

Na seqüência de fotos acima verifica-se perfeitamente o avanço do estado de corrosão das armaduras no fundo de uma laje.

Joaquim Rodrigues

A banalização da recuperação estrutural

A aplicação de qualquer material nos trabalhos de recuperação estrutural devido a corrosão conduz a estrutura a uma situação de incompatibilidade, com maior corrosão. Bom para as empresas que vendem produtos. Ruim para as estruturas.

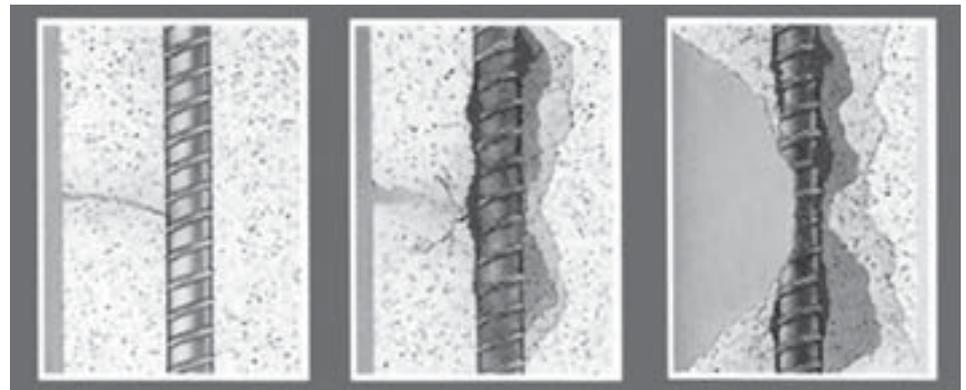
Infelizmente, entre nós, corrosão no concreto armado é matéria abrasiva, ainda em gestação. Muito embora todos os detalhes do mecanismo de iniciação e propagação deste fenômeno, inclusive seu estado de ruína, sejam bem conhecidos e até anteci-

pados, com bastante precisão, com base apenas nas condições de exposição da abertura.

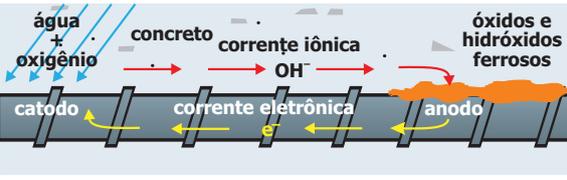
A introdução de novas tecnologias, que bem explicam o comprometimento ainda maior do estado de corrosão, uma vez recu-

perando-se com sistemas convencionais à base de pinturas nas armaduras ou com a aplicação de massinhas milagrosas ou mesmo só com concreto, se faz em ritmo de uma Ferrari em sexta marcha. Na mesma marcha, introduzem-se novas soluções que vão de

O mercado ainda aceita tintas para o tratamento da corrosão no concreto armado. Sem qualquer efeito positivo, promovem e facilitam a introdução de mais corrosão na estrutura.



O processo de corrosão nas armaduras.



Repare que quem alimenta a pilha de corrosão é o catodo, à esquerda, através da introdução de oxigênio e umidade. Uma vez “tratando-se” o anodo com pinturas ou massinhas passará a ser, agora, um catodo que, recebendo oxigênio e umidade, promoverá a surgência de anodos nas regiões vizinhas, onde eram catodos. A desastrosa inversão do processo de corrosão.

manha velocidade de informações. Esta confusão relaciona-se à falta de evidências que comprovem a efetividade dos “tratamentos”, mas que, infelizmente, dependem da cesta básica da eletroquímica da corrosão. Com a edição da RECUPERAR nº 42, recebemos muitos fax consultas e toneladas de e-mails que resumem um estado de inquietação lógico, próprio

compreensão dos importantes tópicos lançados na edição 42, fundamental aos responsáveis pelas verdadeiras empresas de recuperação estrutural.

Informações preliminares

Carbonatação e íons cloretos são os dois principais mecanismos modificadores daquele estado passivo ou protegido em que se



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



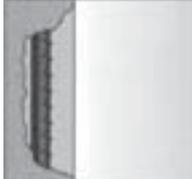
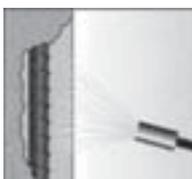
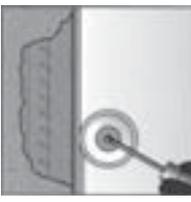
Neste pilar, o que é muito comum, “trata-se” a corrosão encamisando-o, na vã ilusão de que “abafará” o processo.

encontro às verdadeiras causas da corrosão. Tudo com perfeita compatibilidade eletroquímica. Muito bem. No entanto, ainda há muita dúvida nas arquibancadas da indústria da recuperação estrutural. Muita gente sem entender o fenômeno, com ta-

de uma transfusão forçada, o que realmente não desejamos. Por esta razão, estaremos apresentando nesta matéria e na da página 24, conceitos eletroquímicos pertinentes à corrosão no concreto armado e que, efetivamente, darão a luz necessária à

encontram as armaduras do concreto. Muito embora a corrosão possa se desenvolver independentemente destes dois malfeitores. O processo de corrosão, devido a carbonatação, promove a formação de produtos de corrosão ao longo das armaduras, de mane-

Os mandamentos da “RECUPERAÇÃO”

 <p>1 - Remoção do concreto danificado pela corrosão, expondo as armaduras corroídas.</p>		 <p>4 - Argamassa de reparo. Aqui há uma rica variedade de massas que notabilizam-se por altíssimas resistências à compressão, invariavelmente duas a três vezes superior ao do concreto original. Em outras palavras, sua relação tensão-deformação (módulo de elasticidade) é totalmente diferente da base, dando como resultado uma transmissão de carga mais intensa e sujeitando-a a um deslocamento prematuro. Bem mais impermeável que o concreto da base, possui uma rede de vazios bem inferior. O resultado é um comportamento dimensional (coeficiente de dilatação térmica-relaxação-fluência) anômalo, não tão importante para espessuras correspondentes ao recobrimento, mas extremamente prejudicial para espessuras mais profundas, onde o volume de cargas é mais intenso. Na verdade, o que se deseja é uma boa aderência, uma massa similar à original, uma cura adequada (retração por secagem) e a efetiva neutralização da corrosão através de um processo eletroquímico. Tudo a mais influencia o comportamento dimensional da peça estrutural. Veja mais detalhes na RECUPERAR nº 25.</p>	
 <p>2 - Remoção das carepas de corrosão.</p>			
 <p>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.</p>		 <p>5 - Cura química.</p>	 <p>6 - Pintura de proteção.</p>

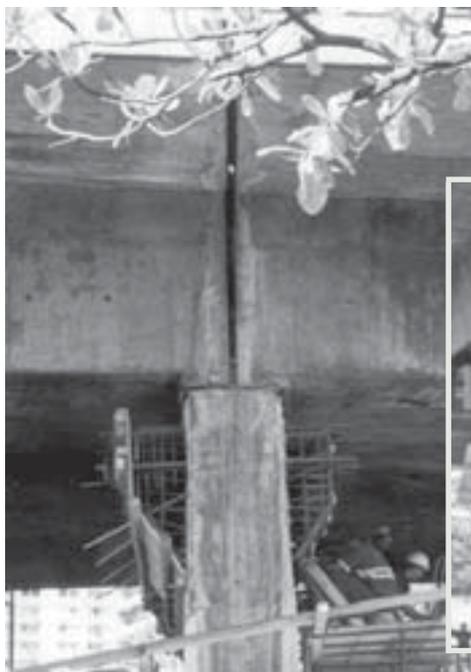
Só existe uma maneira de interromper a REATIVIDADE ÁLCALI-SÍLICA...

... Para estruturas existentes
RENEW®
 LITHIUM FÓRMULA

... Para estruturas a serem executadas
LIFETIME®
 LITHIUM FÓRMULA



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



Repare nesta seqüência de fotos que um reforço estrutural está em marcha. O motivo? Corrosão na zona de fregagem 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.

ra generalizada e uniforme. A presença dos íons cloretos, ao contrário, iniciam processos localizados de corrosão nas armaduras, tipicamente na forma de pites. A presença destes íons promove a aceleração do processo de rompimento da camada protetora de óxidos passivos, fazendo com que surjam campos minados de pilhas de corrosão, provocando uma desconjuntada surgência de potenciais cada vez mais negativos. Esta mudança de potenciais, tipicamente de passivos para ativos, significa o início de um processo irreversível de corrosão.

Uma radiografia da pilha de corrosão evidencia a presença de uma região típica chamada anódica, onde o ferro forma depósitos de óxidos e hidróxidos, e regiões vizinhas chamadas catódicas que, literalmente, ali-

mentam a região anterior com um caldinho gasoso de água e oxigênio, suficiente para manter uma equilibrada queda de braço entre as duas regiões. O braço mais fraco, surpreendentemente, o que fornece o caldinho. É o que dá as cartas para as condições de funcionamento da pilha, ou seja, a velocidade com que ocorre a corrosão. Finalmente, corrosão no concreto armado significa surgência de voltagem e amperagem na estrutura, perfeitamente detectáveis.

A corrosão em gráficos

A discussão para compreensão do processo de corrosão é melhor apresentada na forma de gráficos, em que compara-se o potencial (os volts ali presentes) e a conse-

GLOSSÁRIO

Ação galvânica - Termo usado quando temos corrosão causada por metais diferentes em contato e com umidade presente.

Corrosão galvânica - Corrosão produzida por ação eletrolítica entre metais diferentes (o aço da construção é recheado de materiais diferentes) em presença de um eletrólito. Corrosão associada com a corrente da pilha galvânica. Processo em que um metal é consumido por outro, através da corrente elétrica induzida pela reação química entre os dois metais.

Relaxação - Perda de tensão que ocorre no concreto submetido à deformação constante. Muito característico no concreto protendido, com a perda de protensão.

Fluência - Deformação permanente do concreto sob carga suficientemente alta e contínua, com o passar do tempo. Resistência de fluência, Recuperação da fluência, Limite de fluência e Teste de fluência são termos pertinentes ao fenômeno.

Série galvânica - Lista de metais e ligas arranjada de acordo com seus potenciais, relativos em um determinado ambiente.

Pilha galvânica - Pilha eletroquímica capaz de produzir energia por ação eletroquímica.

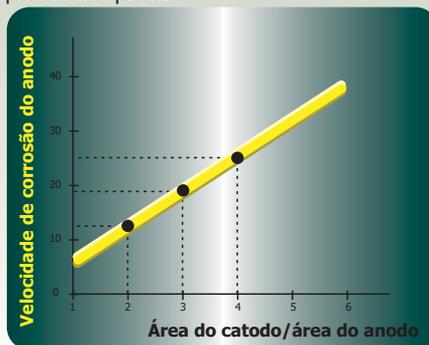
A força galvânica e o efeito das áreas

A característica mais importante em uma pilha galvânica, propositadamente criada ou não, é a intensidade de sua ação. A quantidade de corrente ou, mais especificamente, a densidade de corrente (corrente dividida pela área da armadura) é que determina esta intensidade.

O efeito das áreas é fator de extrema importância na corrosão galvânica, ou seja, a relação entre as áreas catódica e anódica. À medida que a relação entre as áreas catódica/anódica aumenta, ou seja a área do catodo aumenta em relação à do anodo, a velocidade de corrosão da região anódica se intensifica de forma acelerada. Haverá muita corrente em pouca área, intensificando a corrosão.

Um exemplo prático para explicar esta importantíssima propriedade recai na errada e antiga estratégia de se pintar as armaduras com epóxi. Na vida real, dificilmente conse-

gue-se cobrir com epóxi uma região anódica corroída, de modo a impedir que ali ocorra qualquer tipo de reação. Desta forma, ficam buracos ou furos na superfície da pintura que "reveste" a armadura, estabelecendo-se aí pequenos anodos, suficientes para dar um sacode de corrosão na armadura com a força da implosão das torres gêmeas, originando profundos pites.

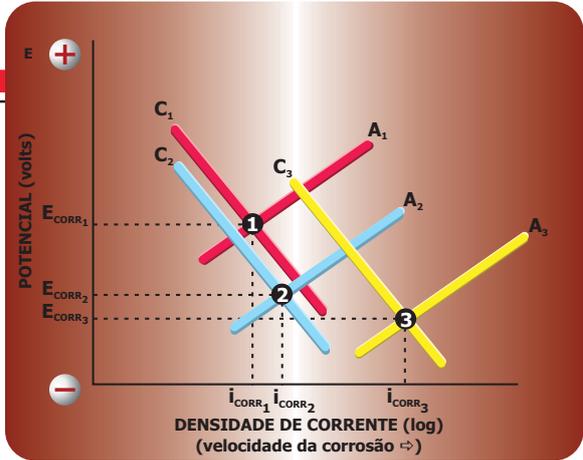
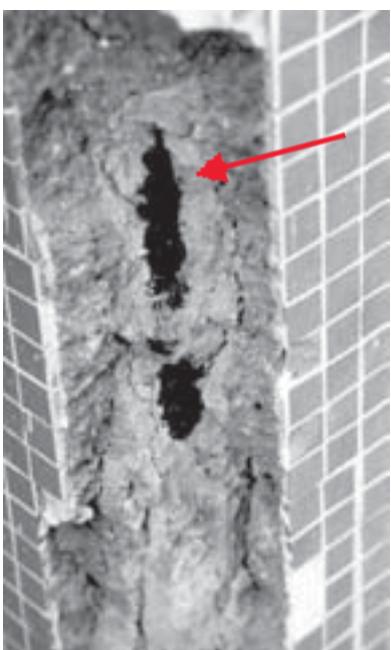


CONCRETESSE
TECNOLOGIA EM MATERIAIS

- Controle Tecnológico de Materiais
- Ensaios de Componentes em Pórtico
- Recuperação de Estruturas
- Consultoria e Perícias
- Furos e Extração de Corpos de Prova

Tel.: (11) 4438-4132
Fax: (11) 4436-7951

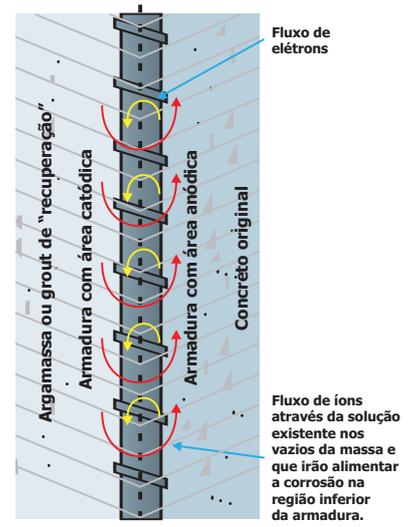
Evolução de um processo de corrosão. Até o ponto 2, a velocidade era pequena. Do ponto 2 para o 3 ela aumenta muito. Repare que, paralelamente, os potenciais ficam mais negativos.



cos que relacionam os potenciais existentes (ou volts) com a velocidade da corrosão ou densidade da corrente (corrente ÷ área da armadura) pode ser obtida facilmente em laboratório. Resumindo: as curvas anódica e catódica de polarização dos dois braços são a chave para a compreensão da velocidade de corrosão nas armaduras do concreto. Existem diversas normas ASTM que podem ser consultadas para obter dicas das terminologias e procedimentos para obter as curvas de polarização. Algumas delas são a ASTM G102, G59, G3 e G15. Por exemplo, no gráfico ao lado, a sucessão de pontos pretos (potencial-corrente) obtidos posicionam para uma evolução na velocidade da corrosão. Especificamente, neste exemplo, a reta que define o comportamento do braço anódico A_2 apresenta uma velocidade

Nesta foto está claro o tratamento feito há cerca de 6 anos atrás, com "pintura inibidora de corrosão em base polimérica".

qüente corrente elétrica circulante, tanto no braço catódico quanto no anódico. Ou seja, à medida que a queda de braço se desenvolve, mede-se o potencial e a corrente de cada braço, estabelecendo-se uma curva (ou reta) para cada uma delas. A partir do momento em que começa a queda de braço, o potencial da região (reta) anódica tende a aumentar e o potencial da região (reta) catódica tende a diminuir. Até que ambos atinjam em valor comum, na interseção, com potencial (E_{CORR}) e a densidade da corrente (I_{CORR}) de corrosão comuns ou do par. Repare que para ambas as reações, a corrente aumenta. É comum dizer então que aquela região anódica está sofrendo uma polarização anódica e a região catódica está sofrendo uma polarização catódica. A posição dos pontos de interseção das retas é uma indicação da velocidade com que se desenvolve a queda de braço entre os dois atores, ou seja, a corrosão como um todo naquela região da armadura. O gráfico acima evidencia bem este desenvolvimento. A posição de um par de curvas (ou retas) anodo/catodo, no gráfico, anuncia a velocidade da reação. Logo, poderemos ter com a continuidade do processo de corrosão, diferentes velocidades. A obtenção de gráfi-

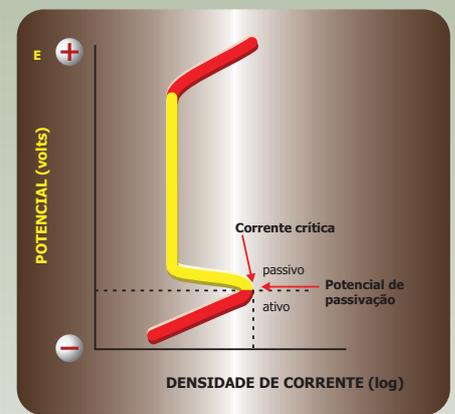


Uma típica forma de "recuperação" estrutural onde "trata-se" apenas a metade da superfície da armadura corroída. O processo de corrosão é contínuo e inexorável. Está a caminho o total comprometimento das armaduras. A linha tracejada é o limite da "recuperação".

de corrosão superior a obtida com a reta A_1 . No entanto, muita atenção deverá ser dada à posição da reta catódica C_2 , pois tende para a esquerda, freando o processo. Muito embora sua reta anódica evolua

As pilhas de corrosão

As pilhas eletroquímicas estão diretamente ligadas à corrosão do concreto armado/protendido. São formadas por um anodo (onde acontece a corrosão), por um catodo (onde ocorrem as reações de redução que alimentam a corrosão), um eletrólito ou solução que contenha íons e que fluam do catodo para o anodo e, finalmente, a ligação metálica, ou seja o próprio aço, por onde fluem os elétrons do anodo para o catodo. A pilha é caracterizada por uma queda de potencial (E) entre seus polos, dada por $E_{pilha} = P_{catodo} - P_{anodo}$. O aço de construção, após o início da corrosão, naturalmente tende a tornar-se passivo, devido a formação de uma película fina e aderente de óxido ou outra substância insolúvel na sua superfície. Este estado de passivação faz com que esta região ainda funcione como área catódica. No entanto, a presença de íons indesejáveis na massa do concreto, principalmente os cloretos, destroem esta passividade ou simplesmente impedem sua formação, não de uma forma generalizada e sim em pontos localizados, formando-se, então, pequenos pontos mais ativos na superfície do aço (anodo) circundados por grandes áreas ainda passivadas (catodos), provocando diferenças de potenciais que geram correntes de corrosão. Este comportamento ativo-passivo é bem característico do aço da construção, pela formação de pilhas ativas-passivas, como no gráfico ao lado, onde se observa um início com o desenvolvimento acelerado da corrosão até um ponto onde ocorre a passivação do processo (potencial de passivação). A partir daí há uma diminuição até a total paralização do processo (trecho inclinado e vertical amarelo). Lá em cima, após o rompimento da camada pas-



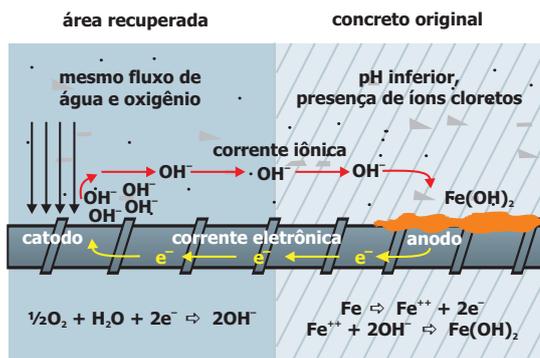
Curva característica do aço de construção. Repare que a velocidade da corrosão, diretamente proporcional a corrente que circula no aço, cresce, fica constante (ou seja é a passivação do aço) e depois volta a crescer novamente.

sivante, inicia-se novamente a corrosão. Outros casos de corrosão nas armaduras, que não dependem propriamente do aço ou da ação galvânica e sim do ambiente chamado concreto, ocorrem com frequência. Por exemplo, a solução existente nos vazios do concreto frequentemente apresenta concentrações diferentes ou teores de oxigênio dissolvidos diferentes, provocando diferenças de potencial suficientes para detonar processos de corrosão nas armaduras. O primeiro caso é definido como pilha de concentração iônica e o segundo, pilhas de oxigenação diferencial.

para a direita. Desta forma, poderemos ter uma velocidade não tão grande quanto parece, embora a velocidade da reação da corrosão (ponto preto 2 de interseção) evidencie aumento. Muita importância, portanto, deverá ser dada à reação catódica, pois é fator limitante ou acelerante no processo de corrosão do concreto armado, devido, principalmente, à disponibilidade do oxigênio dissolvido. Por sua vez, C_3 , impõem uma aceleração na processo de corrosão. As retas A, para o aço da construção, com a continuidade do processo de corrosão, têm o comportamento ativo-passivo demonstrado no box da página anterior, isto é, começam retas e fazem uma curvinha, demonstrando interesse em se passivar.

Com a recuperação tradicional os problemas aumentam.

O que vemos na prática da recuperação estrutural convencional de quarenta anos

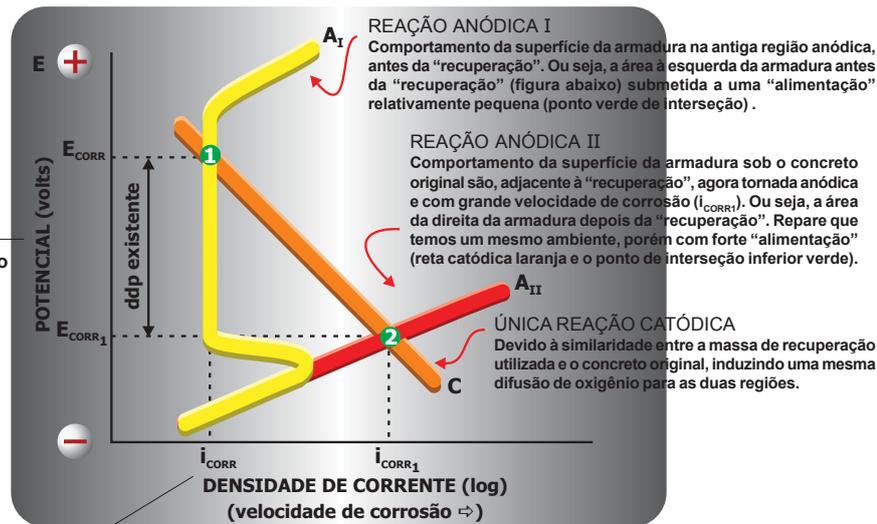


Pilha de corrosão proveniente de uma “recuperação”. De forma não intencional, criou-se uma diferença de potencial entre o concreto original e a região “recuperada”, suficiente para acelerar a corrosão de diminutas pilhas de corrosão anteriormente existentes no lado “bom”. Glórias para a corrosão!

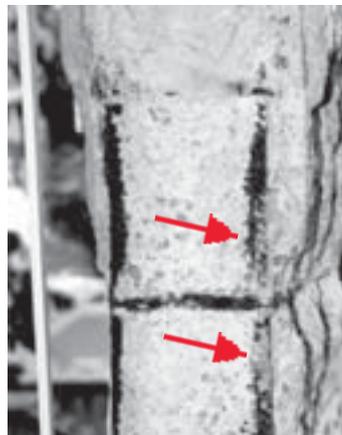
para cá, é a quantificação dos problemas de corrosão apenas com base nas regiões sintomáticas visíveis, como trincas e deslocamentos. Isso é falho porque sempre há pilhas de corrosão incipientes ao longo do resto das armaduras que logo provocarão novos deslocamentos. O uso da semi-pilha e da medição da resistividade torna-se obrigatório, senão vital, ao responsável técnico pela recuperação, pois funciona como uma radiografia da situação da estrutura frente à corrosão.

A outra metade da laranja podre é a forma como executamos nossas recuperações. Impõe-se-lhes apenas um tratamento físico, seja aplicando uma barreira com epóxi ou, simplesmente, uma argamassa polimérica. Ignora-se o aspecto químico ou eletroquímico

Diferença de potencial criada. Repare que o potencial evolui para valores mais negativos.



O aumento da velocidade da corrosão com a “recuperação” executada.

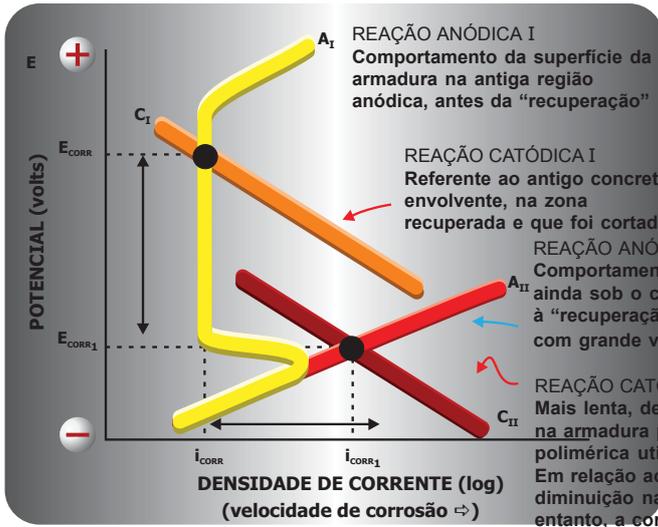


Nota-se perfeitamente o “tratamento” imposto às armaduras com “pintura inibidora da corrosão em base polimérica, dois componentes”.

de fundamental importância. O tratamento que sempre se propõe a fazer, com aquela sinistra garantia de cinco anos, implica no corte do concreto em torno da armadura corroída, expondo-a até a “região onde não há mais sinais de corrosão em sua superfície”. Após a limpeza da armadura, aplicam-se argamassas pré-fabricadas “específicas contra a corrosão”, pintando primeiro a superfície das armaduras com epóxi “rico em zinco”. Invariavelmente este castelo de areia na beira do mar começa a se desfazer num prazo de dois a cinco anos. O corpo a corpo com o ambiente é que dirá exatamente o tempo de validade do serviço, pelo fato das armaduras pertinentes e em torno da “recuperação” começarem a corroer. Esta situação é perfeitamente detectável a curto prazo, apenas com uma semi-pilha, que acusará potenciais bem negativos nesta região. Este fenômeno, vulgo “anel anódico”, é bastante conhecido, mas pouco compreendido pelos técnicos que fazem recuperação estrutural.

A lógica deste lugar comum é que quando se “trata” daquela maneira uma região corroída, na verdade se remove da estrutura uma área anódica em estado terminal. Ora, esta região anódica tinha pulsação, tinha “vida”, porque recebia “alimentos” das regiões adjacentes catódicas. Enquanto esta transfusão incentivada ocorria, as áreas adjacentes estavam protegidas porque simplesmente eram catodos. Para facilitar ainda mais a compreensão de toda esta desordem eletroquímica pode-se imaginar que o sistema imunológico do concreto armado tivesse sido contaminado pelo vírus dos íons cloretos, que aceleram qualquer processo de corrosão. A “recuperação” removeu a região anódica contaminada com cloretos e, em seu lugar, aplicou uma massa nova, linda e maravilhosa, repleta de oxigênio e água. Um perfeito catodo, ideal fornecedor de “quentinhas” para as áreas adjacentes, anteriormente catódicas e que agora tornar-se-ão anódicas porque estão bem ou mal contaminadas. Certamente apresentando um pH inferior à massa da “recuperação” e com “alimentação” garantida. Ou seja, um ponto cheio de hidroxilas, matéria prima para a formação dos

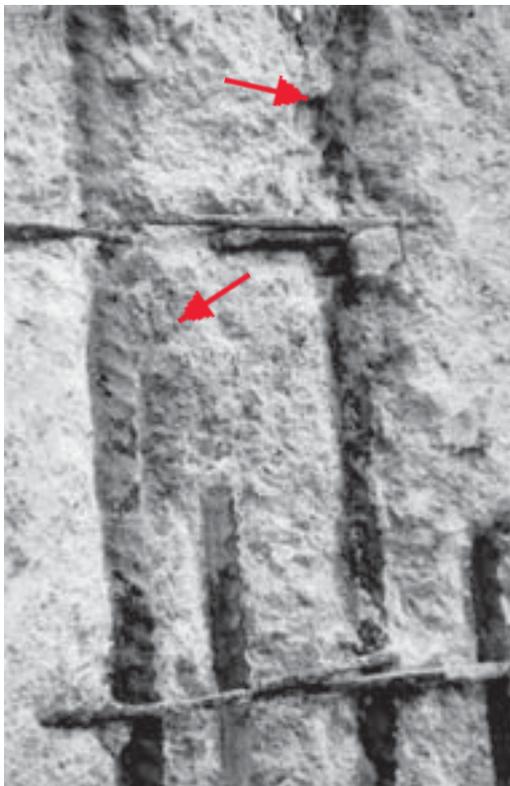
corrosão.
esta gravidez corrosiva sem
desejo tingiu dois predado-
transparentes à nossa percep-
triz originada pela que-
re armadura pertinente
ração” e à do concreto
el do relevo entre as
uras.
lixo, veri-
ança de po-



Repare que neste gráfico, devido a utilização de uma massa polimérica totalmente diferente do concreto original, estabeleceu-se um novo ambiente totalmente estranho, impondo uma “alimentação” diferente (reta catódica marrom).

feita com material mais poroso ou, em outras palavras, “alimentação” escassa para o desenvolvimento da reação anódica. É o que se vê neste outro gráfico. É importante notar, uma vez mais, que o potencial de corrosão E_{CORR} e a velocidade da corrosão i_{CORR} da armadura “recuperada” ou da armadura ainda intacta (envolta no concreto original) é, por definição, a interseção das curvas anódica e catódica representadas no gráfico. Como cada situação oferece uma curva anódica e catódica, ou seja, a armadura sob a “recuperação” tem um par de curvas anódica/catódica assim como a armadura sob o concreto original tem o seu par, ao utilizarmos uma estratégia de “recuperação” em que modifica-se o acesso de oxigênio à armadura, isto em relação ao concreto original, obrigatoriamente teremos não três curvas como no gráfico anterior e sim quatro (gráfico ao lado).

Finalizando, muita atenção deverá ser dada ao tratamento nas armaduras em processo de corrosão. A aceitação da corrosão como um estado eletroquímico, naturalmente, obriga o levantamento dos potenciais e correntes existentes e a imposição de uma solução também eletroquímica.



Uma típica “recuperação” estrutural no fundo de uma marquise. Perigo a vista.



“Recuperação” com pintura inibidora de corrosão.

usar argamassa ou concreto de recuperação similar ao concreto original da peça estrutural, ou seja, com a mesma resistividade.

A mudança da curva anódica A_I , que refletia a situação da antiga região da armadura corroída e agora “tratada”, para a curva A_{II} , foi motivada pela incompatibilidade eletroquímica criada pelo corpo a corpo entre os dois ambientes agora existentes. A região “recuperada” apresenta alto pH em relação ao concreto original, seguramente inferior.

A similaridade entre as massas de recuperação e o concreto original impõem ambientes idênticos de transporte iônico. No entanto, esta nova masa, inicialmente rica em oxigênio, promove uma aceleração da corrosão. O resultado é o ponto de in- mais adiante, induzindo grande ve-

tencial entre a superfície da armadura envolvida pela “recuperação” e a da armadura adjacente com concreto original, que apresentava pilhas de potencial (antiga região anódica da armadura amarela) virou casaca e tornou-se catódica, envolvida ainda pelo concreto original em “perfeito estado”, tornando-se um bom anodo.

A presença de apenas uma curva anódica é justificado pela “estratégia

utilizar um material de recuperação diferente do concreto original, induz o fluxo de oxigênio para as armaduras, tem-se uma situação mais lenta que a anterior

Fax consulta n° 04

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. Tonini 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 Chlorides, Steel Corrosion in Concrete: Causes and Restraints, ACI SP-102, F.W. Gidson, Ed., American Concrete Institute.



ANÁLISE



Temperatura ambiente desta ordem impõe condições térmicas bem superiores nas estruturas.

Módulo de elasticidade do concreto	= $2,8 \times 10^4 \text{ MPa}$
Comprimento da peça de concreto	= 30,5m
Mudança de temperatura	= 38°C
Coefficiente térmico	= $9 \times 10^{-6} \text{ mm/mm/}^\circ\text{C}$
Unidade de deformação	= $342 \times 10^{-6} = 38 \times 9 \times 10^{-6}$
Unidade de tensão	= 14MPa = elasticidade x unidade de deformação
Tensão	= 140.500MPa

Se houver limitações às mudanças de volume que ocorrem na estrutura, haverá desenvolvimento de tensões que afetarão sua região mais fraca ou ligação com outras estruturas. Surgirão trincas de tração, cisalhamento, além de empenamentos.



Fratura cizalhante e um grande pilar devido a mudanças no volume da estrutura. Situação perfeitamente prevista.



Instalação de fibra ótica em uma peça de concreto armado para análise. Os resultados estão ao lado.

Graças a alta precisão de sensores de fibra ótica, torna-se possível monitorar o comportamento do concreto armado durante sua fase de endurecimento e cura final. O conhecimento das grandes e prematuras deformações a que fica exposto, permite identificar o inerente nível de tensões existentes, particularmente durante o seu primeiro dia de vida. Estas tensões, na maioria dos casos, são responsáveis pela surgência de fissuras e trincas que se desenvolverão durante a vida da estrutura. A instalação de sensores de fibra ótica permite o monitoramento da importante fase de expansão térmica, da fase de resfriamento e das fases de retração.

Carlos Carvalho Rocha

O concreto muda de volume.

Sua monumental rede de vazios funciona como o pantanal. Entenda este funcionamento antes que ocorram problemas.

O concreto, de um modo geral, perde volume devido a intensa retração que ocorre nos primeiros 3 meses, algo em torno de 75%. A adição de água ao cimento portland promove a surgência da pasta que, rapidamente, transforma-se em gel. A adição subsequen-

te de areia e pedra faz entrar em cena o concreto, cujo ambiente é caracterizado pela pasta que, já de início, promove uma primeira mudança de volume.

Quimicamente falando, podemos dizer que este ato inicial é característico das primeiras horas após a dosagem do concreto em que a reação do sulfato de cálcio com o aluminato de cálcio, para formar o sulfoaluminato de cálcio (etringita), resulta num aumento do volume da massa. Devido a este conhecido processo de expansão, torna-se necessário dimensionar juntas de isolamento nos locais onde possa haver restrições ou limitações a este movimento, principal-

mente junto a pilares esbeltos, paredes e até mesmo sapatas. Uma vez o concreto endurecido, estas juntas de isolamento transformam-se em juntas de controle para acomodar outros tipos de mudanças de volume.

A retração plástica

Durante a transformação da fase plástica do concreto para a fase endurecida, ocorre primeiro o aumento de volume (veja gráfico acima) seguido de uma diminuição, à medida que o concreto perde sua água, seja pela própria absorção dos seus componentes

GLOSSÁRIO

Retração - Diminuição de volume causada por mudanças químicas e/ou na secagem do concreto, em função direta do tempo pós concretagem.

Fluência (creep) - Imagine uma peça estrutural submetida a carregamento constante. É o aumento contínuo de sua deformação, em relação ao tempo. Deformação lenta sob tensão. A fluência primária é quando a velocidade da deformação é decrescente. A fluência secundária é com velocidade constante. A terciária é com velocidade acelerada.



Situação inicial.

Situação descontrolada.

Situação controlada.

GLOSSÁRIO

Mudança de volume - Aumento ou diminuição no volume (comprimento, largura e espessura).

Deformação - Mudança na dimensão ou forma de uma peça, devido à tração, retração por secagem e mudanças de temperatura.

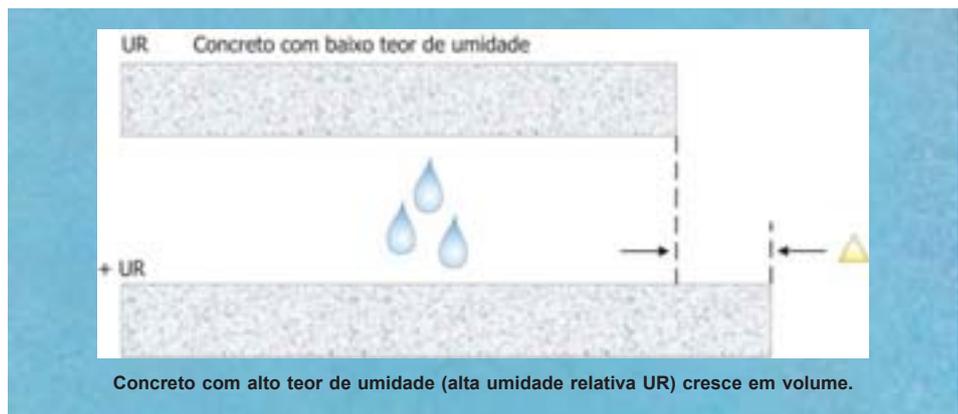
Restrição - Limitação ao livre movimento de uma peça de concreto. Restrição pode ser interna ou externa, podendo atuar em uma ou mais direções.

Junta de construção - Muito comum, é uma junta localizada em determinada região da estrutura como consequência da interrupção da concretagem.

Junta de dilatação - Junta bem definida ou pré-determinada que atua regulando a localização e o grau de fissuramento ou trincas, além da separação resultante das mudanças dimensionais de diferentes peças de uma estrutura.

A secagem das quatro laterais das vigas foi feita de maneira igual, apresentando uma retração linear bem uniforme. E para o caso

vapor que vem do solo. À medida que o concreto seca, sua superfície superior sente bem mais rápido este efeito. Lógico que



seja pela evaporação da água. Esta segunda ação é bastante comum nas concretagens onde há baixa umidade relativa, vento e sol intenso. Acontecendo ainda a surgência de trincas por retração plástica, da ordem de 1 a 2 milímetros, uma hora após o início da concretagem. De um modo geral, dever-se-á utilizar METACRILATO para monolitizar estas trincas e fissuras. O trabalho de prevenção pode ser feito jateando-se uma névoa com um pequeno hidrojato, apontando-se a pistola sempre para o alto, de modo a impedir a secagem prematura.

de um grande piso de concreto, como se comportará? Vamos considerar um piso industrial de concreto armado executado sobre uma lona preta de polietileno bem resistente, de modo a servir de barreira ao

perdendo volume bem rapidamente também. Ou seja, sua superfície superior retrai muito enquanto a inferior pouco, ou quase nada. As extremidades da laje retraem bem rápido e o centro muito pouco. As conse-

A retração por secagem

Uma vez obtida sua pega inicial, o concreto já é considerado em estado endurecido. Desta forma, baixa o taxímetro da retração por secagem. Um estudo recente sobre retração por secagem feito pela U.S. Bureau of Reclamation em pequenas vigas de concreto de 10 cm x 10 cm x 100 cm de comprimento, utilizando-se diferentes tipos de cimento, evidenciou o que pouca gente sabe sobre retração por secagem:

- ± 35% ocorre no 1º mês
- ± 45% nos 10 meses seguintes e...
- ± 20% ao longo de um total de 26 meses.

TRINCAS EM PISOS DE CONCRETO? SINISTRO, MUITO SINISTRO!

Aplique hoje mesmo METACRILATO e considere o crime resolvido.

O que as trincas e fissuras fazem em um piso de concreto, seja industrial ou comercial, é um verdadeiro crime. Combata estes efeitos com a melhor e mais eficiente arma: METACRILATO. É só verter, espalhar e pronto. Acaba-se o sinistro. METACRILATO restitui, em 30 minutos, a monolitidade do concreto, pois adentra sozinho em fissuras de até 0,01mm. Aplicável também em vigas, pilares e lajes, sem equipamento de injeção.

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br

Fax consulta nº 08

qüências? Bem, os sintomas visíveis aparecem na forma de empenamentos a partir do perímetro e das bordas do piso. Os sintomas que ninguém vê são bolsões que surgem entre o piso e o solo. Como a resistência à tração e flexão do concreto é pequena nestas placas, à medida que empilhadeiras ou outras cargas carregam o piso, começam a surgir trincas e fraturas. A solução para estes bolsões é a injeção de calda de cimento, tomando-se o cuidado

para executar furos suficientes, de modo a permitir a saída da calda, evitando o levantamento das placas. Considerando-se o processo demorado de secagem apresentado anteriormente sugere-se aquilo que todo mundo sabe e quase não faz: esperar 28 dias para aplicar revestimento epóxico no piso. Ainda assim com grande risco, já que o piso epóxico rígido vai ficar exposto a um processo de retração correspondente ao dobro do que sofreu naque-

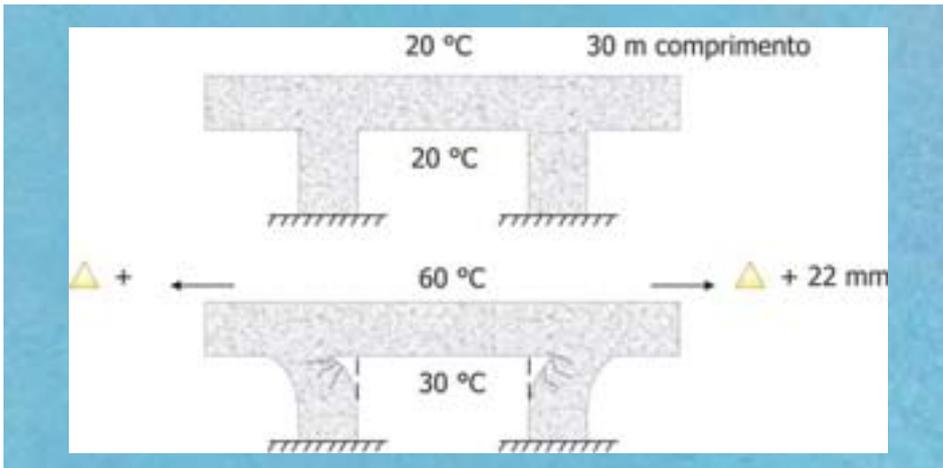


Concreto feito com cimento K. Ausência de juntas de controle neste piso de refinaria.

les primeiros 28 dias. Dificilmente resistirá sem sofrer fissuras.

O movimento térmico

Como qualquer outro material, o concreto também está sujeito às leis da termodinâmica e tem valores bem característicos. Seu coeficiente linear de dilatação térmica é testemunha, assim como varia de acordo com os agregados utilizados na sua preparação. Na tabela a seguir apresentamos os agregados utilizados no concreto submetidos a um aumento ou diminuição de temperatura de 40°C. Causará, por exemplo, ao concreto com quartzo, uma mudança de comprimento de 0,066% em uma dada dimensão de um piso ou até mesmo em uma parede feita com este agregado.



O concreto, como qualquer outro material muda de volume quando submetido a mudanças de temperatura. Aumentando a temperatura ambiente, aumenta o volume do concreto. Inversamente, se diminui a temperatura, há uma redução no volume do concreto. Vamos tomar como exemplo um concreto com coeficiente de dilatação térmica de $9 \times 10^{-6} \text{ mm/mm/}^\circ\text{C}$. Uma mudança de 40°C em um comprimento de 30m provocará um aumento de 22mm.

Concreto Eternamente Jovem e Seco?

O Silano 120 é um alquilo trialcóxido, à base de solvente, que penetra profundamente em paredes e pisos de concreto aparente, promovendo uma reação com a umidade e a alcalinidade do substrato, formando uma camada água-repelente interna durável por, pelo menos, 15 anos.

Verniz no concreto aparente é coisa do passado. Silano 120 nele.

Só com Silano 120

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta nº 09

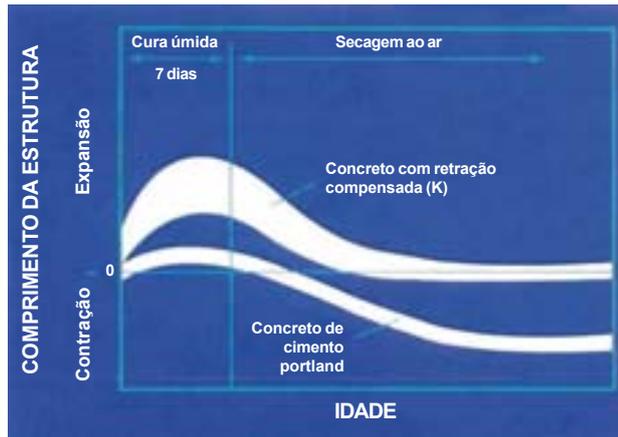
Coefficiente de dilatação térmica do concreto em função do agregado empregado

Tipo de agregado	Comprimento em % para 40°C
Quartzo	0,066
Arenito	0,065
Granito	0,053
Basalto	0,048
Calcário	0,038

Temperatura é coisa séria e tem importante relação com o comportamento do concreto. Um aumento ou diminuição na temperatura ambiente provocará um aumento ou diminuição no volume da massa do concreto. Isto sem considerar o tamanho e a forma da estrutura. Claro que estruturas bem expostas à ação do sol e formadas por peças arrojadas apresentarão um movimento térmico mais acentuado. As resinas epóxicas, assim como todos os revestimentos poliméricos utilizados para revestir ou reforçar o concreto, também estão sujeitas a leis da termodinâmica e possuem coeficientes de dilatação térmica específicos. Assim, a diferença relativa entre o coeficiente de dilatação térmica do concreto e da resina que irá revesti-lo ou re-



Concreto com retração compensada nesta estação de tratamento de esgotos devido a resistência aos sulfatos e ausência de trincas e fissuras por retração.



forçá-lo pode ser motivo de preocupação se a película do revestimento ou o composto (resina-fibra-resina) de reforço tiver um comportamento exagerado. Ou seja, apresentar mudanças frequentes e rápidas com a temperatura.

A expansão

A expansão é o inverso da retração. Podemos afirmar que a retração por secagem, que ocorre no concreto, é função da sua perda d'água ou umidade que ocorre na estrutura. Um detalhe que não foi apresentado e que merece atenção é o fato de que nem toda a retração por secagem é reversível. O processo de secagem inicial, que provoca a saída da água mais intensa, existente nos grandes e médios capilares durante a fase de mutação do estado plástico para o endurecido, é considerado irreversível e representa uma perda de massa de 4% para o período inicial das primeiras 12 horas. Já na sua fase adulta, o concreto fica submetido a ciclos de umedecimento e secagem considerados totalmente reversíveis e representam uma perda de massa que varia de 1 a 2%.

O cimento tipo K

Como vimos, todo o concreto está sujeito a mudanças de volume como consequência

de reações físico-químicas em seu ambiente interno e no que o cerca. O resultado final é uma retração perniciososa que tornará sempre a um volume final menor que o inicial. Para obras importantes em que o volume lançado é significativo, assim como todo período de retração deve ser evitado, usar-se-á o cimento tipo K, que tem como característica promover, após a cura, o retorno gradual do volume da massa à situação dimensional original.

O concreto feito com cimento tipo K é normatizado pela ASTM C845 EI. O gráfico ao lado evidencia, comparativamente, o seu comportamento.

Fax consulta nº 10

RECUPERAR

Para ter mais informações sobre Cimentos.

www.recuperar.com.br

REFERÊNCIAS

- Carlos Carvalho Rocha é engenheiro civil, especialista em serviços de recuperação.
- Feldman, Sereda and Ramachandran "A study of length changes of compacts of portland cement on exposure to H₂O".
- Beandoin, J.J. and Feldman R.F. "Stresses and strains in the hardened cement postwater system".
- Litvan, G.G., "Volume instability of porous solids: Part 2, dissolution of porous silica glass in sodium hydroxide".
- Feldman, R.F. "Mechanism of creep of hydrated portland cement paste".
- Soroka, I., and Setter, N., "The effect of filler or strength of cement mortars".

RECUPERAR online
www.recuperar.com.br



Grupo falcão bauer

Rua Aquinos, 111 - São Paulo - CEP 05036-070
fones: (11) 861-0833 / 861-0677 - fax: (11) 861-0170
internet: <http://www.falcaobauer.com.br>
e-mail: bauer@falcaobauer.com.br
CREDENCIADO: INMETRO E IBQN

- Controle global da qualidade na construção;
- Controle tecnológico de concreto, solos e pavimentação;
- Recuperação e reforço de estruturas;
- Gerenciamento e fiscalização de obras;
- Inspeções e laudos técnicos em estruturas;
- Provas de cargas e controle de recalques;
- Análises químicas, físicas e metalográficas.



Michelle Batista

Contaminação do solo

Indústrias, esgotos sem coleta e tratamento, vazamentos, lixões, valões...
Solo envenenado bem perto de nossas casas.

A contaminação do solo é um problema nacional que aumenta e não tem solução. Já contamina pessoas mais chegadas aos locais sinistros. Não há solução imediata. Não há plano de trabalho específico e não há vontade política. A quem devemos apelar? Analisando o problema de forma histórica, vamos encontrar os primeiros sinais de contaminação na Roma antiga, há

GLOSSÁRIO

Aquífero - Formação permeável que permite a passagem da água suficiente a fluxos d'água do solo.

Água artesianiana - Água do solo, sob pressão suficiente, que sobe facilmente acima do nível em que é encontrada, quando interceptada por poço.

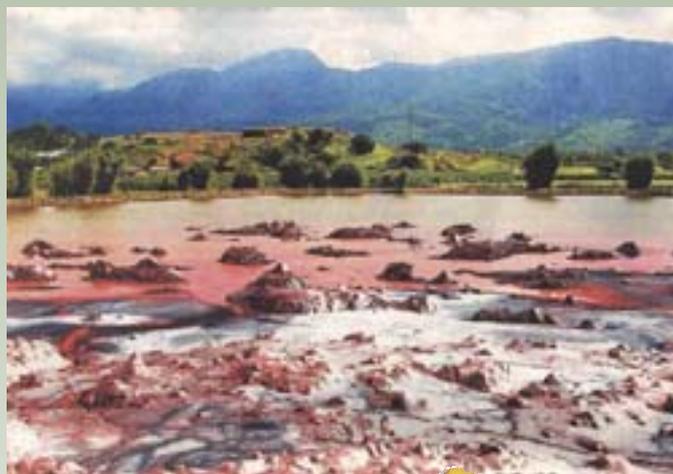
cerca de 2.000 anos atrás, exatamente nos trabalhos de mineração do chumbo e, mais recentemente, como herança da revolução industrial. A fonte de contaminação de solo varia desde o simples depósito do lixo urbano, o conhecido lixão, ou lixão-brás já que é sucesso nacional, até os derramamentos que ocorrem em todas as atividades industriais, particularmente na área petroquímica. Além, claro, do plantio industrializado repetitivo. Os contaminantes tem a forma sólida, líquida e gasosa. Adentram no solo, reagem quimicamente com seus componentes, atingem a água freática e até o concreto armado enterrado das fundações.

O problema

Solo contaminado é aquele que contém substâncias perigosas que, provavelmente, afetarão qualquer tipo de trabalho que se faça sobre ele, principalmente o da construção civil. Solos assim configurados, obrigatoriamente, necessitam de investigação e análise, de modo a quantificar-se a sua periculosidade e dimensionar-se sua recuperação. Não se tem noção, a nível nacional ou regional, da área de solos contaminados e do seu grau de afetamento. O fato é que, mesmo nós que vivemos nas cidades mais importantes do país, já convivemos com este tipo de problema perto de

Continua na pág. 20

Vazamento de metais pesados na Baía de Sepetiba, RJ



Não é visão lunar. É a grande lagoa de lama química, que já afetou o solo, o lençol freático e a própria Baía de Sepetiba, grande produtora de camarões.

das de lama misturada a metais pesados como chumbo, cádmio e zinco.

Em 1996, os rejeitos industriais da Companhia Ingá transbordaram, lançando nos manguezais e na Baía de Sepetiba 50 milhões de litros de água e lama misturados a metais pesados. A empresa foi condenada, através de ação no MP, a construir um depósito industrial e a remover todos os rejeitos sólidos que circundam o pátio industrial. Até hoje, no entanto, segundo a Apedema, nada foi feito.

Dirigentes da entidade ambientalista entregaram, em novembro, ao Ibama, em Brasília, um dossiê alertando para o transbordamento contínuo de metais pesados na Baía de Sepetiba nos períodos de chuva. Os ambientalistas temem o rompimento do frágil dique, o que poderia ter graves conseqüências para o ecossistema e as populações da Baía de Sepetiba.

O Ministério Público (MP) estadual e o Ibama solicitaram à Procuradoria Geral da República a indisponibilidade dos bens da família Barreto, dona da Companhia Mercantil Ingá, na Ilha da Madeira, em Itaguaí, RJ. Desativada desde 1997, a mineradora virou um depósito de detritos industriais cercado por uma grande lagoa artificial que se formou a partir de diques construídos para conter o lixo químico. A pedido da Assembléia Permanente de Entidades de Defesa do Meio Ambiente (Apedema), o MP fez vistoria conjunta com o Ibama e a Feema nos diques da Ingá para checar as instalações que já deixaram vaziar metais pesados na Baía de Sepetiba. A mineradora guarda no seu pátio cerca de dois milhões de tonela-



nossas casas. Vide canais, rios e lagoas que nos cercam. Estima-se que 40% dos terrenos que iniciam algum tipo de negócio têm ou já tiveram alguma utilização, daí serem chamados de “terrenos de segunda mão”. Seguramente, algum deles apresentam contaminação.

Terrenos contaminados precisam ser identificados de uma maneira a caracterizar... sua natureza, extensão da contaminação e, claro, até onde vai a ameaça à saúde e ao ambiente.

Cada um de nós, certamente, tem alguma história sobre solo contaminado onde nada foi feito, ou seja, não se sabe exatamente o que há ali, a extensão do problema, evidenciando o descaso e o amadorismo de nossos órgãos públicos, mesmo sabendo que já compromete a população adjacente àquela área.

As fontes de contaminação

Onde há gente, há contaminação. Naturalmente em concentração extremamente baixa e sem maiores comprometimentos. No entanto, onde há indústrias a coisa muda e torna-se extremamente perigosa, porque certamente há vazamentos de contaminantes e garantida a presença de subprodutos tóxicos em contato físico (e químico) com o solo.

RECUPERAR
ASSINE JÁ.
R\$ 70,00 /ano



Stup Premoldados Ltda

- Reabilitação
- Reforço estrutural
- Recuperação
- Substituição de apoios
- Juntas de dilatação



Rua Dr. Costa Jr., 564 - Água Branca - São Paulo

Tel.: (11) 3873-2734 / 3873-2735
Fax: (11) 3672-8502



Metais pesados poluem os rios do RJ



Os principais rios do estado estão em situação crítica, segundo relatório da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais das Minas e Energia. O estudo mostra altos índices de contaminação por metais pesados nos rios. Entre eles o Paraíba do Sul e seus afluentes, usados para captação de água para abastecimento. No primeiro mapeamento feito em 20 anos foi analisada a água de cem rios do estado. Em 72 foram constatados altos índices de chumbo, cádmio, alumínio, arsênio, cobre e zinco.

Problemas em outros pontos do estado

- No Rio Portela, que deságua na Lagoa de Jacarepaguá, foram encontradas 155ppm de zinco na água e nos sedimentos, quando o padrão é de 70ppm.
 - A Lagoa de Saquarema recebe água de rios onde foi detectada contami-

nação tanto na água como no sedimento por alumínio, arsênio, cobre e zinco.

- Na Lagoa de Araruama, o estudo da CPRM encontrou em amostras de água dos rios que lá desaguam alumínio, selênio e chumbo.
- Há contaminação por alumínio e zinco nos rios Capivari e São João, que desaguam na Lagoa de Juturnaíba, cujas águas abastecem cidades da Região dos Lagos.

Os riscos dos metais pesados

- Alumínio (Al) - Altas concentrações causam mal de Alzheimer, laringite crônica e paralisia das pernas.
- Arsênio (AS) - Em altas concentrações na água e no solo, causam câncer de pele. Em solos, provocam toxicidade em vegetais e no gado.
- Cádmio (Cd) - Acumula-se no organismo humano pela ingestão de peixes contaminados ou da própria água. Causa calcificação e disfunção renal, deformação nos ossos, hipertensão e câncer.
- Chumbo (Pb) - Muito tóxico. Acumula-se nos ossos. Causa danos irreversíveis ao cérebro, tumores renais e outros carcinomas.
- Cobre (Cu) - É essencial ao ser humano. Mas, em excesso, causa danos ao fígado e ao cérebro.
- Selênio (Se) - Também essencial. Em excesso provoca câncer e deformações nas unhas e nos cabelos.
- Zinco (Zn) - Essencial. Mas, em altos teores causa problemas circulatórios e de concentração mental.

A simples demolição de uma casa ou um prédio pode apresentar risco, em se tratando de local onde havia alguma utilização industrial, oficial ou clandestina. Então, o próprio material de demolição, que viajará sabe Deus para onde, criará outra incerteza. Os conhecidos lixões que nossas autoridades permitem que sejam criados em torno de áreas urbanas é uma fantástica fonte de contaminação porque ali há lixo doméstico e industrial. Triste é saber que muitos destes depósitos estão em contato direto com o solo, envenenando a água freática que muitas pessoas utilizam, através de pequenos poços.

A natureza dos contaminantes

Quando nos expomos a um contaminante, alguns efeitos aparecerão dependendo da

GLOSSÁRIO

Alcatrão de hulha ou coal tar - Líquido escuro, viscoso, formado na destilação da hulha. É uma mistura complexa de substâncias ácidas (fenóis), básicas (anilina, piridina etc) e neutras (benzeno, nafta etc). É a fonte das substâncias aromáticas.

Hulha - Carvão de pedra ou carvão fóssil. O mais importante dos combustíveis sólidos. Devido a combustão, a hulha serve para a iluminação, aquecimento e geração de energia. Com a destilação produz-se gases, o alcatrão e o coque.

dose, da química da substância e da forma como foi introduzida no organismo, ou seja, por ingestão, absorção ou inalação. Os sintomas poderão aparecer de imediato, provocando náuseas, vômitos, inconsciência e até a morte. Pior do que os sintomas imediatos, que certamente permitem a rápida identificação da causa, são o aparecimento de doenças crônicas associadas à exposição constante ou parcial daquelas substâncias tóxicas. A contaminação não afeta apenas nossa saúde e a dos animais que nos cercam, mas também as estruturas, particularmente o concreto armado com relação à sua durabilidade, a começar pelas sapatas e estacas de fundação que estão (veja RECUPERAR nº 32) em contato com solo contaminado. Até o plástico sofre estas consequências.

Quem polui

A relação abaixo mostra as indústrias que poluem o solo. A relação causal entre a antiga atividade do local e a contaminação do solo permite ao patologista identificar, com alguma precisão, o(s) tipo(s) de contaminantes. A concentração destes poluentes só poderá ser obtida com a análise química. São poluidoras:

- Indústrias que produzem gases. São campeãs em poluição do solo, particularmente aquelas que promovem a queima do Carvão. Cinzas ricas em metais pesados, além dos resíduos do alcatrão, dos ácidos e fenóis são cancerígenos.
- Indústrias que fazem mineração de metais não ferrosos, como o cobre, chumbo e o zinco. As águas industriais provenientes destes locais são carregadas de metais pesados como o arsênio, cádmio etc, poluindo a água freática, rios e lagoas. Meios de corrosão produzem uma água ácida e rica em sulfatos, extremamente agressiva às peças estruturais de concreto armado aterradas.
- O famoso ferro-vermelho, que existe em todo lugar. É campeão de poluição do solo. Claro que depende do que está ali jogado. Mas quase invariavelmente podem introduzir no solo cianetos, sulfatos, ácidos, álcalis e várias substâncias orgânicas, além de óleos.
- As tinturarias que lavam e passam nossas roupas não ficam atrás. Utilizam co-

Nafta polui o porto de Paranaguá, no Paraná



O navio Norma da Petrobrás, carregado com 22 milhões de litros de nafta, bateu numa rocha no porto de Paranaguá e teve um tanque rompido, provocando o vazamento de uma quantidade aproximada de 5 milhões de litros, em outubro último. O nafta do petróleo é predominantemente uma mistura de hidrocarbonetos parafínicos, podendo conter hidrocarbonetos aromáticos, incluindo-se aí o benzeno e seus derivados, assim como as ciclo parafinas aromáticas. Altamente tóxicas, certamente contaminou peixes e crustá-

ceos que vivem no local, o que é um desastre para a população pesqueira local. Os sintomas imediatos de intoxicação são dores de cabeça, náuseas e fadiga mental. Os sintomas a médio e longo prazo são nervosismo e falta de apetite com acentuada perda de peso. É freqüente encontrar-se pessoas mortas quando trabalham sozinhas, em ambientes quase que fechados, com betume ou solventes do tipo nafta, benzeno, xileno ou tolueno.

rantes e produtos químicos para tingir e lavar, normalmente associados a reações com bicromatos, chumbo, ácido nítrico, cloretos, acetatos, sulfetos de bário e níquel. Alguns destes, reconhecidamente, cancerígenos.

- A indústria farmacêutica produz uma extensa gama de resíduos em forma de efluentes líquidos, descarregados em rios e lagoas, comprometendo o solo e a água freática.
 - As indústrias químicas e as refinarias de petróleo são número um em poluição ambiental, fonte óbvia de contaminação do solo. Derramamento de óleo, solventes e combustíveis é uma constante, seja pela superfície, por rompimento de tubulações ou tanques. O caminho normal é o solo.
 - Nos aterros industriais ou lixões produzem-se gases e o popular chorume como resultado da decomposição biológica dos resíduos ali depositados. Entre os gases produzidos encontram-se o gás carbônico, o popular sulfeto de hidrogênio e o metanol que matam qualquer vegetação. São tóxicos a nós e às estruturas de concreto armado. A chaminé tem alta demanda de oxigênio biológico, de oxigênio químico e teores de amônia que, invariavelmente, causam danos à água freática.
 - As estações de tratamento de esgotos produzem sedimentos extremamente ricos em contaminantes metálicos, diversos dependendo do tipo de esgoto tratado. Os contaminantes mais comuns são: o chumbo, o cádmio, o níquel, o zinco. Em menores concentrações estão arsênico, mercúrio, manganês etc.
- Os efeitos tóxicos no nosso organismo dependem do tempo de exposição. Algumas

substâncias perigosas exibem sinais claros de advertência como cheiro, cor e forma. Os principais contaminantes são bem reconhecidos e taxados em quatro grupos:

• Metálicos

Metais como cádmio, chumbo, mercúrio, arsênico e selênio são verdadeiras toxinas. Atacam o sistema nervoso central, causando lenta paralisia de nossas funções, quase imperceptível no início. Uma vez nos rins, fígado e cérebro, irão afetar, de forma homeopática, os tecidos destes órgãos.

• Não metálicos

Recaem sobre os sulfetos e cianetos, pelos produtos das indústrias de transformação química. Solos contaminados com sulfetos são impiedosos com as estruturas de concreto armado e pretendido enterradas, destruindo-as lenta e progressivamente. Os sulfetos e cianetos liberam gases como sulfeto de hidrogênio e cianeto de hidrogênio, altamente tóxicos aos pulmões, já que são mais facilmente absorvidos do que o oxigênio, congestionando os pulmões e levando à morte. O poder tóxico do amianto é também indiscutível.

• Orgânicos

Substâncias como benzeno, alcatrão de carvão, tolueno, solventes halogenados e a própria gasolina, além dos thinner. Uma vez em contato com a pele ou inaladas apresentam toxicidade suficiente para causar morte e/ou, a médio/longo prazo, diversos tipos de câncer.

• Bacteriológicos

Estes organismos, formados por agentes patogênicos como fungos, mofo, vírus, parasitas e algas, advêm dos esgotos do-

GLOSSÁRIO

Benzeno - Produto derivado do alcatrão (de hulha). É solvente aromático e substância intermediária para a obtenção de produtos fenólicos, estirenos epóxi e nylon. Sua alta toxicidade se assemelha ao xileno, estireno e tolueno, tornando-os perigosos e cada vez mais usados. Funcionam como narcóticos quando altamente absorvidos pelo organismo. É comum, mas vítimas fatais, tecidos e órgãos internos apresentarem odor destes produtos, particularmente traquéia, laringe e pulmão. Uma obsorção comprometedor do benzeno provoca sintomas passageiros de dor de cabeça, dificuldade de respiração, vertigem e algum distúrbio digestivo. As sequelas manifestam-se através vertigens, catarro, nervosismo e problemas cardíacos.

Hidrocarboneto halogenado - Comporta-se como solvente, com grande aplicação na indústria. O tetracloreto de carbono, assim como o triclóroetileno, perclóroetileno e dicloroetano são fortes solventes, desengraxantes e constituintes de tintas, vernizes e removedores de tinta. Provoca um efeito inicial semelhante a um narcótico. Afeta, sobremaneira o sistema nervoso central, a mucosa interna e o sangue, podendo levar à inconsciência e à morte. Na autópsia de pessoas submetidas a estes solventes, evidencia-se intensa hemorragia no sistema gastro-intestinal e nos espaços da pleura, diafragma e miocárdio.

mésticos, hospitalares, laboratórios de análises clínicas e covas de cemitérios. ¶¶

Fax consulta nº 13



RECUPERAR

Para ter mais informações sobre Meio Ambiente.

www.recuperar.com.br

REFERÊNCIAS

- Michelle batista é química.
- Haris M.R., Herbert S.M. and Smith M.A. The remedial treatment of contaminated land.
- Steeds J. E., Shepherd E. and Barry D.L. A guide to safe working practices for contaminated sites.
- Denner J. Industrial Waste Management.

Trabalhar em terreno contaminado?

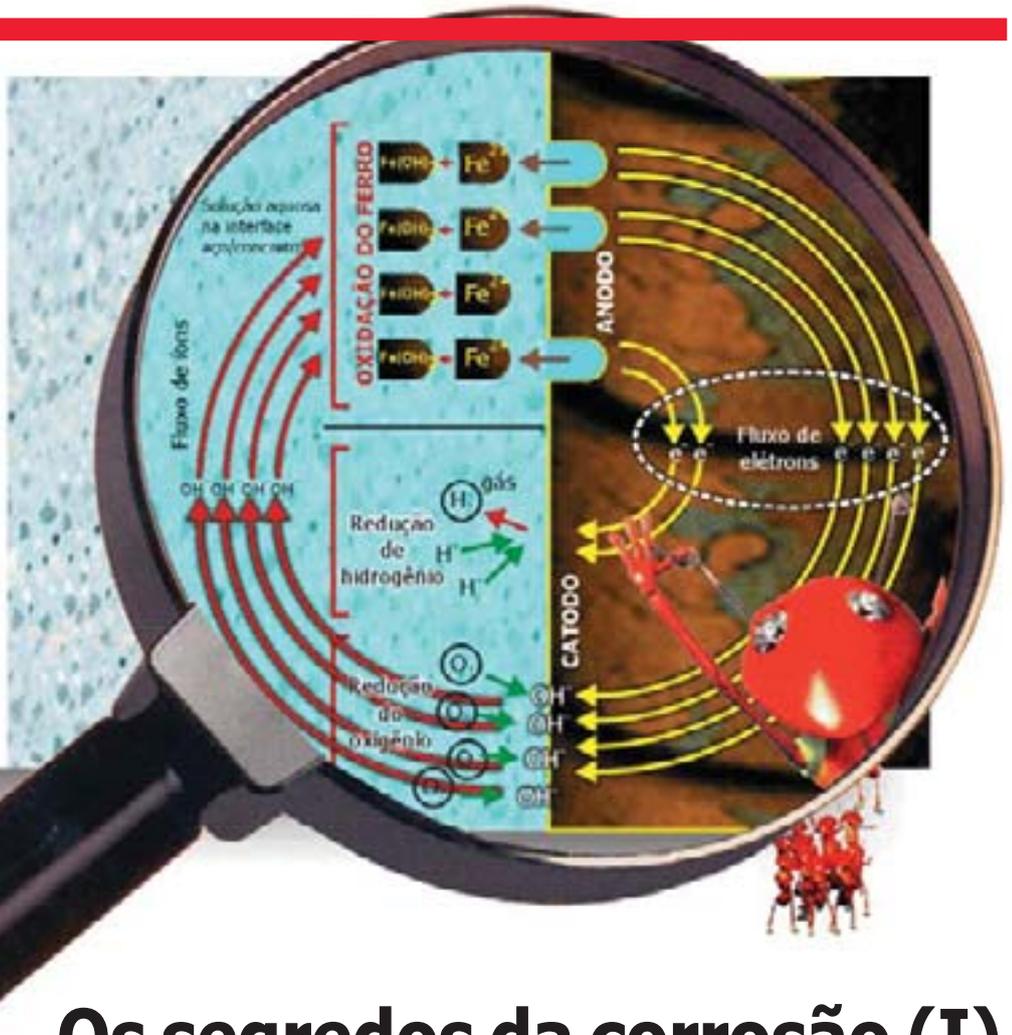
Próxima Edição

RECUPERAR



Figura 1

Visão ampliada das interfaces de oxidação e 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 a reação, e posterior consumo destes elétrons, promoverão reações de redução no oxigênio e no hidrogênio, formando gás hidrogênio (H_2) e íons hidroxilas (OH^-). 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^{2+} . O que vemos, então, é um fluxo de elétrons através da armadura e um fluxo de íons pela solução interfacial.



Joaquim Rodrigues

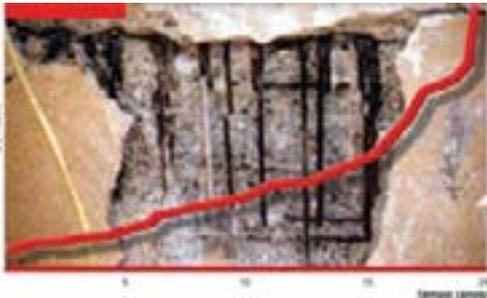
Os segredos da corrosão (I)

Conheça, de maneira fácil e rápida, a teoria eletroquímica para entender o processo de corrosão no concreto armado e protendido.

Na RECUPERAR 42 apresentamos importantes explicações que mostravam os malefícios que as técnicas tradicionais de tratamento da corrosão provocam no concreto armado. Infelizmente, o estudo apresentado, embasado em teoria eletroquímica relativamente difícil gerou muitas dúvidas em nossos leitores. Com o objetivo de eliminá-las, estaremos apresentando nas próximas edições, sob o título “Os segredos da cor-

rosão”, informações sobre este importantíssimo assunto.

Antes de mais nada, é preciso deixar claro que o tipo de corrosão que ocorre no concreto armado é de natureza galvânica, já que o aço da construção é feito com ferro e outros diferentes metais. A norma ASTM define corrosão do aço como “corrosão galvânica acelerada, em função do ambiente agressivo e de contatos elétricos com me-



Sucessivas “recuperações” com encamisamentos aumentaram a seção deste tubulão e, principalmente, o volume da corrosão.

A corrosão, quando é ignorada ou pior, quando é mal tratada, cada vez mais compromete a estrutura.



GLOSSÁRIO

Íon - Porção eletrificada da matéria que tem dimensões atômicas ou moleculares. Átomo carregado. Átomo ou grupo de átomos que perderam ou ganharam um ou mais elétrons, adquirindo, desta maneira, carga elétrica.

Íon hidroxila (OH⁻) - Íon negativo, fundamental para o equilíbrio da água, juntamente com o íon H^+ da reação $H_2O \rightleftharpoons OH^- + H^+$.

Ionização - Fenômeno que conduz à formação de íons, verificado em sólidos, líquidos e gases. A ionização em estado líquido geralmente é feita com a dissociação eletrolítica. A simples radiação de luz produz íons nos corpos. A incidência de radiação em um elétron introduz energia suficiente para removê-lo do campo elétrico no qual está submetido. O átomo, sem este elétron, bem como o outro que o recebe, fica ionizado. Um íon simples é essencialmente uma partícula esférica, dotada de uma carga positiva ou negativa. A intensidade de interação com seus vizinhos é governada pela intensidade do campo elétrico atuante.

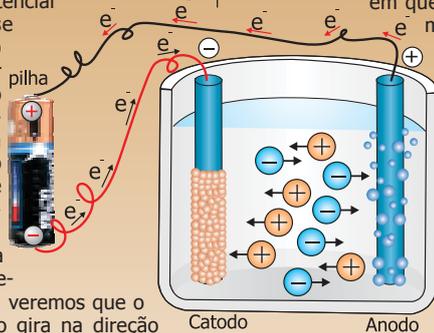
O fio da meada

Se enchermos uma tija de vidro com uma solução de ácido sulfúrico e introduzirmos, em cada extremidade, duas barrinhas de platina, que é um metal inerte e estável, ligadas, cada uma, aos polos de uma pequena pilha, de 1,5 volts (ou seja, uma diferença de potencial de 1,5V), dessas que se usam no controle remoto da televisão, veremos, por meio de um galvanômetro (aparelho que mede corrente elétrica de pequena intensidade) inserido no circuito, que flui corrente através do fio e daí a instantes, cessa.

Se desconectarmos a pilha das duas barrinhas e inserirmos um fio, ligando-as, veremos que o ponteiro do galvanômetro gira na direção oposta. O que ocorreu? As duas barrinhas, além de interromperem o fluxo de corrente enviada pela pilha, acumularam força eletromotriz suficiente (ou seja, uma diferença de potencial) que atuou na direção oposta a da pilha. Detalhe, esta força eletromotriz tinha exatamente 1,5 volts quando da retirada da pilha. Este fenômeno é chamado de polarização e as superfícies ou interfaces das duas barrinhas são ditas polarizadas. Quando removemos a pilha desta experiência, portanto, observamos o nascimento de uma outra "pilha" que produziu corrente na direção contrária a introduzida "artificial-

mente". A ocorrência da polarização deve-se aos gases absorvidos em cada barrinha. À medida que a concentração dos gases aumenta na superfície das barrinhas, cresce a força eletromotriz (potencial) da "nova" pilha, ao ponto em que fica igual a da pilha comercial, causando a interrupção da corrente "injetada" ou "impressa". O efeito da polarização traduz-se no aumento da força eletromotriz (potencial ou voltagem) necessária à manutenção de uma determinada corrente em uma região interfacial. Poder-se-á, desta forma, polarizar interfaces formadas por regiões de armaduras de

peças estruturais levando-as para potenciais que assegurem seu estado de imunidade à corrosão, aplicando uma força eletromotriz, simplesmente pela injeção de corrente através de anodos de sacrifício ou de anodos de corrente impressa. Interessante observar que, assim como numa pilha, o anodo é o polo onde ocorre (sempre) a oxidação. A barrinha da esquerda, ligada ao anodo da pilha de 1,5V, estará recebendo os elétrons do processo de oxidação que está ocorrendo naquela origem. Conseqüentemente, esta barrinha será um catodo, onde as partículas da solução serão reduzidas.



tais mais nobres". Um princípio da termodinâmica afirma que um material sempre procura seu menor estado de energia. O ferro é termodinamicamente instável e seu menor estado de energia é um óxido, característico do seu estado de corrosão.

Os dois tipos de condutores

Todos nós conhecemos os condutores metálicos (fios) capazes de conduzirem corrente elétrica sem sofrer qualquer alteração ou transformação química, isto é, os átomos do metal conservam sua estrutura original. De um modo geral, engenheiros e técnicos civis não foram bem apresentados aos condutores eletrolíticos que, efetivamente, sofrem modificação em sua composição química à medida que passa ou conduz corrente elétrica. Se mergulharmos um arame de aço, por exemplo, em um condutor eletrolítico, como água salgada ou água com limão, veremos que a superfície do arame transformar-se-á numa região bem crítica e tempestuosa chamada eletrodo ou interface, pelo fato de apresentar, nesta superfície, micro regiões que comportar-se-ão tanto como "porto receptor" de elétrons (anodo) como "porto doador" destas mesmas cargas (catodo). Esta situação é vista na figura 1. Além deste transporte de elétrons entre "portos", que ocorre no condutor metá-

lico (armadura), há um outro tipo que, simultaneamente ocorre através do condutor eletrolítico (concreto), envolvendo outros tipos de cargas elétricas denominadas íons, que direcionam-se para aqueles mesmos portos, de modo a fazerem sua parte naquela transação, iniciada no condutor metálico. Pra se ter uma idéia, um íon é uma partícula que adquiriu carga elétrica, positiva ou negativa, uma vez dissolvido em uma solução que, com isso, torna-se um condutor eletrolítico, eletrólito ou solução, simplesmente. 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 (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 reativo, no caso o ferro, doa seus elétrons para um metal menos reativo que entra na composição da liga. A combinação de micropilhas na superfície do aço aumenta esta força eletromotriz, forçando mais corrente elétrica de corrosão.

A interação entre estes dois tipos de transporte é obrigatória e fundamental, isto é, elétrons no condutor metálico (corrente eletrônica) e íons no condutor eletrolítico (corrente iônica). A corrente iônica é caracteri-

zada pela natureza dos íons, suas concentrações e pelo campo elétrico imposto.

Os "Portos" anodo e catodo

É importante ficar atento à surgência dos íons em cada um dos dois "portos" ou interfaces, porque ali ocorrem reações muito importantes. No "porto" anodo, partículas (átomos) de ferro desprendem-se para a solução, abandonando seus dois elétrons e tornando-se íons com carga positiva

Figura 2

Pilar com seção circular, de uma pequena ponte pertencente a uma indústria. A proximidade do mar contamina o concreto com íons cloreto, fator acelerante para a corrosão.



Iliescu Recuperação e Reforço de Estruturas

- Diagnósticos e Laudos Técnicos de RRE.
- Ensaio de íon Cloreto e de Potenciais.
- Projetos Estruturais de RRE.
- Tratamento de Corrosão por Proteção Catódica com Anodos de Sacrifício.
- Reforço por Fibra de Carbono.
- Execução de Argamassas de Alto Desempenho com Fibras de Polipropileno.
- Execução de CAD por Concreto Projetado.
- Impermeabilização por Resina Epóxica e por Poliuretano Hidroativado.

Eng^o Marcelo Iliescu
Consultor

www.iliescu.com.br
iliescu@ig.com.br
(21)9165.5373 / 2570.2406



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.

(Fe^{++}), reação esta chamada de oxidação. Simultaneamente, os dois elétrons abandonados por aquela partícula de ferro “viajam”, através da armadura, para qualquer região interfacial (catodo) onde possam ser consumidos por outros elementos, presentes na solução interfacial, ávidos por receber estes elétrons, como por exemplo o oxigênio e o hidrogênio (figura 1), ocorrendo aí reações de redução. 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 etc) e que servem de combustível à corrosão no anodo, estabelecendo a natureza dos produtos da corrosão, como os hidróxidos ferrosos.

A diferença de potencial que acontece entre as reações anódica e catódica é a força propulsora que faz o aço desintegrar-se. Portanto, qualquer superfície metálica ou de aço que tenha problemas de corrosão, na verdade, é uma combinação de anodos e catodos eletricamente ligados através do próprio corpo do aço e submetido a uma solução interfacial.

Potencial?

Cada metal pode ser visto como um gerador de energia, ou seja, tem uma energia particular acumulada e que está ali disponível. Esta energia é medida como potencial eletroquímico, em volts. Diferentes metais possuem diferentes potenciais em suas su-

perfícies, ou seja, o ferro Fe, o alumínio Al, o zinco Zn etc possuem, cada um, seu potencial em volts, medidos de forma padrão em relação a um determinado referencial. Assim, o ferro tem seu próprio potencial padrão que é de $-0,44$ volts. O potencial padrão do alumínio é $-1,6$ volts e o do zinco é de $-0,76$ volts. Se juntarmos dois diferentes metais em uma solução estaremos formando uma pilha eletroquímica, por que haverá uma diferença de potencial entre eles. Cada um, assim disposto, formará sua própria reação (semi-reação), ou seja, um deles terá maior tendência a se oxidar do que o outro. Logo, um será o anodo e o outro o catodo. Resumindo. Quanto mais negativo for o potencial do metal maior sua tendência em ser anodo. Desta forma, comparando os três metais citados acima, sem dúvida, apontaremos o alumínio como candidato nº 1 a anodo. Por exemplo, se colocarmos uma barrinha de ferro e outra de alumínio em um copo com água salgada veremos que o alumínio será o anodo e o ferro o catodo. Os elétrons do alumínio serão largados mais facilmente, inibindo os do ferro. Desta forma o alumínio se oxida ou corrói, devido a uma diferença ou queda de potencial de $-1,66 - (-0,44) = -1,22$ volts. Se fizermos a experiência do ferro com o zinco veremos que o zinco será o anodo e corroerá, devido a uma diferença de potencial de $-0,32$ volts. A quantidade de corrente que flui, motivada pela voltagem existente ou pela diferença potencial é determinada pelos elementos resistentes que fazem parte da pilha formada. Havendo uma grande resistência haverá, naturalmente, um fluxo de corrente

pequeno. Desta forma fica claro que potencial (volts), corrente elétrica (ampere) e resistência (ohm) são os parâmetros controladores de uma pilha de corrosão. A elementar lei de Ohm é freqüentemente utilizada na eletroquímica da corrosão. Diz esta lei que a intensidade da corrente I é diretamente proporcional à diferença potencial E e inversamente proporcional à resistência R , ou seja, $I = E/R$. Repare que no arranjo da fórmula, $E = IR$ fica evidente que a força eletromotriz é diretamente proporcional à intensidade da corrente e também à resistência a este fluxo. Em termos práticos, já se viu que, dependendo da diferença de potencial (força eletromotriz) existente entre as duas barras da pilha poderemos aproveitar e ligar um pequeno aparelho elétrico no concreto. Assim, como na experiência do Box da página 25, uma pilha eletroquímica tanto pode “produzir” energia, como também “consumir” energia.

GECOR 8



GECOR 8, o mais moderno equipamento de campo que mede a velocidade de corrosão e outros parâmetros das armaduras.

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta nº 16

Figura 4
A ação devastadora da corrosão numa estaca de um pier.



Uma vez compreendido o papel do anodo e do catodo dever-se-á aceitar o fato de que, se formos considerar o sinal ou a polaridade da pilha, o anodo poderá ser tanto positivo quanto negativo, da mesma forma o catodo. Como exemplo, podemos citar a mesma experiência da página 25 onde, numa primeira etapa uma voltagem foi “imposta” ou gerada por uma fonte externa, no caso, por aquela pilha de 1,5 V que se compra em qualquer bar da esquina, o que faz passar uma corrente numa direção. Numa segunda etapa, a voltagem foi gerada pelas próprias reações das barras, provocando uma corrente em direção contrária.

A interface do aço da construção, infelizmente, não é estável ou inerte o suficiente para se manter imune a toda esta “transação”. Ao contrário, é bastante reativo e atuante porque dissolve-se durante a surgência de corrente elétrica.

O equilíbrio entre duas semi-reações (anodo e catodo) ocorre quando todas as partículas carregadas, que chegam a um lado, tornam-se iguais em tipo e número, às que chegam ao outro lado. Os elétrons, que chegam à interface catodo, na impossibilidade de avançar na solução interfacial, reagem com os íons, presentes na solução, o hidro-

gênio, “transferindo” sua carga eles, energizando o lado de Na solução, portanto, o trans-eletrônico para iônico.

o de densidade de corrente

terização de um processo de na-se necessário associar o rente à área da superfície da barra corroída. Desta forma, utilizar-se-á não o termo corrente (I) e sim densidade de corrente, que é expressa por um *i* minúsculo, através da relação $i = I/\text{área}$ da superfície, onde *I* é a corrente e a unidade de *i* poderá ser A/m^2 ou mA/m^2 .

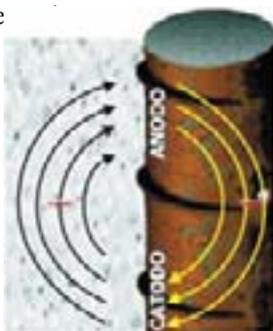
Ao falarmos ou medirmos corrente de corrosão a partir de agora estaremos nos referindo à densidade de corrente (*i*) já que, desta forma, eliminaremos os efeitos da área. Vamos considerar também os símbolos i_a e i_c para representar os valores das densidades de corrente anódica e catódica, respectivamente, pertencentes às regiões anódica e catódica.

À medida que a relação entre as áreas catódica/anódica aumenta, ou seja, a área do catodo aumenta e

à do anodo, a velocidade de corrosão da região anódica se intensifica de forma acelerada já que haverá uma alta densidade de corrente i_a/A_a em razão da área anódica A_a ser pequena.

Quando o ferro e outro metal, naturalmente com diferentes potenciais, ficam em contato na presença de uma solução, haverá uma força eletromotriz ou uma diferença de potencial (DDP) e a conseqüente transferência de elétrons. Esta DDP, como se poderia pensar, não tem relação direta com a velocidade de corrosão mas, apenas, indicará qual deles funcionará como anodo. A velocidade das reações, anódica e catódica, dependerá das características da pilha, da solução e, principalmente, das áreas da armadura. Conseqüentemente, a relação entre as áreas catódica e anódica será sempre um

Figura 5 - A interface no equilíbrio. A densidade de corrente anódica e a catódica.



OSMB

Projetos e Consultoria S/C Ltda.

- Projetos de estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural.
- Auditoria em projetos de estrutura.
- Avaliação estrutural.
- Projetos de reforço e recuperação.

(11) 3746-9743

GLOSSÁRIO

Circuito aberto - Circuito elétrico interrompido. A eletricidade não flui.

Polarização - Polarização do aço é a mudança de seu potencial a partir do valor de circuito aberto para o valor do potencial resultante da passagem de corrente. A polarização implica na existência de duas reações eletroquímicas opostas ou que se neutralizam de forma simultânea.

Potencial de corrosão - É o potencial da interface, representada pela superfície da armadura, afogada em uma solução proveniente dos vazios do concreto, medido com uma semi-pilha na condição de circuito aberto. O voltímetro da semi-pilha é de alta impedância, o que significa que não há corrente no circuito externo, ou seja já há condição de circuito aberto.

Termodinâmica - Ramo da física que procura deduzir, a partir de uns poucos postulados, as relações entre as propriedades dos materiais e da conversão de energia de uma forma para outra.

Teste de verificação de contaminação por cloretos



CHLOR-TEST



Extrai-se o pó do concreto a várias profundidades.



Insera-se o pó no recipiente plástico com o reagente. A sonda informará o teor de contaminação por cloretos.

Contaminação no concreto armado e protendido significa corrosão feita nas armaduras. O que se pode fazer para saber se o concreto está ou não contaminado? CHLOR-TEST é a única maneira de verificar se há ou não contaminação por íons cloretos, esses “bichinhos” que ativam o concreto, tornando-o um “inferno” para o aço. CHLOR-TEST é um teste high-tech que, em apenas 3 minutos, informa a existência daqueles bichinhos e sua quantidade. CHLOR-TEST é vendido em 3 versões:

CHLOR-TEST “S” - para superfícies de concreto e metálicas.

CHLOR-TEST “W” - para água de amassamento.

CHLOR-TEST “A” - para areia de jateamento

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br

Fax consulta nº ____

A água como eletrólito da corrosão

fator importante na determinação da velocidade de corrosão. Por outro lado, a densidade de corrente catódica (i_c/A_c) será menor, já que A_c é maior que A_a . Para entender melhor vamos considerar o caso de uma barra de aço de 20mm de diâmetro, dentro de um concreto, de modo que uma determinada região com 5cm^2 desta barra forme uma pilha de corrosão e, em outra região distante, forme outra pilha de apenas 1cm^2 de área. Se ambas receberem o mesmo fluxo de corrente de corrosão, é fácil perceber que a região menor sofrerá corrosão 5 vezes maior do que a região maior, pelo fato de sua área superficial ser diretamente proporcional à velocidade de corrosão ou à densidade de corrente (I/A).

Efetivamente, obter a densidade de corrente é saber a velocidade com que uma armadura está corroendo.

A analogia elétrica

Quando se “injeta”, de alguma forma, uma corrente elétrica em uma barra metálica, semelhante à experiência da tijela no box da página 25, a resistência (R) à passagem do fluxo de eletricidade através dos grãos que formam o metal precisará ser vencida. Uma vez obtido o equilíbrio ($E_i=0$), a interface metal-solução funciona como uma dupla camada elétrica e, na ausência de um fluxo de corrente elétrica, o capacitor formado

funciona como se estivesse carregado. O box abaixo materializa bem esta fato.

O potencial de corrosão (semipilha)

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

ao ambiente, estará protegendo suas armaduras da corrosão pelo fato de fornecer um ambiente envolvente altamente alcalino, com um pH entre 12 e 13. No entanto, quanto mais permeável for a camada de recobrimento mais o concreto tornar-se-á “molhável”, permitindo fácil acesso à água e aos gases, como o oxigênio, através de sua rede de vazios. Comumente, no entanto, ter-se-á, sempre, trincas e/ou fissuras em sua superfície, devido a processos de cura insuficientes ou mesmo inexistentes, fazendo com que aqueles elementos tenham fácil e rápido acesso às armaduras. Concreto é altamente básico e, usualmente, é bom fornecedor de oxigênio para “alimentar” reação catódica através dos vazios saturados. O acesso do oxigênio é feito por difusão através da solução existente nos vazios do concreto, enquanto que no concreto, parcialmente seco, a difusão do gás oxigênio é muito grande.

se introduzirmos uma outra semi-pilha, chamada de referência, de modo a poder quantificar o potencial existente. Alguns exemplos de semi-pilhas são o CPV-4 e o CANIN. O potencial medido desta forma é chamado potencial de corrosão (E_{CORR}) e depende tanto da condição e composição do aço quanto das características da solução existente na interface armadura/concreto. Para evitar acumulação de cargas, a corrente eletrônica de corrosão na armadura é equilibrada pela corrente iônica igual, através da solução existente na interface com o concreto (figura 1).

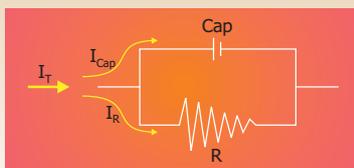
Sem que haja qualquer processo externo atuante, a corrente de corrosão representa a rapidez com que ocorre a desintegração

A interface armadura-concreto

A região interfacial entre uma solução e o seu contato com a superfície da armadura é de extrema importância para o fenômeno da corrosão. Torna-se necessário entender a estrutura desta região para se visualizar o mecanismo e a velocidade do processo de oxidação-redução que ali ocorre. Simplesmente porque a condutividade da solução é a medida exata da corrente que ela transporta e varia bastante com sua concentração, ou seja seus ingredientes. Entre a armadura, com suas diversas regiões que corroem e a solução que flui pelo concreto e fica em seu contato existe



to, como uma dupla camada elétrica.



A semelhança elétrica com a dupla camada.

uma DDP, devido à distribuição desigual de cargas (elétrons e íons) através da interface, caracterizada por duas camadas de cargas opostas (e^- e Fe^{++}), face a face, como em um capacitor, mas com alguma resistência entre ambas.

A interface pode, portanto, ser representada por uma analogia elétrica formada por um capacitor (C), em paralelo com um resistor (R), este representado por uma resistência decrescente. A presença do resistor induz mudança na voltagem e o capacitor indica a capacidade da interface armadura/solução armazenar cargas elétricas.

PIRES GIOVANETTI GUARDIA
ENGENHARIA ARQUITETURA
IMPERMEABILIZAÇÃO E RECUPERAÇÃO

Sistemas Rígidos e Flexíveis de Impermeabilização
Recuperação e Reforço de Estruturas
Injeção de Poliuretano e Resina Epóxica
Pisos Industriais
Proteção Catódica com Pintura Energizante

Fone/Fax: (11) 539-1418

do aço. Em outras palavras, representa a desintegração do aço envolvido pela solução existente na interface e vazios do concreto. Quanto maior a corrente eletrônica (transferência de elétrons entre anodo e catodo) maior a quantidade de átomos de ferro que “pulam” para formar íons ferrosos no eletrólito. De forma simultânea, quanto maior o “alimento” (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 beco da corrosão (anodo).

O conhecimento dos valores do potencial, resistividade e da corrente são de fundamental importância no estudo da corrosão. O potencial fornece o valor da força propulsora com que as reações de corrosão se processam. A corrente é a exata medida da velocidade com que ocorre, naturalmente dependendo da resistividade nas interfaces.

A velocidade da corrosão

É preciso entender um pouco o diagrama de Pourbaix, no box abaixo, para ver que se elevarmos a armadura para potenciais mais negativos ou mais ativos do que seu potencial de equilíbrio ou reversível (-0,44volts), menos corrosão teremos. O ideal é levarmos para valores em torno de -

0,75volts. Poder-se-á mudar o potencial comprometedor de uma região em estado de corrosão ativa para um potencial perpendicular à região de imunidade do aço (região A), no gráfico de Pourbaix, introduzindo-se um metal mais ativo (anodo de sacrifício), ou seja, forçando-se uma DDP cuja diferença eleve o potencial daquela área da armadura para a região A de Pourbaix. Uma outra forma seria forçar uma DDP com a “injeção” de corrente através de anodos ou metais inertes (tipo titânio), utilizando-se uma fonte externa. Em ambas as situações, a corrente será relacionada à área a ser beneficiada.

O potencial reversível e suas reações

Vamos experimentar agora apenas uma barrinha de ferro dentro de um copo com uma determinada solução. Visualizaremos somente a semi-reação do ferro Fe. Quer dizer, o ferro metálico corrói, liberando seu íon Fe^{++} para solução, concomitantemente com seus elétrons que são postos para circular pela barra, à procura de algum elemento seco para ser reduzido. Imaginemos que não existam outros elementos. Quer dizer, não há outra semi-reação. O que ocorrerá? Simples. Os dois elétrons circulantes pegarão de volta seus próprios íons Fe^{++} , reduzindo-

os à forma original Fe. Naturalmente, enquanto houver este toma lá, dá cá haverá corrente circulante.

Efetivamente, teremos uma situação de equilíbrio quando não houver mais corrente passando pela interface, isto é, a velocidade de oxidação $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$ será igual a velocidade de redução $Fe^{++} + 2e^- \rightarrow Fe$. Poder-se-á afirmar, também, que cada vez que um íon Fe^{++} deixa a casa da barrinha

GLOSSÁRIO

Ionização - Fenômeno que conduz à formação de íons, verificados em sólidos, líquidos e gases. A ionização em estado líquido geralmente é feita com a dissociação eletrolítica. A simples radiação de luz produz íons nos corpos. O átomo, sem este elétron, bem como o outro que o recebe, ficam ionizados. Um simples íon é, essencialmente, uma partícula esférica, dotada de uma carga positiva ou negativa. A intensidade de interação com seus vizinhos é governada pela intensidade do campo elétrico atuante.

Cloretos - São os sais do ácido clorídrico (HCl). Os cloretos mais importantes são: o sal gema (NaCl) e a silvina (KCl), ambos sólidos e solúveis em água.

Capacitor - Aparelho que estoca carga elétrica à semelhança de uma mola que estoca energia mecânica.

Resistor - Equipamento que introduz resistência dentro de um circuito elétrico. Componente de um circuito projetado para limitar a corrente.

Cloro - É o mais importante dos halogênios. É um gás amarelo esverdeado à temperatura ambiente, com cheiro irritante. Seu primeiro nome foi “ar marinho deflogisticado”. Extremamente reativo. É extraído dos cloretos por eletrólise. Dissolvido em água, produz ácido clorídrico HCl.

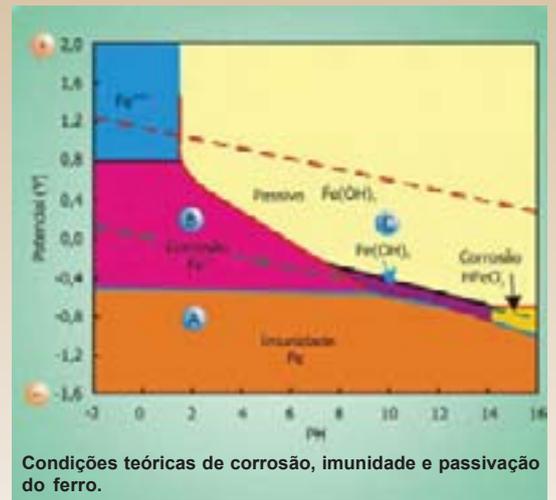
Os caminhos da corrosão do ferro

A corrosão depende de uma série de reações nas quais intervém, direta ou indiretamente, os íons da água e, portanto, o pH do meio. Como o potencial (E), no processo de corrosão, depende deste ambiente, pode-se estabelecer uma relação em função do pH, representado graficamente no diagrama E - pH, conhecido como diagrama de Pourbaix, que estabelece as condições de pH e potencial para as quais o ferro corrói, se passiva ou permanece imune. O estado de imunidade do ferro é obtido com proteção catódica.

O ferro, quando em contato com a água, exhibe três tipos de comportamento.

- 1 - Imunidade - O ferro Fe é estável e não há corrosão.
- 2 - Corrosão - Produtos de corrosão (solúveis) do ferro, como o Fe^{++} , Fe^{+++} etc, são estáveis e a corrosão tem continuidade.
- 3 - Passivo - A presença dos produtos de corrosão (insolúveis) do ferro atenuam a corrosão.

Cada região colorida, neste diagrama, descreve as condições entre duas ou mais espécies, isto é, Fe, $Fe(OH)_2$, Fe^{++} e $Fe(OH)_3$. Suas principais aplicações estão no prognóstico da direção das reações de corrosão, na estimativa da composição dos produtos de corrosão e no prenúncio da ocorrência de corrosão, à medida que o ambiente muda. O ferro da armadura é oxidado, formando um filme de óxido passivo, $Fe(OH)_2$ em um concreto com pH de 10 a 13. Este filme de óxidos converte-se em íons Fe^{++} quando o valor do pH cai abaixo de 9. Contudo, este diagrama representa apenas as condições de equilíbrio do sistema eletroquímico, não indicando a velocidade das reações ou mesmo a velocidade em que ocorre a desintegração do aço. Por exemplo, para um pH 2, em um potencial de -0,8volts (ponto A), o ferro está numa região de imunidade e não corrói. Para um ponto de pH 2 e +0,2volts (ponto B) o ferro fica numa



região de íons solúveis estáveis, o que é tudo para a corrosão. Para um ponto de pH 10 e potencial +0,2volts (ponto C) o ferro está numa região onde as espécies insolúveis são estáveis e o ferro torna-se passivo (corrosão atenuada).



Figura 6
O viaduto do Joá, no Rio de Janeiro, apresenta fortes sinais de corrosão em seus pilares, dois anos após um trabalho de "recuperação" nestas peças. Sinais de corrosão já afloram nos encamismamentos dos pilares.

em direção à rua da solução, através da interface, seu próprio íon Fe^{++} é reduzido. Após um certo tempo, este troca-troca acaba e então se pode dizer que aquela região da barra esta em equilíbrio, como naquela experiência do box da página 25.

Desta forma, a densidade de corrente que atua na área anódica será igual a da catódica ou $i = i_{anódica} = i_{catódica}$, onde i é chamada de densidade de corrente de troca e o potencial correspondente é denominado potencial reversível (equilíbrio) da semi-reação.

Na verdade, o termo densidade de corrente de troca é incorreto, já que naquela situação não há qualquer fluxo de corrente. É meramente para representar a situação da interface no equilíbrio, informando que a densidade de corrente está relacionada à corrente em cada direção da reação reversível, isto é, uma corrente de dissolução anódica i_a , representada pela equação $Fe \Rightarrow Fe^{++} + 2e^-$, e uma corrente de "alimentação" catódica i_c , representada por $Fe^{++} + 2e^- \Rightarrow Fe$.

Só para contrariar, finalizando este assunto, vamos fazer o potencial do ferro mudar com uma "injeção" de corrente externa $i_{injetada}$. As correntes que aparecerão nas áreas catódica e anódica tomam direções opostas. Logo, devido a DDP imposta teremos:

$$i_{injetada} = i_{anódica} - i_{catódica}$$

O conceito de densidade de corrente anódica e catódica é muito importante no controle da corrosão.

Polarização

Esse assunto tem a ver com a quantidade de corrente que circula numa pilha de corrosão quando "injetamos" uma corrente externa, seja utilizando uma simples pilha de 1,5V, como no teste da tigela (pág. 25), seja instalando pastilha (corrente) galvânica numa região corroída de uma peça de



Figura 7 - Situação típica de uma "recuperação" estrutural convencional. A região central apresentava corrosão nas armaduras e foi "tratada" com "argamassa especial" contra a corrosão. Logicamente, esta região da armadura deixou de ser anódica para ser catódica. A região superior e a inferior, que eram catódicas, ou seja, não tinham corrosão, passaram a ser anódicas porque têm pH inferior e estão contaminadas. Mais, tem agora um excelente catodo para alimentá-las, principalmente na região das armaduras que separam a região "recuperada" das antigas (encima e embaixo). O chamado anel anódico.

concreto armado. A circulação de corrente, neste último caso, significa corrosão do anodo de sacrifício que está gerando a proteção na armadura.

Se medirmos o potencial da região recuperada com a pastilha galvânica Z, utilizando-se uma semi-pilha (tipo CPV-4 ou CANIN),

obteremos um potencial situado entre os potenciais das duas semi-reações, ou seja, da armadura e da pastilha. O anodo, neste caso o metal reativo da pastilha galvânica, uma liga de alumínio e zinco com potencial em torno de -1,20V, uma vez conectado ao ferro corroído da armadura e coberto com argamassa ou concreto, sofrerá uma queda de potencial benéfica à armadura. Imaginemos que o potencial de corrosão em uma determinada região da armadura seja -0,38volts, verificado inicialmente com a semi-pilha. A queda de potencial será -1,20 - (-0,38) = -0,82volts. Portanto, totalmente dentro da região de imunidade do ferro, ou seja, enquanto tiver esta voltagem, o aço corrói.

Esta mudança de potencial é chamada de polarização a diferença entre o potencial da pastilha e o potencial de corrosão original, no caso -0,82V, é chamada de overvoltagem (ou sobrevoltagem). As duas semi-

GLOSSÁRIO

Overvoltagem - É a medida da polarização, quando há circulação de corrente estranha na pilha de corrosão, variando o potencial de corrosão original. Representa, portanto, a diferença entre o novo potencial imposto e o potencial de corrosão original. Quando este valor é negativo tem-se uma polarização catódica no catodo, passando a ter um fluxo de corrente i_c mensurável, a chamada corrente catódica. Sobre a superfície da armadura ocorrem reações de redução.

Densidade de corrente de troca - Velocidade da transferência de cargas por m^2 de área, quando a superfície do aço alcança o equilíbrio dinâmico (potencial reversível) em uma solução.

Potencial de corrosão - Potencial da superfície do aço, em estado de corrosão, medido na condição de circuito aberto com uma semi-pilha de referência padrão. É interessante ressaltar que o potencial de corrosão original medido é igual, tanto para a região anódica quanto catódica, ou seja, com o advento da corrosão estabelece-se um potencial de equilíbrio típico.

Aguentar aguenta!



Mas até Quando?

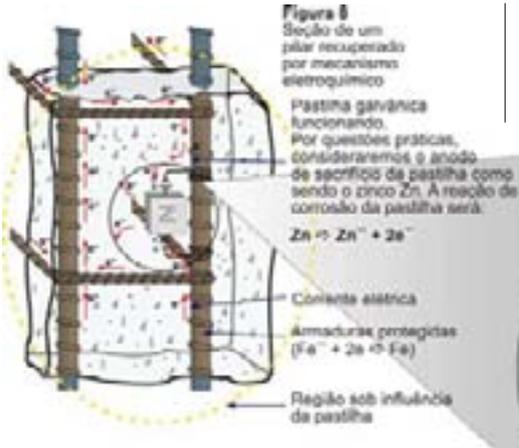
- Tratamento de concreto.
- recuperação estrutural.
- restauração de fachadas.
- revestimentos especiais.
- reforço estrutural com fibra de carbono.

TECNIPOL
recuperação e reforço estrutural

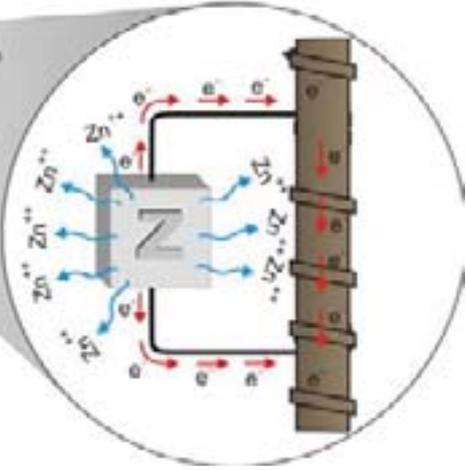
www.tecnipol.com.br

(11) 5573-0609

Rua Jorge Chammas, 301 - CEP 04016-070 - São Paulo - SP



reações envolvidas neste jogo querem se mostrar. Desta forma, cada uma delas possui uma curva ou reta (de polarização) característica que representa a relação entre



o overvoltage e a conseqüente corrente que agora circula para dentro e para fora da armadura, entre as duas reações em troca. O gráfico ao lado, potencial versus densidade de corrente, representa, efetivamente, o comportamento agora do processo de

proteção, através de curvas (ou retas) ditas polarizadas em uma região recuperada. O eixo horizontal do gráfico representa a corrente circulante que, por se tratar de valores extremamente pequenos é posto em escala logarítmica. Um outro aspecto do eixo horizontal é que a corrente é usualmente expressa como densidade de corrente, ou seja é a corrente circulante por uni-

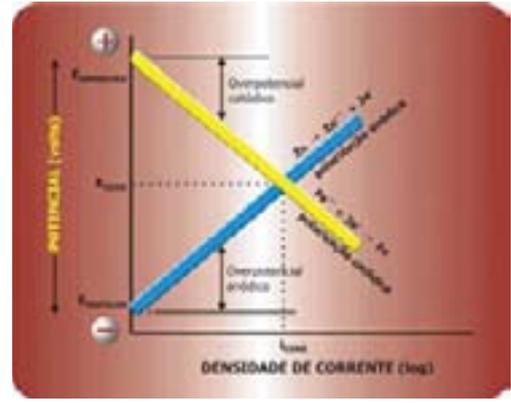


Figura 9
Curvas (ou retas) de polarização típicas quando se faz um tratamento da corrosão.

A introdução de pastilhas galvânicas, efetivamente, mexe com o ambiente da região com corrosão. O metal anódico Zn corrói liberando seus íons Zn^{2+} em direção à massa da pastilha, ali recebendo os íons hidroxila. Simultaneamente, produzem-se elétrons que fluem pelo arame de fixação em direção às armaduras. Ao longo das armaduras vão “recolhendo” os íons Fe^{2+} , reduzindo-os, impedindo assim a corrosão das armaduras naquela região. As armaduras, assim “varridas” pelos elétrons do zinco, tornam-se catódicas, estabelecendo a chamada proteção catódica.



Repare o nível de corrosão na lateral da viga-travessa que interliga as estacas, além das vigas que a ela chegam. A metodologia de recuperação deste sério processo de corrosão nas armaduras é antiquado e extremamente prejudicial ao restante da estrutura. Alguns dos motivos justificam-se. (1) A aplicação de “epóxi rico em zinco” não é eficiente como proteção catódica porque as partículas de zinco, dispersas na resina epóxica (isolante elétrico), não conseguem interagir com o aço. (2) Como proteção por barreira, este epóxi transforma a armadura em uma região rica em pites nos locais onde o epóxi não foi passado ou onde há furos na aplicação. Paralelamente transforma as armaduras anteriormente anódicas em catódicas e as catódicas em anódicas. (3) Nada do que está sendo feito assegura a interrupção da corrosão, o que é facilmente evidenciado com uma simples semi-pilha, após a “recuperação”. (4) O “tratamento” imposto apenas nas regiões críticas ou terminais, como o apresentado na foto, é um mero e perigoso paliativo pelas razões apresentadas acima e, principalmente, porque ignora o estado de corrosão “não aparente” no resto da estrutura, facilmente identificável com uma semi-pilha...



Figura 10 - Aqui também um encamisamento agora com concreto projetado. O motivo foi a corrosão nas armaduras. O projetista, desconhecendo o verdadeiro tratameto de neutralização da corrosão, mandou fazer o reforço com novas armaduras e tome uma seção maior de concreto. Em poucos anos teremos o mesmo problema, só que com uma seção maior.

dade de superfície do anodo, dentro da pastilha galvânica, que está corroendo. Os pontos A e C correspondem às condições de equilíbrio das duas semi-reações, sem qualquer corrente circulando entre elas (densidade de corrente igual a zero). Nestas regiões a pastilha ainda não foi instalada, de modo que impera o potencial de equilíbrio, ou seja, é o potencial de circuito aberto. Com a instalação, as curvas mostram que a corrente circulante para fora do anodo (pastilha) aumenta, à medida que seu potencial torna-se mais positivo (reta azul) e a corrente para dentro do catodo (armadura) aumenta a medida que seu potencial torna-se mais negativo. Estas curvas de polarização permitem a determinação da densidade de corrente de corrosão e o potencial de corrosão de uma região recuperada. Como já mostramos nos itens “Conceito de densidade de corrente” e “O potencial reversível e suas reações”, quando anodo de sacrifício e armaduras alcançam uma condição estável, a corrente circulante para fora da pastilha (anodo) deverá ser igual a corrente para dentro da armadura (catodo). Desta forma, a interseção das duas curvas de polarização estabelece o importante estado em que se encontram o potencial de proteção E_{CORR} e a densidade de corrente de proteção i_{CORR} da área recuperada.

Repare, no gráfico, que as densidades de corrente nos pontos A e C são iguais e denominadas de densidades de corrente de troca, típicas do estado de equilíbrio, podendo não ser em outros casos, necessariamente, iguais.

Em suma, quando interligamos uma pastilha, uma tela ou uma película galvânica com a armadura, toda a corrosão passa para o ano-

COMPACTA

tratamento de concreto

A experiência que faz a diferença





Siro Libanês/ SP Aeroporto Galeão/ RJ Col. D. Bosco/ DF

Visite nosso site:

www.compactoengenharia.com.br

RR COMPACTA

Engenharia
Restauração
Recuperação

Rua A. Nelson - Fátima A. Nelson
CNEA TORRE 1 CNEA TORRE 2

SP(11) 3083 4299 RJ(21) 2275 8449 DF(61) 225 1166

Se você recupera estruturas com corrosão apenas baseado nos sintomas de deslocamentos, pode apostar, você ainda vai se dar mal.



* Serviços tradicionais de recuperação estrutural motivados por corrosão custam caro, complicam ainda mais o estado eletroquímico das armaduras e dão a falsa garantia de alguns anos, quando a corrosão vem mais forte. ZTP economiza grande parte das etapas de recuperação e, simplesmente, “desliga” a corrosão.

ZTP

(ZINCO FERRO PROJETADO)

20 ANOS*
DE GARANTIA
CONTRA CORROSÃO NO
CONCRETO ARMADO

PC
Systems

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-4702
produtos@recuperar.com.br

Fax consulta nº 18

do de sacrifício e, desta forma, o catodo (armadura) está polarizado ou acabou de sofrer uma polarização catódica em direção a potenciais mais negativos (zona de imunidade). As curvas de polarização das semi-reações anódica e catódica de uma recuperação representam a massa crítica da compreensão do estado de corrosão nas armaduras e, por que não dizer, de uma erupção nos antigos conceitos esotéricos da corrosão no concreto armado e protendido. No capítulo seguinte, "Os segredos da corrosão II", estaremos apresentando outros conceitos sobre o desenvolvimento do estado de corrosão e proteção. **TT**

Fax consulta n° 19



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.
- Sagoe-Crentsil, K.K. and Glasser, F.P., Steel in Concrete, Part I: A Review of the Electrochemical and Thermodynamic Aspects, Mag. Conc. Res.
- Langford, P., and Broomfield, J.P., Monitoring the Corrosion of Reinforcing Steel, Construction Repair.
- Spellman, D.L., and Stratfull, R.F., Concrete Variables and Corrosion Testing, Highway Research Record.
- Stern, M., and Geary, A.L., Electrochemical Polarization I. A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves. Journal of Electrochemical Society.
- Tafel, A., Phys. Chem..
- Rodriguez, P., Ramirez, E., and Gonzalez, J.A., Methods for Studying Corrosion in Reinforced Concrete, Mag. Conc. Res..
- Matsuoka, K., Kihira, H., Ito, S., and Murata, T., Corrosion Monitoring for Reinforcing Bars in Concrete, Corrosion Rates of Steel in Concrete, ASTM STP 1065, (N. S. Berke, V. Chaker, and D. Whiting, eds.).
- Wheat, H. G., Corrosion Rate Determination on Repaired Reinforced Concrete Specimen, Corrosion Rates of Steel in Concrete, ASTM STP 1065. (N. S. Berke, V. Chaker, and D. Whiting, eds.), ASTM.
- Andrade, C., Merino, P., Novoa, X. R., Perez, M. C., and Soler, L., Passivation of Reinforcing Steel in Concrete, Materials Science Forum.

MC serviços técnicos e engenharia

Não contrate serviços de recuperação...



...contrate soluções em FIBRA DE CARBONO.

Em sua próxima obra de recuperação e reforço estrutural escolha praticidade, eficiência e rapidez.

Consulte-nos, pois temos a maior experiência em serviços de reforço com fibra de carbono.

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

MEDIDOR DOS POTENCIAIS DE CORROSÃO



SEMI-PILHA CPV4

Para medir os potenciais de corrosão no concreto armado, já está disponível o novo conjunto semi-pilha **CPV-4** com voltímetro digital. A semi-pilha **CPV-4** é um revolucionário instrumento que mede os potenciais de corrosão em superfícies de concreto armado e protendido. Com este equipamento poder-se-á levantar ou monitorar, de tempos em tempos, possíveis estados de corrosão e a sua evolução, antes que a estrutura apresente sinais de ruína por sintomas de corrosão (desplacamentos).

TR Technologies

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-4702
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta n° 20