-

terráneas é a redução do íon férrico Fe<sup>+3</sup> a ferroso Fe<sup>+2</sup>, Fe<sup>+3</sup> + e<sup>-</sup> → Fe<sup>+2</sup>.

**Permeation Grouting**

com:

- Soilstab
- Solomax
- Watercrl
- Microcimento

O melhor custo-benefício em serviços de consolidação de solos e reforço de fundações.

Tele-atendimento (0XX21) 2493-4702  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 07

terrâneas nada aeradas e que chegam a zona de aeração é o fato de, ao fazerem contato com o gasoso e oxidante  $O_2$  terem a chance de dissolver-se nelas, fazendo com que seu nível bastante elevado de ferro ferroso solúvel amarelado  $Fe^{+2}$ , presente no solo, se converta em ferro férrico vermelho-marrom insolúvel, formando um solo mais escuro, rico em hidróxido férrico  $Fe(OH)_3$ .

Inúmeras reações redox ocorrem no solo, principalmente as que envolvem o enxofre, desde o seu estado altamente reduzido  $-2$ , encontrado no gás sulfeto de hidrogênio,  $H_2S$  e em minerais que contém íon sulfeto,  $S^{-2}$  até o estado altamente oxidado  $+6$ , presente no ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$ , e em sais que contém o íon sulfato  $SO_4^{-2}$ .

A contaminação da água do sub-solo por produtos químicos orgânicos e esgotos é outro grande problema. As fontes dessas substâncias orgânicas abrangem vazamentos de depósitos de lixo químico, vazamentos de tanques subterrâneos de armazenamento de gasolina, vazamentos de aterros de lixo municipais e derramamentos acidentais de produtos químicos.

**GLOSSÁRIO**

**Reação de redução-oxidação (redox)** – fenômeno inseparável formador do sistema onde elétrons são sequestrados de um átomo (oxidação) e entregues a outro átomo (redução). Como o elétron tem carga negativa, quem perde fica positivo, quem ganha fica negativo. A força que executa estas reações é patrocinada pelo potencial eletroquímico.

**Estado de oxidação** – carga elétrica decorrente da perda ou ganho, total ou parcial, de eletron(s) por um átomo.

**Resistividade** – significa dificuldade no transporte de corrente. Quanto menor a resistividade maior a condutividade ou o transporte de corrente. Solos corrosivos são aqueles que contém grandes concentrações de sais solúveis que otimizam a condutividade elétrica. O conhecimento da resistividade do solo informa o seu grau de corrosividade. O conhecimento do fluxo e nível da água subterrânea, assim como o pH e o potencial de redução-oxidação do solo complementam a pesquisa. Regiões do solo com diferentes pH, por si só, promovem diferenças de potencial no aço e, conseqüentemente, corrosão.

**A corrosão do aço**

A corrosão do ferro  $Fe^0$  metálico é um exemplo de reação redox. Este metal é oxidado a íon aquoso ferroso, com número de oxidação  $+2$ , quando reage com água e oxigênio. O composto resultante, conhecido como corrosão, dá como resultado óxidos e hidróxidos de ferro hidratado. Os tubos abaixo mostram que, para se formar corrosão, são necessários água e oxigênio.



Efetivamente, a água do solo está permanentemente submetida a reações redox e naturalmente tem poder oxidante (P.OX.) permanentemente em mutação, particularmente quando há bactérias no solo.

O pH do solo, geralmente, varia de 3,5 a 10, sendo que os que contém matéria orgânica tendem a ser ácidos. Na região sudeste, os

solos tendem a se tornar ácidos devido à lixiviação dos íons básicos positivos ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  e  $K^+$ ) para o interior do terreno, concomitantemente com a introdução do dióxido de carbono ( $CO_2$ ), empurrado pela chuva.

Resumindo, toda solução pode ser caracterizada por seu POX, seja a solução intersticial presente no concreto como no solo. Nestes ambientes sempre haverá elementos ganhando e outros perdendo, definindo-se um POX. O que devemos saber é que este troca-troca de perde e ganha gera energia, mais precisamente voltagem, traduzida na forma do potencial de redução-oxidação, PRO presente em qualquer meio onde haja água ou solução aquosa. Diminuindo-se o PRO da água ou da solução, aumenta seu poder de corroer ou oxidar o aço. A adição de oxigênio dissolvido assim como a presença de espécies iônicas na água interfere diretamente no PRO. O POX, ou propriamente o potencial de redução-oxidação (PRO) é medido em milivolts, através de uma revolucionária caneta chamada STIK que, ao mergulharmos ponta no líquido informa o seu POX, a condutividade, o pH e a temperatura. Isto porque estes dois últimos parâmetros inter-

ferem diretamente no POX da água ou solução. Em solos que envolvem tubulações de concreto ou sapatas de fundação, tipicamente remexidos e aerados (aeróbicos), o teor de oxigênio é relativamente alto e, quase com certeza, ter-se-á um PRO mais baixo do que aquele encontrado em um solo virgem e compacto (anaeróbico), onde, frequentemente, outros sequestradores de elétrons, que não o oxigênio, determinam a corrosividade do solo e também do concreto. No box acima há a relação entre o PRO da água e o conseqüente POX desenvolvido em função das reações redox.

A classificação da corrosividade do solo, tradicionalmente baseada apenas na resistividade e no pH, é incompleta e pode induzir a erros. O POX e a atividade microbiana são parâmetros super importantes na corrosão subterrânea e que também devem ser considerados.

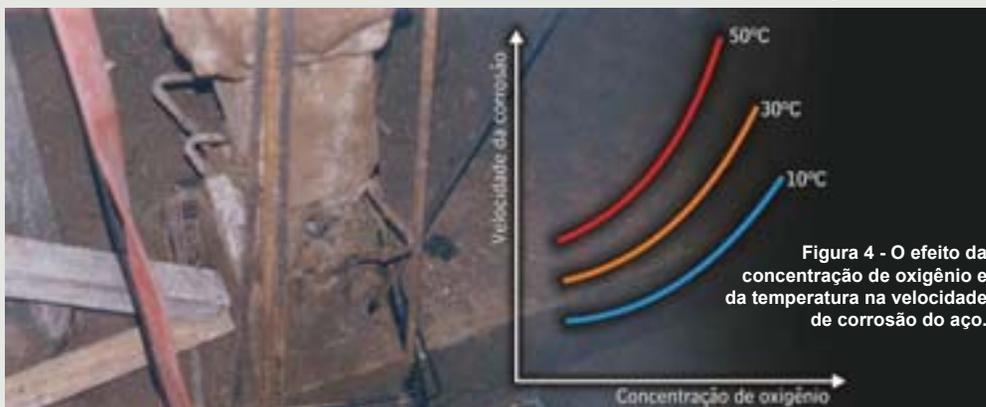


Figura 3 - "Pescoço" de pilar (entre a cinta e a sapata) enterrado e em estado de ruína (esmagamento) devido a corrosão do concreto e das armaduras.

# Quer conhecer o poder da água?

Com o revolucionário STIK você mede na hora o poder oxidante (POX) da água ou de qualquer solução, assim como seu pH, temperatura e condutividade. Águas ou soluções com baixo POX corroem facilmente o concreto e suas armaduras.

POX é uma propriedade inerente a qualquer tipo d'água ou solução. O STIK

informa precisamente, de forma digital, o pH, o POX dos íons presentes, o cloro e sua condutividade. O medidor STIK analisa a água em qualquer situação. É ideal também para quem trabalha em estações de tratamento de água, esgoto, barragens, fundações etc. Conheça hoje mesmo este revolucionário instrumento.

## Stik

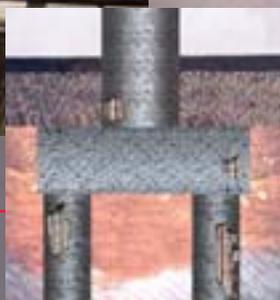
Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-4702  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 08



ETAs



ETEs



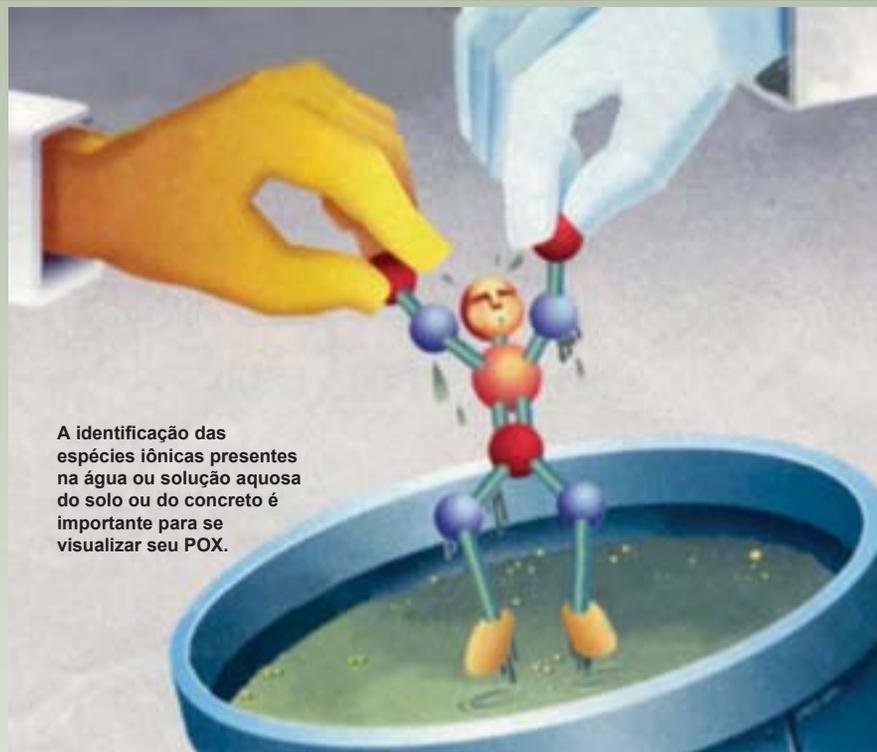
Água de fundações



Barragens



## Conhecendo o solo e seus íons



A identificação das espécies iônicas presentes na água ou solução aquosa do solo ou do concreto é importante para se visualizar seu POX.

Assentar uma fundação ou uma tubulação em um solo suspeito é jogar com a sorte, particularmente hoje, com a contaminação ambiental atingindo nossas cisternas e nossos narizes. O POX da água ou de soluções aquosas é fortemente dependente do grau de ionização das espécies químicas na solução. Ionização é o fenômeno que conduz à formação de íons. A ionização que ocorre na água ou em soluções aquosas deve-se à alta constante dielétrica da água, que tem por hábito diminuir ou quebrar as forças eletrostáticas que imperam entre os íons das substâncias salinas, dissociando-as ou ionizando-as, passando os íons resultantes a ter existência isolada, devidamente rodeados de moléculas d'água. Um exemplo clássico é o cloreto de sódio,  $\text{NaCl} \Rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ . Águas ácidas geram íons hidrogênio  $\text{H}^+$ , quando se ionizam. Águas alcalinas produzem íons hidroxila  $\text{OH}^-$ .

É comum encontrar-se uma enorme variedade de espécies iônicas ou sais solúveis nos solos, da mesma forma que em concretos contaminados. Dois solos ou concretos que tenham a mesma resistividade, podem apresentar POXs

bem diferentes, bastando apenas terem espécies iônicas diferentes. Têm culpa no cartório os íons salinos do tipo cloretos, sulfatos e o próprio e velho pH. Razão pela qual dever-se-á checar a presença destes íons através de kits medidores ou conduzir a amostra do solo (preservando a umidade natural) para laboratórios especializados. A tabela do ACI-318 (building Code Requirements for Reinforced Concrete) mostra bem esta preocupação.

### Efeito dos cloretos e sulfatos na corrosão do aço enterrado (ACI-318)

Concentração (ppm)	Grau de corrosividade
<b>Cloretos</b>	
> 5.000 .....	Severo
1.500 – 5.000 .....	Considerável
500 – 1.500 .....	Corrosivo
< 500 .....	Início
<b>Sulfatos</b>	
> 10.000 .....	Severo
1.500 – 10.000 .....	Considerável
150 – 1.500 .....	Positivo
0 – 150 .....	Insignificante

### A função dos micróbios na corrosividade do solo

É extremamente considerável o nível de danos provocados no aço pela chamada cor-

#### GLOSSÁRIO

**Sulfato** – sal derivado do ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).  
**Sulfeto** – substância binária do enxofre com outros elementos ou radicais.

## Corrosividade do solo (Resistividade) (NACE)

Resistividade do solo (ohm.cm)	Corrosividade
Acima de 10.000	Não corrosivo
1.000 – 10.000	Meio corrosivo
500 – 1.000	Corrosivo
0 – 500	Muito corrosivo

rosão induzida por micróbios (CIM). Destes últimos, talvez o mais badalado seja a bactéria redutora de sulfatos (BRS) que, em solos orgânicos saturados, ricos em sulfatos, na condição anaeróbica (sem oxigênio), se alimentam ou retiram a energia necessária à sua sobrevivência das reações redox, literalmente engolindo o  $\text{H}_2$  livre, leve e solto durante a reação de corrosão do ferro, provocando agora um outro estrago: a transformação dos sulfatos presentes que, de quebra, põem na área como produto da reação os mal cheirosos sulfetos de ferro ( $\text{FeS}$ ), de cor escura. As BRS são craques em provocar corrosão localizada. Sua atividade está totalmente relacionada ao PRO.

### Fax consulta nº 09



#### RECUPERAR

Para ter mais informações sobre Análises.

www.recuperar.com.br

### REFERÊNCIAS

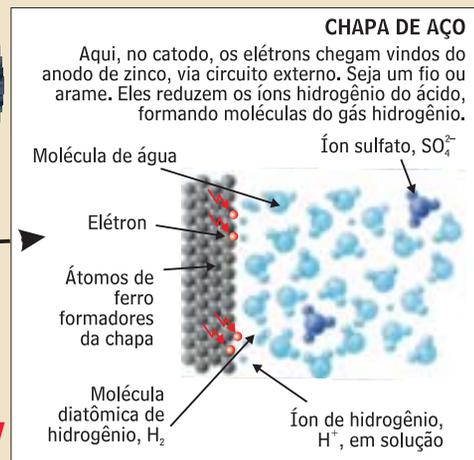
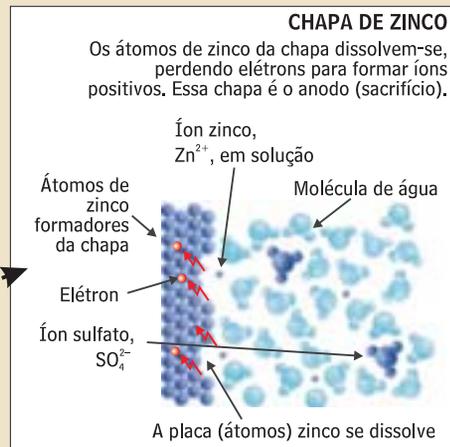
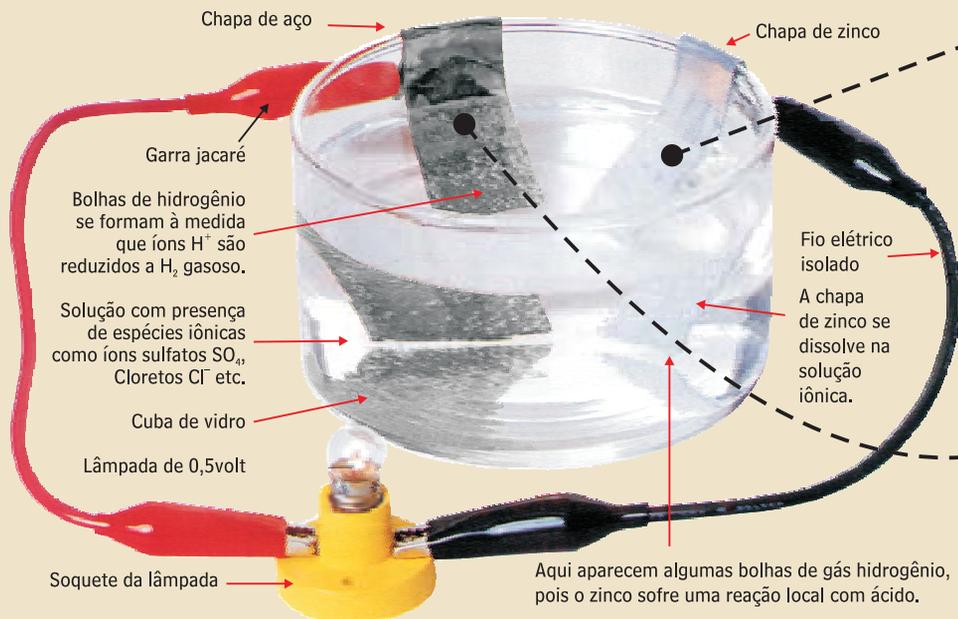
- Evandro Salles Pinto é engenheiro metalúrgico especialista em corrosão.
- K.H. Logan. "Corrosion By Soils", in the H.H. Uhlig Corrosion Handbook In "The Corrosion on Handbook".
- R.L. Starkey and K.M. Wight. "Anaerobic Corrosion of iron in Soil", American Gas Association.
- M. Romanoff. "Underground Corrosion", National Bureau of Standards Circular 579.
- "Underground Corrosion" ASTM STP 741.
- "Corrosion Tests and Standards: Application and Interpretation". ASTM manual series: MNL 20.
- M. Romanoff. "Corrosion of Steel Pilings in Soil". National Bureau of Standards.
- E. Escalante. "Concepts of Underground Corrosion", in Effects of Soil Characteristics on Corrosion". ASTM STP 1013. V. Chaker and J.D. Palmer (Eds.). American Society for Testing and Materials.

Potencial de redução-oxidação (mV)	Poder oxidante (POX)
< 100	Alto
100 a 200	Moderado
200 a 400	Leve
> 400	Ausência

**A SURGÊNCIA DE UMA VOLTAGEM NATURAL**

Quando dois metais diferentes são mergulhados em uma solução iônica ácida, de modo que não se toquem, aparece, de forma natural, uma voltagem entre eles. Esse arranjo é chamado pilha eletroquímica. Se os dois metais são conectados externamente por um fio, a voltagem faz fluir uma corrente elétrica.

Na pilha formada abaixo, utilizada na prática (proteção catódica galvânica) para interromper a corrosão no aço do concreto, átomos de zinco são oxidados a zinco<sup>2+</sup> no anodo. Os elétrons descarregados dessa oxidação fluem através do fio, acendendo a lâmpada, rumo ao catodo de aço (ferro), no qual os íons hidrogênio H<sup>+</sup> da solução são reduzidos a hidrogênio gasoso H<sub>2</sub>.



# Os segredos da corrosão IV

**Joaquim Rodrigues**

## Botando pilha no aço. Conheça todas as pilhas que acontecem no aço do concreto armado-protendido.

Esta matéria complementa as três anteriores publicadas nas edições 46, 47 e 48. A continuidade deste importante assunto tem a ver com as dúvidas dos nossos leitores, que solicitam tanto mais informações a respeito das matérias publicadas como também objetivam a compreensão do verdadeiro tratamento da corrosão no concreto armado/protendido com a técnica da proteção catódica.

Invariavelmente, o aço da construção possui a força necessária para detonar voltagens, devido a inerentes pilhas de corrosão existentes em seu bojo. Ao longo do corpo da barra de ferro ocorrem naturais diferenças de voltagens, devido a presença maciça

ça do ferro e de diminuta quantidade de metais dissimilares como o manganês, cromo, etc, uma vez em contato ou interligados por soluções ou água intersticial rica em espécies iônicas próprias do ambiente em torno da estrutura. É a chamada corrosão galvânica ou corrosão por pilhas formadas entre metais diferentes, à semelhança de uma pilha que alimenta um comando de televisão.

### A corrosão por pilhas

O aço, como sabemos, não é um metal puro. Advém do minério de ferro que, na forma de rocha, é extraído com pequenas impure-

### GLOSSÁRIO

**Aço** – liga formada com cerca de 97% de ferro. Possui pequena porcentagem de carbono e outros metais de ferro, entre os quais cromo, tungstênio, vanádio, manganês, níquel, alumínio etc, podendo-se categorizá-lo em três grandes grupos. O ferro isento de carbono é bastante mole, de tal forma que poder-se-á raspá-lo com uma simples faca. Os aços da construção, um dos três grupos acima caracterizados, contêm cerca de 0,35 a 0,55% de carbono e subdivide-se, basicamente, em três grupos:

- aços de construção ao manganês-silício, com porcentagens máximas de 0,40% de carbono, 1,40% de manganês e 1,40% de silício.
- aços de construção ao cromo-molibdênio, com porções máximas de 0,45% de carbono, 0,80% de manganês, 0,35% de silício, 1,30% de cromo e 0,40% de molibdênio.
- aços de construção ao cromo-níquel, com porções máximas de 0,40% de carbono, 0,80% de manganês, 0,35% de silício, 0,95% de cromo e 4,75% de níquel.

Quimicamente, o aço forma íons de ferro coloridos, ou seja, íons ferrosos solúveis, Fe+2, e íons férricos, Fe+3, que funcionam como verdadeiros catalizadores devido a esta capacidade de mudança de valência. Os óxidos e hidróxidos formados por estes dois íons representam o processo de corrosão do aço, responsável por prejuízos astronômicos no mundo inteiro, da ordem de bilhões de dólares/ano.

**Pilha galvânica** – dispositivo em que a energia elétrica que surge é gerada por mudanças químicas. Basicamente, consiste de dois metais diferentes em contato, tendo uma solução interligando-os também.

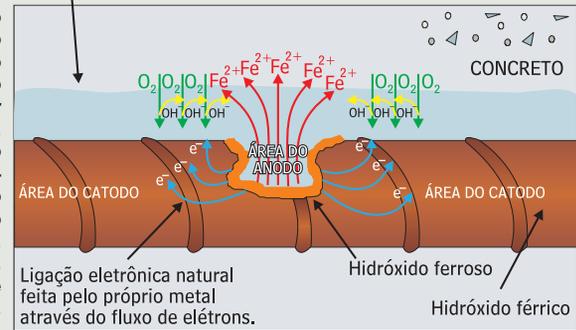
zas (outros metais) e depois submetido a processos químicos e mecânicos, até chegar na forma do aço. Desconsiderando-se os processos aos quais é submetido, o fato é que o dito cujo absorve uma considerável quantidade de energia durante sua transformação. Naturalmente reativo, mas agora com energia saindo pelo ladrão, particularmente devido a inserção de outros metais, o ferro, travestido de aço, é a própria imagem da instabilidade eletroquímica, à semelhança de todo e qualquer material criado pelo homem. A severidade do ambiente circundante causa neste metal artificial corrosão localizada ou generalizada. Isto, devido a diversidade de energias que cada metal incorporado possui que, com o advento da água e do oxigênio interfaceando-os, é suficiente para detoná-las. A surgência de elementos contaminantes na solução que percola pelos vazios do queijo suíço chamado concreto é fator acelerante para o processo de destruição de suas armaduras. Ou seja, à medida que os vazios do concreto se enchem de uma solução, e esta chega a uma determinada região da superfície da barra de aço, os diferentes metais que a compõem se intercomunicam e acendem o estopim das bombas de fragmentação, que explodem à medida em que o show continua. O lucro da Corrosão Futebol Clube, naquela região chamada anódica entra em aclave, alimentada por regiões vizinhas catódicas que mais parecem cartolas com contas em paraísos fiscais. A moeda de troca que tem valor aqui chama-se oxigênio  $O_2$ , mas até íon hidrogênio  $H^+$  entra na transação da Corrosão F.C. Traduzindo, na região anódica da barra o ferro metal  $Fe^0$ , zerado de dívidas, passa à condição negativa de íon ferroso  $Fe^{-2}$ , literalmente boiando na solução interfacial concreto-armadura, devido aos dois elétrons arrancados pelos cartolas catódicos vizinhos. Estes, por sua vez, com muito  $O_2$  e  $H^+$  no bolso, verdadeiros sequestradores de elétrons, dão como troco íons hidroxilas perversos para reagir com os íons ferrosos  $Fe^{-2}$ , formando os produtos da corrosão, ou seja, os óxidos ferrosos (figura 2). O que se vê, então, mais parece uma trama futebolística sem fim. Vamos esmiuçar os mecanismos desta confederação corrupta, quer dizer corrosiva, cheia de pilhas.

### Como atua a corrosão por pilhas?

A corrosão por pilhas é a grande causadora da corrosão que vemos freqüentemente nas

**Figura 2 - Típico mecanismo de corrosão provocado pela polarização catódica do catodo, em função da facilidade com que o oxigênio chega à superfície do aço. No anodo deposita-se hidróxido ferroso, de cor mais amarelada. Nos catodos adjacentes, com maior área, deposita-se hidróxido férrico, de cor vermelho-marrom, a verdadeira cor da ferrugem. Se a película do hidróxido férrico se mantém intacta, o ferro passiva-se, pelo fato de ser pouco solúvel, dificultando o acesso da água e oxigênio. Repare na diferença entre as áreas anódica e catódica.**

Solução na interface concreto-armadura que torna possível a ligação eletrolítica (ou iônica) que detona a corrosão.



armaduras do concreto ou nos cabos e fios do concreto protendido. A heterogeneidade da matriz metálica, como vimos anteriormente torna extremamente reativa sua superfície, ao mesmo tempo em que sempre haverá a garantia do contato elétrico (extensão da barra). Antes de especificarmos os tipos de corrosão por pilhas que costumam ocorrer, torna-se necessário conhecer dois fatores sinistros que influenciam o seu comportamento. A polarização é a relação das áreas catódicas e anódicas.

#### • Polarização

Na corrosão por pilhas as regiões anódica e catódica são espertas e cada uma tem energia própria, ao fazerem seu troca-troca. No entanto, a vontade de polarizar poderá partir tanto do catodo como do anodo. Como? Claro, todo mundo tem problemas. Catodos e anodos também têm. Se um não tiver iniciativa, a vontade do outro impera para a efetivação da troca. Os potenciais fornecidos pela região anódica como pela catódica, no troca-troca, geram voltagens desiguais. Esta diferen-

ça é que impera e é chamada polarização. Polarização anódica no anodo e catódica no catodo. Polarização, portanto, é definida como o deslocamento do potencial de uma destas regiões, motivado pelos efeitos do fluxo de corrente, quer dizer, densidade de corrente, que é o fluxo de corrente por unidade de área da região. A quantidade de polarização que surge costuma-se chamar overvoltage ou overpotencial. Se o catodo quer po-

#### GLOSSÁRIO

**Liga** – metal resultado da solidificação de uma mistura de dois ou mais metais, previamente fundidos.

**Potencial eletroquímico** – é a energia de transferência entre metais ou elementos eletricamente carregados.

**Potencial de uma superfície** – é o potencial medido com uma semi-pilha em uma superfície, submetido a uma solução ou eletrólito.

**Eletrólito** – substância química em forma de solução líquida, contendo íons.

**Série das forças eletromotriz** – lista de metais ou elementos arranjados de acordo com seu potencial padrão, de modo que metais não reativos ou “nobres”, como o ouro, são positivos e metais reativos como o zinco, são negativos.

“O concreto aparente terá um futuro brilhante sem qualquer presença de corrosão”

# SILANO-CORR

Hidrofugante para o concreto aparente com inibidor iônico que protege mesmo contra a corrosão. Você ainda usa verniz no concreto aparente? Você merece um futuro melhor.

**SILANO-CORR**

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-4702 / fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 12

larizar com o peito estufado de  $O_2$ , como é comum, e o anodo não, então havendo solução aquosa cheia de elementos iônicos (especialistas em baixar a resistividade do concreto) a corrente coletada no catodo por área será predominante e o que é importante, costuma ser grande. Pior para os anodos pequenos que se submeterão a grandes quantidades de corrente em suas diminutas áreas. Seus átomos serão literalmente sugados pela solução interfacial armadura-concreto. Rápida corrosão.

**O tamanho relativo das áreas anódica e catódica**

O efeito das áreas do anodo e do catodo na corrosão por pilhas evidentemente depende do tipo de polarização com que a corrosão se desenvolve. Como no concreto armado-protendido a polarização catódica é o manda chuva da ocorrência da corrosão, lidar com grandes catodos e pequenos anodos será trágico para estes últimos. O efeito de uma determinada quantidade de corrente concentrada em uma área pequena será muito maior que numa grande área. Um exemplo bem prático está na errada aplicação de epóxios para passivar, tornando catódicas barras recuperadas. A polarização catódica ocorrerá mais rapidamente do que antes da recuperação. Isto porque a corrente, que é a mesma fornecida pelo catodo (área não recuperada), fluirá apenas nos furos e defeitos da pintura. Dever-se-á considerar que não existe pintura impermeável. O poder oxidante das reações redox e a resistividade alterada do concreto se encarregam

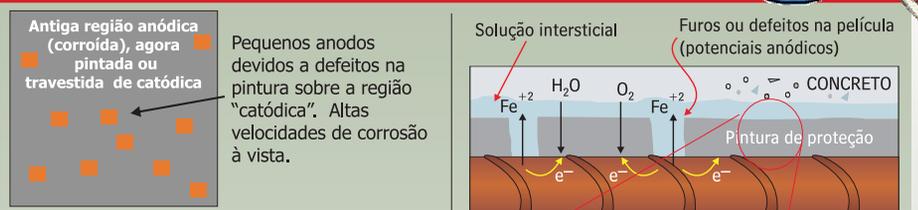
da ciclização da “recuperação”. Efetivamente, não é o tratamento. Agora, se o anodo quer polarizar, talvez motivado pela presença direta dos traficantes ions cloretos ali, a causa muda e o catodo perde a iniciativa, havendo uma polarização anódica. Por exemplo, o potencial anódico padrão do ferro é  $-440mV$  e o potencial catódico padrão do oxigênio dissolvido na água é  $+401mV$ . Logo, o potencial desta pilha possui uma força eletromotriz de  $841mV$ , energia suficiente para acender uma lâmpada de lanterna ou para detonar a corrosão. O concreto armado-protendido na condição urbana é servido quase sempre pela polarização catódica já que, como sabemos o estado metalúrgico reativo da superfície da armadura é considerado constante e a posição aérea dessas estruturas permite o acesso de soluções aeradas, ou seja a reação catódica é predominante pelo excesso de oxigênio. Quer dizer, a culpa da corrosão cai sempre nos jogadores catódicos como o oxigênio  $O_2$  e o íon hidrogênio  $H^+$ , pois seqüestrando de montão elétrons da região anódica estarão produzindo ali grandes densidades de corrente anódica. Descobertos os mecanismos que caracterizam as pilhas, resta saber quais os tipos existentes nas estruturas.

Os tipos de pilhas de corrosão

Cada ambiente, na verdade, é constituído de micro-ambientes. Um exemplo caracterís-

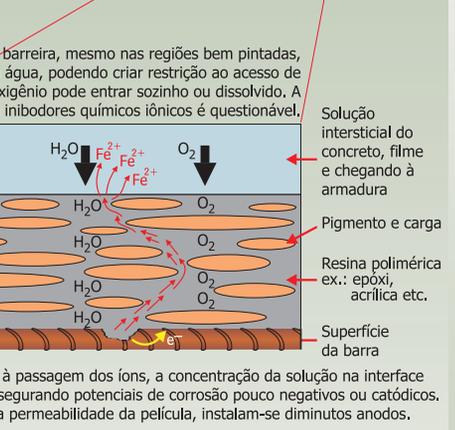


**Onde acaba o processo tradicional de recuperação das armaduras**



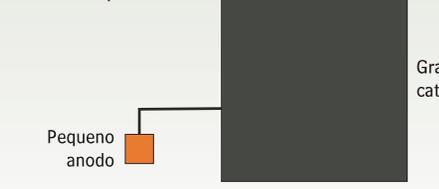
Situação que simula a tradicional pintura da região anódica (corroída) na armadura. Duas situações se impõem:

1ª) A região da barra pintada é permeável ao oxigênio e ao vapor d'água como toda tinta que se preza. Estará funcionando como um catodo para as antigas regiões vizinhas catódicas, tornadas agora anódicas. Claro, porque a região pintada está “protegida” do contato da solução, mas aceita oxigênio e água na forma de vapor, ou seja, está travestida de catodo. As regiões vizinhas tornam-se anódicas porque estão desprotegidas do contato com a solução, e há agora um catodo que se dispõe a ali-



mentar a corrosão ali. Ou seja, um faz de conta.

2ª) A região anódica pintada, na vida real, apresenta falhas, quer dizer, defeitos na pintura. Evidentemente, o que ocorre na verdade é uma drástica redução da área anódica, estabelecendo-se pequenas áreas deste partido ou propriamente pites de corrosão. A corrente anódica, caracterizada pela fuga de elétrons, que estava dissipada em toda a região, agora ficou concentrada em diminutos pontos, produzindo grande quantidade de corrente e tornando-se violentos anodos devido a alta velocidade de corrosão a que estarão submetidos.



Introdução de grande concentração ou densidade de corrente anódica, aumentando significativamente a velocidade da corrosão no anodo. Defeitos em pinturas de “proteção” são exemplos típicos.

**Os tipos de pilhas de corrosão**

Cada ambiente, na verdade, é constituído de micro-ambientes. Um exemplo caracterís-

**GLOSSÁRIO**

**Força eletromotriz** – potencial elétrico; voltagem.

**Corrosão galvânica** – ocorre quando dois metais com potenciais diferentes estão em contato elétrico enquanto imersos num concreto com presença de água intersticial contendo oxigênio dissolvido ou simplesmente contaminada. Como todo metal apresenta potenciais naturais diferentes em presença de um líquido, uma corrente irá fluir do metal mais anódico para o menos anódico, de maneira a equalizar aqueles potenciais.

**Pilha de corrosão** – sistema eletroquímica formado por um anodo e um catodo interligados por contato metálico (aço) e submetidos a uma solução ou eletrólito. Seu potencial é calculado pela diferença entre o potencial do catodo e do anodo.

**Reação redox** – reação de redução-oxidação. Esta reação caracteriza-se pela simultaneidade, ou seja, sempre que há oxidação (perda de elétrons) há redução (alguém ganha elétrons).

**Voltagem ou potencial** – é a energia que põem cargas em movimento. Uma força eletromotriz (FEM) ou uma diferença de potencial é expressa em volts. A FEM é a diferença de potencial entre duas regiões da armadura, ou seja é a força propulsora para a corrosão eletroquímica.

tico é uma indústria onde se produzem produtos químicos variados. Em cada um destes ambientes haverá um comportamento diferenciado da corrosão. O potencial de corrosão analisado com a semi-pilha CPV-4 não é, como se sabe, um potencial de equilíbrio. O aço nunca para de corroer em ambientes corrosivos. É apenas uma questão de velocidade. Existirá sempre oxidação no aço para produzir íons  $Fé^{++}$ , além de produtos de corrosão, consoante com a presença da água e da velocidade com que o oxigênio se difunde na região catódica, de modo a alimentar o processo anterior. De um modo geral, poder-se-á entender que reações de oxidação e alimentação ocorrem próximas ou numa mesma região da superfície do aço. É o que estamos habituados a ver no nosso dia a dia nas estruturas. No entanto, é comum encontrarmos corrosão no concreto armado motivado por reações de oxidação e alimentação ocorrendo em regiões separadas. Unidas, seja em cama de casal ou de solteiro, ambas as reações geram a dissolução do aço através da formação de, respectivamente, micro ou macro pilhas de corrosão. As primeiras já conhecemos. Vamos conhecer as macro-pilhas também chamadas de pilhas de corrosão diferencial.

### Pilhas de corrosão diferencial

É freqüente a surgência de reações de oxidação e alimentação acontecendo em regiões diferentes, separadas ou distantes. Cada uma destas reações, em ambos os lados, tem seu próprio potencial livre, leve e solto mas que devido a continuidade da armadura, garantindo o contato elétrico há, consequen-

temente, a troca e a polarização. Anódica no anodo e catódica no catodo. As pilhas de corrosão diferencial se manifestam de quatro maneiras particulares nas estruturas de concreto armado-protendido. Todas são extremamente sensíveis a um desequilíbrio entre áreas catódica e anódica, conforme já mostramos. Vamos conhecê-las.

#### 1) Pilha por contato bimetalico

A corrosão bimetalica do aço, também chamada de corrosão de contato ou corrosão galvânica plena ocorre quando interliga-se um aço a outra qualidade de aço ou metal mais nobre no concreto, seja armado ou protendido. Isto porque cada siderúrgica poderá produzir ligas de aço diferenciadas e com potencial de corrosão diferentes para cada ambiente. A presença de água ou soluções nos vazios do concreto interli-

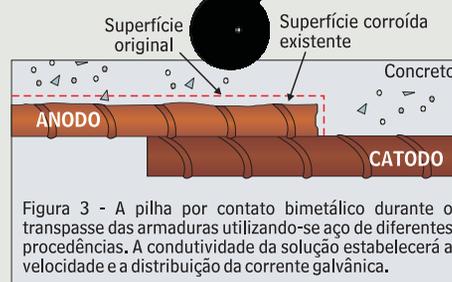


Figura 3 - A pilha por contato bimetalico durante o transpasse das armaduras utilizando-se aço de diferentes procedências. A condutividade da solução estabelecerá a velocidade e a distribuição da corrente galvânica.

ga eletricamente estas ligas, polarizando catodicamente a que tem potencial de corrosão menos negativo, ou seja, reduz sua velocidade de corrosão. A outra, coitada, com potencial de corrosão mais negativo é polarizada anodicamente, naturalmente com maior velocidade de corrosão. Apresentamos abaixo uma série galvânica bastante prática para metais e ligas, com seus potenciais medidos em relação à semi-pilha CPV-4.

#### 2) Pilha por filme da corrosão

Quando o aço chega na obra, observa-se uma película de hidróxidos amarronzados sobre sua superfície. Nada mais é do que o produto da sua corrosão, formando uma barreira protetora contra o ambiente. Se esta barreira é danificada, de modo a expor a superfície do aço, o que acontece durante os trabalhos de movimentação e arrasto das barras no canteiro, assim como durante o corte e dobra pelos armadores, a velocidade da corrosão na área exposta aumenta, exatamente porque o filme de hidróxidos férricos que forma a barreira à ação catódica, embora não seja um metal, atua como, sendo mais nobre (catodo) do que a superfície exposta original (anodo).

### Série galvânica prática

Liga ou metal	Potencial (CPV-4) em mV
Ferrugem sobre o aço	- 200
Ferro fundido	- 200
Aço da construção passivado	- 200
Aço da construção com corrosão	- 350 a - 500
Zinco	- 1.100
Liga de alumínio, zinco e estanho	- 1.100

## Corrosão é isso aí...

A corrosão no concreto armado/protendido literalmente come sua estrutura. A única solução é proteção catódica.

### MALHA GALVÂNICA G

- 100% proteção catódica.
- ampla proteção contra corrosão generalizada.
- interrupção instantânea da corrosão.
- facilmente incorporada à estrutura.
- seus benefícios são facilmente checados.
- garantia superior a 15 anos.



Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-4702  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 13

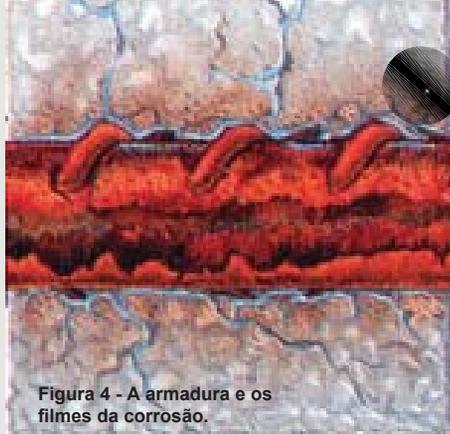


Figura 4 - A armadura e os filmes da corrosão.

**GLOSSÁRIO**

**Oxidante** – substância capaz de sequestrar elétrons, isto é oxidar. O oxidante mais forte da química é o flúor. Outros importantes são o oxigênio, cloro, os permanganatos (sais com radical  $MnO_4^-$ ), os peróxidos (óxidos iônicos com íon negativo  $O_2^{2-}$ ) e etc.

Qualquer região trabalhada a frio no aço torna-o mais anódico. Um detalhe que deve ser observado é que o aumento da concentração daqueles íons ferrosos  $Fe^{++}$  na superfície do anodo, pelo fato de serem solúveis, aumenta gradativamente o potencial da região em 30mV. Logo, havendo água, oxigênio dissolvido etc, ou seja, um concreto de baixa resistividade ter-se-á corrosão naqueles locais, preferencialmente (figura 4).

3) Pilha por aeração desigual

Um caso bastante interessante e que ilustra este tipo de corrosão ocorre em fachadas de edificação, ao longo dos pilares. Neste exemplo é comum encontrar-se regiões de um mesmo pilar revestido com diferentes materiais, garantindo diferentes penetrações (concentrações) de oxigênio. Assim, por exemplo, na figuras 5 e 6 a região das vigas ao longo dos pavimentos é revestida com pastilha, o que garante menor fluxo de oxigênio e água, enquanto que nas demais regiões o concreto encontra-se aparente ou emboçado, com mais fluxo de oxigênio e água. A primeira situação forma um anodo e corrói, já a segunda situação, com mais oxigênio, garante o prêmio de catodo. Um outro tipo de pilha por aeração desigual bastante comum é formado na própria superfície do concreto aparente. Regiões mais compactas e mais bem executadas vão para o sacrifício, ou seja, tornam-se anódicas em relação a regiões mal preparadas, com insuficiente vibração, perda de pasta etc, que tornam-se catódicas.

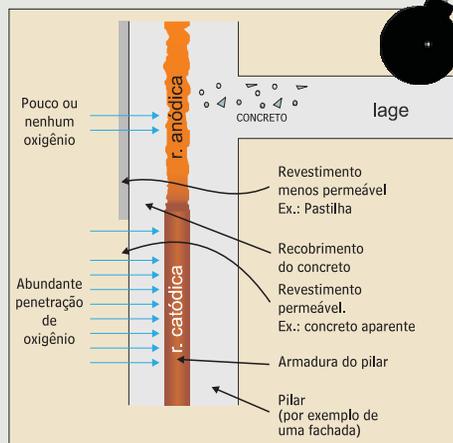


Figura 5 - Um exemplo típico de pilha por aeração desigual provocada pela diferença de concentração de oxigênio que chega à superfície do concreto.

Figura 6 - A viga deste pilar aparentemente está protegida pelo pastilhamento. No entanto, há desenvolvimento de corrosão nas armaduras sob a pastilha. É a pilha de aeração desigual ou pilha de oxigênio.



4) Pilha por pH desigual

Da mesma forma que aços diferentes, imersos em um mesmo concreto promovem pilhas de corrosão, concretos diferentes também desencadeiam pilhas de corrosão em uma mesma armadura. O potencial de uma barra imersa em um concreto A é levemente diferente da-

le sob um concreto B. Efetivamente, o potencial original ou nativo de um aço varia de acordo com o ambiente de contato, seja ele um concreto, argamassa, grout ou pintura. Isto causa uma diferença de potencial suficiente para detonar uma pilha de corrosão, motivada particularmente pelo pH desigual do ambiente. É o caso comuníssimo das “recuperações estruturais” feitas com argamassas pré-fabricadas ou grouts. Ao removermos o resto do concreto de uma área já com deslocamento e exposição das armaduras corroídas estamos delimitando uma área 100% anódica do aço,

**Sais ou agentes secretos iônicos?**

O sal é uma substância formada por íons positivos e íons negativos. Em sentido amplo, pode-se definir um sal como o produto da reação entre um ácido e um hidróxido, sem participação da água. Todos os sais são predominante iônicos e, em água, se hidratam e se dispersam, tornando-se dispersões sólidas de espécies iônicas. Estes sólidos hidratados continuam a ser sais, agora inchados com uma certa quantidade de água aderida. Por exemplo, o íon cálcio em solução está associado a um número não especificado de moléculas d’água, porém, quando se cristaliza junto com o íon sulfato, forma o heptaidro  $CaSO_4 \cdot 7H_2O$ . Estas sete moléculas d’água são parte integrante do

sal cristalino. A força iônica do sal é mais caracterizada pela presença dos íons positivos na ligação com a água. Estas moléculas d’água aderidas exercem uma apreciável pressão de vapor dentro da massa, influenciada pela temperatura ambiente. Quando esta temperatura é suficiente para produzir uma pressão de vapor maior do que a pressão do ar atmosférico, as moléculas d’água abandonam o cristal e a estrutura a que pertence, formando o fenômeno chamado eflorescência. Quando acontece o contrário, ocorre um processo de condensação, podendo levar à dissolução do sal, formando-se uma solução concentrada.



**ÁGUA MINERAL EM EBULIÇÃO**  
Quase todos os sais são iônicos e se dissolvem, ao menos parcialmente, em água. A água mineral contém pequenas quantidades de sais dissolvidos. Eles são normalmente invisíveis, porque estão sob a forma de íons e grupos.

**RESÍDUO APÓS A EBULIÇÃO**  
Quando a água mineral é submetida à ebulição, uma pequena quantidade de resíduo sólido se forma. Ele é composto de sais. A água pura não deixaria resíduo. Os sais da água mineral se originam das rochas através das quais passa a água da chuva.

## O papel do pH

PH significa concentração de íons hidrogênio  $H^+$ . Águas ou soluções fortemente ácidas têm baixo pH. Quando muito alcalinas oferecem alto pH. O pH de uma água ácida torna-se menor à medida que sua concentração iônica aumenta. O pH de uma água fortemente alcalina, muito característica daquela presente nos interstícios do concreto, torna-se maior à medida que sua concentração iônica aumenta. O efeito da acidez ou alcalinidade influencia muito a vida do metal. Por exemplo, o aço é muito resistente à corrosão em ambiente alcalino. Por outro lado, neste mesmo ambiente, o zinco puro não se dá bem, ou seja, é fortemente corroído. Razão pela qual não é indicado como anodo de sacrifício para o concreto. Em seu lugar, para o concreto, dever-se-á usar apenas anodos de sacrifício à base de combinações de metais específicos.

submetida a um ex-concreto com pH alterado, digamos, igual a 10. Ao aplicarmos a técnica convencional de recuperação, seja com concreto projetado, epóxi, com argamassa feita na obra ou pré-

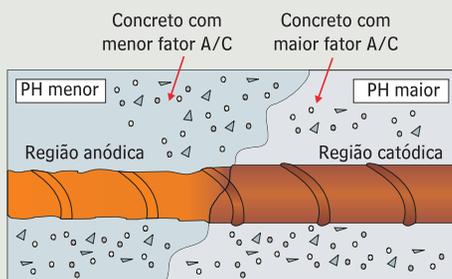


Figura 7 - A simples existência de diferenças de pHs entre regiões do concreto, provoca a formação de pilhas de corrosão por pH desigual.

fabricada, impor-se-á a passivação sobre as armaduras anteriormente anódicas. Quer dizer, tornar-se-á catódica invariavelmente com um pH superior às regiões vizinhas da peça estrutural. O resultado prático desta metodologia antiquada e perniciososa à estrutura, vide a ciclização natural de quase todo serviço de recuperação estrutural, é que o potencial da área “recuperada” ou passivada torna-se brutalmente menos negativo, passando por exemplo de  $-390mV$  para  $-210mV$ . Ocorre que o potencial das regiões vizinhas, anteriormente catódicas, permanecem com seus potenciais solidários à antiga região travestida, ou seja, com valores próximos, algo como  $-320mV$ . Assim, as regiões vizinhas são literalmente sabotadas pela “recuperação” efetuada. Quer dizer, com um potencial banana quente de  $-320mV$  na



Figura 8 - Antiquada maneira de fazer recuperação (reforço) estrutural motivada por corrosão. O aspecto físico ou mecânico do pilar é 100% privilegiado. O aspecto eletroquímico, que originou o problema, é ignorado. O resultado, embora com o aumento da seção, é um processo de corrosão mais robusto.



Figura 9 - Na foto maior, antigas áreas anódicas passivadas desta maneira geram potenciais de corrosão bem menos negativos ou positivos em algumas áreas das barras, onde o acesso do oxigênio e espécies iônicas é restrito. No entanto, potenciais de corrosão mais negativos, se instalam onde o acesso do oxigênio e material iônico é mais intenso. O resultado são milhares de diferenças de potencial que, a curto ou médio prazo, provocam corrosão mais intensa que a anterior, na própria região “tratada”, diminuindo ainda mais a seção das barras. Veja o estado da barra na foto menor deste mesmo pilar; seis anos após.

mão seu crachá informa agora tratar-se de área anódica. A área “recuperada” está com seu crachá piscando área catódica. Moral da estória, provocou-se uma inversão de estados, um declive pelo

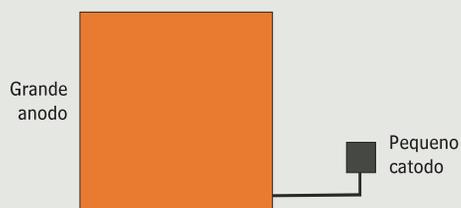


Figura 10 - Situações como esta tem pouca influência na corrente de corrosão ao longo do anodo. A velocidade de corrosão é baixa, porém o comprometimento é grande. Áreas recuperadas pelo mecanismo tradicional com massas e pinturas incorrem nesta situação, ou seja, a pequena área anódica tratada passa a ser um pequeno catodo e o restante da área vizinha se transforma em grande anodo.



Figura 11 - Neste pilar de uma ponte à beira mar foi feita a “recuperação” de pontos localizados com corrosão e a seguir, aplicada uma pintura epóxica com 3mm de espessura de modo a impedir a penetração do oxigênio-água e sais (OAS). Dois anos após, há a formação de pequenos e grandes pites que significam o seccionamento das barras em menor e maior grau. Uma vez instalada a corrosão, não adianta pintar a superfície do concreto. Ela só diminui o acesso do OAS, mas não impede. Pior, redireciona-os para locais específicos. Pequenas pilhas de corrosão antes da pintura sobrevivem. A solução é o mapeamento dos potenciais e a introdução de proteção catódica com anodo de sacrifício.

ative, a emenda da “recuperação” tornou pior que o soneto do resto da estrutura. Literalmente, enxugou-se gelo com toalha quente.

## Fax consulta n° 14



**RECUPERAR**

Para ter mais informações sobre Corrosão.

www.recuperar.com.br

## REFERÊNCIAS

- Joaquim Rodrigues é engenheiro civil, membro de diversos institutos nos EUA, em assuntos de patologia da construção. É editor e diretor da RECUPERAR, além de consultor técnico de diversas empresas.
- ACI Committee 222. Corrosion of Metals in Concrete, ACI 222R-96. Manual of Concrete Practice Part I, American Concrete Institute.
- ASTM G 3. Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing. American Society of Testing and Materials.
- Cook, H.K. and W.J. McCoy. Influence of Chloride in Reinforced Concrete. Chloride Corrosion of Steel in Concrete, ASTM STP 629, D.E. Toniñi and S.W. Dean, Jr., Eds., American Society for Testing Materials.
- Gu, P., J.J. Beaudoin, P.J. Tumidajski, and N.P. Mailvaganam. Electrochemical Incompatibility of Patches in Reinforced Concrete.
- Hime, W. and B. Erlin. Some Chemical and Physical Aspects of Phenomena Associated with Chloride-Induced Corrosion. Corrosion, Concrete, and Chloride, Steel Corrosion in Concrete: Causes and restraints, ACI SP-102, F.W. Gidson, Ed., American Concrete Institute.



Figura 1 - Vazamentos em tanques de produtos tóxicos é coisa séria. Dever-se-á sempre fazer a impermeabilização secundária ou de segurança, com direito a uma bacia, em torno do sistema, de modo a impedir a contaminação do solo por frequentes respingos ou mesmo na hipótese de ruptura do mesmo.



# Como devem ser, segundo o ACI, as estruturas de concreto armado que armazenam materiais perigosos

Carlos Carvalho Rocha



Conheça as novas recomendações do ACI tanto para o dimensionamento de novas estruturas como também para sua recuperação.

O relatório normativo ACI-350-2R do American Concrete Institute (ACI) apresenta uma série de importantes recomendações e diretrizes sobre as estruturas de concreto arma-

do de reservatórios, tanques, canais e tubulações que fazem contato com materiais perigosos. Começa definindo o óbvio, ou seja, que material perigoso poderá ter uma ou

mais das seguintes características: inflamável, corrosivo, reativo ou tóxico. Os resíduos líquidos assim caracterizados poderão ser organizados em três categorias:

Resíduos líquidos de fonte específica	Resíduos líquidos genéricos	Produtos químicos comerciais
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Refugos e despejos de tratamentos e da produção de processos industriais específicos, como por exemplo:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Refino do petróleo</li> <li>○ Tratamento de madeiras</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Líquidos usados em manufaturamentos e processos industriais, como por exemplo:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Solventes</li> <li>○ Desengraxantes</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Benzeno</li> <li>❖ Tolueno</li> <li>❖ Xileno</li> <li>❖ Mercúrio</li> <li>❖ Pesticidas etc.</li> </ul>



Nos locais onde há (1) e (2) fraturas e deslocamentos, fazer uma massa de METACRILATO e areia seca, preenchendo-se as cavidades...



... depois (3) e (4), basta entornar o produto no piso fissurado e espalhar com rodo. Com viscosidade próxima a da água, este adesivo estrutural preenche fissuras da ordem de 0,01mm.

**Figura 2 - A seqüência de fotos mostra como, com a aplicação de METACRILATO, poder-se-á monolitizar um piso comprometido por fissuras e trincas.**



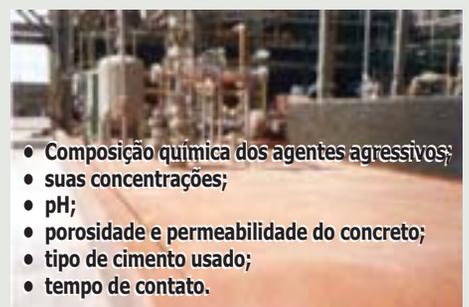
**Figura 3 - Situação típica nas indústrias: um simples piso de concreto, cheio de emendas, quase sempre não armado e uma mureta de alvenaria fazendo às vezes da bacia. Há impermeabilização contra solventes orgânicos?**

É interessante observar que o ACI não abre mão do que chama sistema de impermeabilização secundária, quer dizer, uma proteção sobressalente ou, especialmente, uma impermeabilização de segurança para o caso de vazamentos na impermeabilização primária ou principal dentro de tanques e reservatórios de materiais perigosos para o ser humano e para a natureza. Faz sentido, muito sentido. Aliás será que temos essa preocupação? O movimento orquestrado de nossas de nossas indústrias, de um modo geral, não quer nem saber disso. E o pior, o mau exemplo vem de cima. É aquela estória de efeito manada: quando todos erram juntos, ninguém erra.

Chama a atenção também para o que define de derramamentos ou ruína da impermeabilização, caracterizado pelo vazamento descontrolado de material perigoso no sistema principal de estocagem diretamente ao ambiente, não é muito o nosso caso, no sistema de impermeabilização secundária. Lembra que deverão existir aparatos que sirvam para detectar e monitorar vazamentos na estrutura principal de estocagem. Distingue também que a impermeabilização secundária estará assentada sobre a chamada laje membrana, situada no nível e sobre o terreno, servindo efetivamente para segurar a barra quando acontecem grandes vazamentos.

## Exposição

Ninguém discute que os concretos de cimento portland e de cimento aluminoso são materiais extremamente vulneráveis ao ataque químico provocado por substâncias químicas dissolvidas em soluções que permeiam ou migram por seus vazios, poros ou capilares. A intensidade do ataque dependerá dos seguintes fatores (principais):



Para todo tipo de exposição a produtos químicos, independente dos quesitos acima e começando pela água potável, o concreto armado deverá ter ou ser protegido por revestimentos ou pinturas. E não serve qualquer uma não. Deverá ser especificada para o produto ao qual irá estar em contato. A impermeabilização contra ácidos, amoniacais e sulfatos exige, por exemplo, um epóxi do tipo novolac, obrigatoriamente com 100% de sólidos. Esta performance deverá ser checada em qualquer laboratório espe-

cífico. Como nenhuma tinta é 100% impermeável, torna-se obrigatório o uso de protetores eletroquímicos do tipo pastilhas e telas galvânicas nas armaduras, de modo a impedir a corrosão do aço. Esta medida poderá ser feita durante a fase de construção ou de recuperação da estrutura, inclusive pelo lado externo das paredes.

## Juntas

Aí é que mora o perigo. Estas separações físicas, pré ou pós existentes, costumam ser o calcanhar de Aquiles de toda a estrutura, exatamente pelo fato da pouca atenção dada para sua solução. O ACI expõe tipos de tratamento para as juntas.

- Juntas elásticas pré-moldadas de PVC.
- Borrachas expansivas (a ar comprimido).
- Borrachas hidroexpansivas (B.E.I.J.U.).
- Selantes ou elastômeros.

Todos estes materiais deverão ter resistência química ao tipo de produto a ser estocado na estrutura. As juntas elásticas pré-moldadas, como as famosas "Fugemband", deverão ser muito bem instaladas, já que, invariavelmente, as falhas são motivadas pelo mal posicionamento e pela desatenção durante sua concretagem. Em resumo, dever-se-á evitar qualquer ligação das peças com a estrutura, particularmente nos cruzamentos e nos cantos. A grande quantidade de problemas advindos da instalação deste tipo de junta motivou os fabricantes

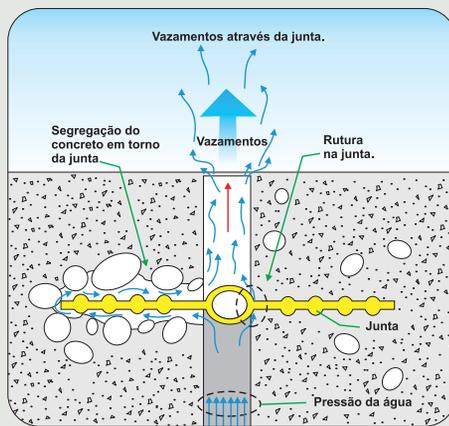


Figura 4 - Situação trivial de uma junta fugemband: pouco cuidado na fixação e durante a concretagem.

a desenvolverem juntas elásticas pré-moldadas de PVC, semelhantes à tradicional, mas com bicos injetores acoplados. Quer dizer, ao primeiro sintoma de vazamento é só injetar o poliuretano hidroativado em forma de espuma (tipo PH FLEX). Nas juntas frias ou de construção, dever-se-á utilizar, obrigatoriamente, as juntas hidroativadas ou hidroexpansivas (do tipo B.E.I.J.U.), atentando-se para o tipo de borracha empregada, pois existem diversos tipos. Assim sendo, dever-se-á adequá-la ao material corrosivo a ser estocado. Qualquer sintoma de fissurinha ou trinca na superfície do concreto, seja laje, viga ou pilar deverá ser prontamente tratada com adesivos de baixíssima viscosidade (do tipo METACRI-LATO), ou seja, algo menor do que 20cps, de modo a garantir penetração no corpo

principal, secundário, terciário e variações internas não visíveis da fissura ou trinca. Em se tratando de obras hidráulicas, injetar os tradicionais epóxis de 300cos (300 vezes a viscosidade da água) não apenas dar resultados satisfatórios. São tantos os problemas que o ACI recomenda não utilizar juntas, tanto na impermeabilização principal quanto na secundária. Para este caso, recomenda a utilização de cimentos com retração compensada (cimendo tipo K), de modo a reduzir ou neutralizar as inevitáveis tensões de retração da matriz cimentícia convencional do cimento portland comum. O cimento tipo K é rastreado pelas normas ASTM C 845 e ACI 223.

## GLOSSÁRIO

**Junta fria** – é um plano de fraqueza no concreto causado pela interrupção ou atraso na operação de lançamento do mesmo, permitindo-se a primeira concretagem iniciar a cura antes do lançamento da segunda, resultando em pouca ou nenhuma aderência entre elas.

**Junta de dilatação** – é uma junta projetada para acomodar movimentos de dilatação e contração da estrutura.

**Junta de construção** – é uma junta entre diferentes materiais ou diferentes estágios da construção, não necessariamente para acomodar movimentos, podendo ter ou não armaduras atravessando a mesma.

**Junta de controle** – é uma junta aberta a serra ou previamente formada em uma estrutura de concreto para regular a locação e a quantidade de trincas, além de separações resultantes da mudança dimensional de diferentes partes de uma estrutura (retração).

## Esgotos, Efluentes Industriais e Produtos Químicos Pesados?

É loucura deixar superfícies de concreto em contato direto com produtos extremamente ofensivos. Somente uma formulação epóxica, de forma garantida, atende a todas as exigências de resistência química e bacteriológica em estações de tratamento de esgotos e indústrias químicas, com garantia, o epóxi 28. Os demais vão para o sacrifício.



Só com  
**EPOXY 28**

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-6862  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 21

Os calafetamentos com selantes ou, mais adequadamente, elastômeros deverão ser quimicamente compatíveis com os produtos tóxicos a serem estocados.

### Revestimentos e tintas de proteção

Essa relação incestuosa entre a contaminação do concreto e a corrosão da bomba sem pávio chamada aço, sua velocidade ou desenvolvimento, infelizmente, é dogma do desconhecimento enrustido. Novamente chamamos a atenção para o gravíssimo erro, comumíssimo entre nós. Acharmos que o concreto é o melhor BBB que existe e que resiste a tudo e a todos. Faz parte de nossa educação, infelizmente, essa idiotice. A verdade é que o concreto é um falso sólido, um produto químico extremamente sensível a contaminações, inclusive com direito a mudança de pH. Sozinho em contato com produtos corrosivos é porta escancarada. É linha direta para a rápida destruição do aço. O ACI recomenda utilizar revestimentos tipo mantas para o contato com líquidos pouco agressivos, e pinturas para o caso de líquidos muito agressivos de modo a livrar a superfície do concreto do contato com o produto a ser estocado. Em qualquer situação dever-se-á, primeiro, fechar os poros ou vazios da superfície do concreto com



Figuras 5 e 6 - Estes dois exemplos mostram como deve ser feita a impermeabilização secundária.

Figura 7 - Repare neste tanque desta indústria. Não há qualquer preocupação em impedir que vazamentos cheguem ao santo solo. Ao contrário, existe até um colchão de brita.

impermeabilizantes cristalizantes (do tipo PENETRON). Para as mantas, o ACI sugere os modelos de PVC (cloreto de polivinila), polietileno (PE) e o PEAD (polietileno

no de alta densidade). Para as tintas, sugere os epóxis novolac, os estervinílicos e a poliuréia. Podendo-se utilizar ainda argamassas feitas com estas resinas.



### POUCAS COISAS SÃO FEITAS PARA DURAR

Os antigos romanos, em sua época, eram os maiores em ciência e tecnologia. Sabiam que, para uma estrutura durar, todos os atributos deveriam ser analisados, não somente

a resistência. Desde a invenção do cimento portland, nada foi feito para compensar a retração causada pela diminuição de volume devido a perda de umidade do concreto. Esta mesma retração causa tensões de tração muito superiores à resistência de tração do concreto, resultando nas fissuras visíveis e invisíveis, além das trincas típicas causadas pela retração de secagem. O CIMENTO PORTLAND K promove uma compensação na massa, devido ao natural processo de retração que sofre. Logo, implica em pouca ou nenhuma água de exudação, menos capilares e maior impermeabilidade, menos juntas e ausência de fissuras e trincas graves, porta de entrada para a corrosão das armaduras.

Concreto com cimento K tem durabilidade assegurada. Peça hoje mesmo informações.

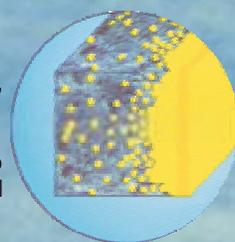
#### CIMENTO K

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-4702  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 22

### Pensando em impermeabilizar...

use **cristalização**  
**PENETRON**

PENETRON é ideal para impermeabilizar paredes e pisos de concreto de reservatórios, ETEs e ETAs, caixas subterrâneas, túneis, peças de fundação e tudo o mais que sua imaginação desejar. Peça hoje mesmo o catálogo e veja a diferença. PENETRON é o impermeabilizante por cristalização mais utilizado nos EUA.



Tele-atendimento (0xx21)2493-4702 - Fax (0xx21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br - Fax consulta nº 23

## Considerações para a utilização dos revestimentos e tintas de proteção

Dever-se-ão executar testes de compatibilidade entre revestimentos/tintas de proteção e os produtos corrosivos a serem estocados, simulando-se as verdadeiras (ou pelo menos as mais próximas) condições de operação da estrutura como pH, temperatura, pressão e outras condições de serviço. O ACI diz que as informações do fornecedor do produto devem ser o ponto de partida e não de chegada, tornando-se necessária a execução de testes, simples e acelerados com, pelo menos, seis meses de antecedência, seguindo-se os paços das normas ASTM:

**C868, C870, D1474, D1973, D2197, D2370, D2485, D3456, D4060, D5402 e D5322,**



Figura 8 - Nesta indústria, um belo exemplo de como deve ser feita a impermeabilização secundária.

## INTERFACES com VAZAMENTOS?



### BEIJU ELASTOMÉRICO NELAS



O BEIJU ELASTOMÉRICO vem em cartucho ou salsicha e é fácil de aplicar. Basta calafetar a interface e pronto. O contato com a água expande o BEIJU ELASTOMÉRICO mais de 300%, formando uma borracha totalmente estanque, impermeabilizando juntas frias e de concretagens, trincas em estruturas hidráulicas, contatos de tubulações etc. BEIJU ELASTOMÉRICO adere em todo tipo de superfície e tem previsão de vida superior à do concreto.

**BEIJU**  
Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-4702  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 24

## Iliescu Recuperação e Reforço de Estruturas

Eng<sup>o</sup> Marcelo Iliescu  
Consultor

- Diagnósticos e Laudos Técnicos de RRE.
- Ensaios de íon Cloreto e de Potenciais.
- Tratamento da Corrosão com Proteção Catódica com Anodos de Sacrifício.
- Reforço com Fibra de Carbono e Projetos Estruturais de RRE.
- Concreto de Alto Desempenho
- Impermeabilização com Injeção de Poliuretano e Resina Acrílica.

Atendemos em todos os estados  
www.iliescu.com.br • iliescu@ig.com.br  
(21)9165.5373 / 2570.2406

# Busca-furos



**Hand Compact.**  
O menor busca-furos que existe. E o mais barato.



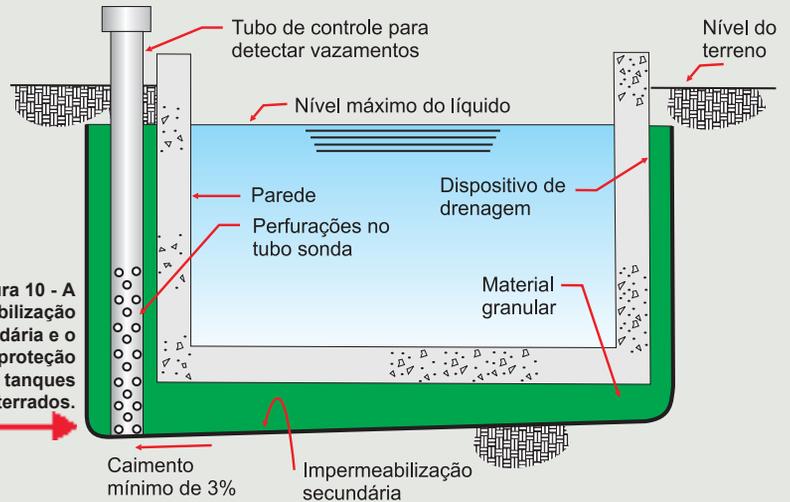
Busca-furos de última geração, de 0 a 15kV e 0 a 30kV.

## BUSCA-FUROS

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-4702  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 25



**Figura 9 - A proteção interna de tubulações de concreto armado-protendido torna-se obrigatória. Água ou qualquer outro fluido desencadeia corrosão.**



**Figura 10 - A impermeabilização secundária e o sistema de proteção exigido em tanques enterrados.**

específicas para materiais considerados corrosivos ou, propriamente, perigosos. Dever-se-á considerar os efeitos térmicos entre o revestimento/pintura e o concreto armado, analisando-se seus coeficientes de dilatação térmica. Grandes diferenças implicam em rutura nos pontos de fixação e ancoragem do sistema de proteção, assim como na integridade da adesão entre a tinta e o concreto. Se o revestimento/pintura ficar exposto à luz do sol, dever-se-á considerar sua resistência à luz ultra-violeta. No caso da pintura é fundamental o teste com o busca-furos. Todos os testes feitos na impermeabilização principal deverá ser feita na impermeabilização secundária do tan-

que, reservatório ou outro sistema de estocagem.

### O sistema de detecção de vazamentos

O ACI recomenda seu uso em qualquer estrutura que contenha ou conduza materiais perigosos, já que impedem tragédias ambientais e suas conseqüências. Existem diversos tipos de aparelhos detectores de vazamentos. Os mais simples dependem da análise visível do operador, assim como do fluxo do vazamento. Os mais sofisticados variam de detectores de gases a sonda ligadas a dispositivos eletrônicos.

**Fax consulta nº 26**

**RECUPERAR**  
CONSULTA

Para ter mais informações sobre Impermeabilização e Proteção Ambiental.

[www.recuperar.com.br](http://www.recuperar.com.br)

**REFERÊNCIAS**

- Carlos Carvalho Rocha é engenheiro civil, especialista em serviços de recuperação.
- ACI-350-2R. Concrete Structures for Containment of Hazardous Materials.

## À prova de enganoso...

**A maioria dos gases tóxicos são cancerígenos e promovem inúmeras outras doenças. Seu pulmão é um órgão respiratório muito sensível e não foi feito para absorver estas substâncias. Use tecnologia. Use detectores de gases GASTECH. Cabem na palma de sua mão. Nossa linha dispõe de detectores para um ou vários gases, portáteis ou fixos, que podem ser acoplados ao seu computador. Não se exponha mais.**

**Gasdetect**  
SYSTEMS

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-6862  
fax (0XX21) 2493-5553  
[produtos@recuperar.com.br](mailto:produtos@recuperar.com.br)  
Fax consulta nº 27