CORROSÃO DE ARMADURAS

Veja mais apostilas em:

WWW.MEIACOLHER.COM

Generalidades

Pode-se definir corrosão como a interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica. Basicamente, são dois os processos principais de corrosão que podem sofrer as armaduras de aço para concreto armado: a oxidação e a corrosão propriamente dita.

Por oxidação entende-se o ataque provocado por uma reação gás-metal, com formação de uma película de óxido. Este tipo de corrosão é extremamente lento à temperatura ambiente e não provoca deterioração substancial das superfícies metálicas, salvo se existirem gases extremamente agressivos na atmosfera.

Este fenômeno ocorre, preponderantemente, durante a fabricação de fios e barras de aço. Ao sair do trem de laminação, com temperaturas da ordem de 900°C, o aço experimenta uma forte reação de oxidação com o ar ambiente. A película que se forma sobre a superfície das barras é compacta, uniforme e pouco permeável, podendo servir até de proteção relativa das armaduras contra a corrosão úmida posterior, de natureza preponderantemente eletroquímica. Antes do aço sofrer trefilação a frio, para melhoria de suas propriedades, esta película, denominada carepa de laminação, deve ser removida por processos físicos, do tipo decalaminação, ou químicos, do tipo decapagem com ácidos. A película inicial é substituída por outra de fosfato de zinco ou de hidróxido de cálcio, que são utilizados como lubrificantes do processo podendo ser, à semelhança da primeira, débeis protetoras do aço contra a corrosão úmida. Por não ser este o fenômeno principal de corrosão nas estruturas convencionais, não será aprofundado no presente trabalho.

Por corrosão propriamente dita entende-se o ataque de natureza preponderantemente eletroquímica, que ocorre em meio aquoso. A corrosão acontece quando é formada uma película de eletrólito sobre a superfície dos fios ou barras de aço. Esta película é causada pela presença de umidade no concreto, salvo situações especiais e muito raras, tais como dentro de estufas ou sob ação de elevadas temperaturas (> 80°C) e em ambientes de baixa umidade relativa (U.R.< 50%). Este tipo de corrosão é também responsável pelo ataque que sofrem as armaduras antes de seu emprego, quando ainda armazenadas no canteiro. É o tipo de corrosão que o engenheiro civil deve conhecer e com a qual deve se preocupar. É melhor e mais simples preveni-la do que tentar saná-la depois de iniciado o processo.

Embora num processo corrosivo sempre intervenham reações químicas e cristalizações de natureza complexa, será apresentado, a seguir, um modelo simplificado do fenômeno de ataque eletroquímico, que serve para explicar a maioria dos problemas e fornece as ferramentas básicas para sua prevenção.

Corrosão em meio aquoso

0 mecanismo de corrosão do aço no concreto é eletroquímico, tal qual a maioria das reações corrosivas em presença de água ou ambiente úmido (U.R. > 60%).

Esta corrosão conduz à formação de óxidos/hidróxidos de ferro, produtos de corrosão avermelhados, pulverulentos e porosos, denominados ferrugem, e só ocorre nas seguintes condições:

- · deve existir um eletrólito;
- · deve existir uma diferença de potencial; · deve existir oxigênio;
- · podem existir agentes agressivos.

O Papel do Cobrimento de Concreto

Uma das grandes vantagens do concreto armado é que ele pode, por natureza e desde que bem executado, proteger a armadura da corrosão. Essa proteção baseia-se no impedimento da formação de células eletroquímicas, através de proteção física e proteção química.

Proteção física

Um bom cobrimento das armaduras, com um concreto de alta compacidade, sem "ninhos", com teor de argamassa adequado e homogêneo, garante, por impermeabilidade, a proteção do aço ao ataque de agentes agressivos externos.

Esses agentes podem estar contidos na atmosfera, em águas residuais, águas do mar, águas industriais, dejetos orgânicos etc. Não deve, tampouco, conter agentes ou elementos agressivos internos, eventualmente utilizados no seu preparo por absoluto desconhecimento dos responsáveis, sob pena de perder, ou nem mesmo alcançar, essa capacidade física de proteção contra a ação do meio ambiente.

Proteção química

Em ambiente altamente alcalino, é formada uma capa ou película protetora de caráter passivo. A alcalinidade do concreto deriva das reações de hidratação dos silicatos de cálcio (C3 S e C2S) que liberam certa porcentagem de Ca(OH)2, podendo atingir cerca de 25% (~100 kg/m3 de concreto) da massa total de compostos hidratados presentes na pasta Essa base forte (Ca(OH)2) dissolve-se em água e preenche os poros e capilares do concreto, conferindo-lhe um caráter alcalino. O hidróxido de cálcio tem um pH da ordem de 12,6 (à temperatura ambiente) que proporciona uma passivação do aço.

0 potencial de corrosão do ferro no concreto pode variar de + 0,1 a -0,4 V, segundo a permeabilidade e as características do concreto, para temperaturas de 25°C.

A função do cobrimento de concreto é, portanto, proteger essa capa ou película protetora da armadura contra danos mecânicos e, ao mesmo tempo, manter sua estabilidade.

Pode-se dizer que a película passivante é de ferrato de cálcio, resultante da combinação da ferrugem superficial (Fe(OH)3) com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)2).

Portanto, a proteção do aço no concreto pode ser assegurada por:

- elevação do seu potencial de corrosão em qualquer meio de pH > 2, de modo a estar na região de passivação (inibidores anódicos);
- abaixamento de seu potencial de corrosão, com o fim de passar ao domínio da imunidade (proteção catódica); e
- manter o meio com pH acima de 10,5 e abaixo de 13, que é o meio natural proporcionado pelo concreto, desde que este seja homogêneo e compacto.

Sintomas

Nas regiões em que o concreto não é adequado, ou não recobre, ou recobre deficientemente a armadura, a corrosão torna-se progressiva com a conseqüente formação de óxihidróxidos de ferro, que passam a ocupar volumes de 3 a 10 vezes superiores ao volume original do aço da armadura, podendo causar pressões de expansão superiores a 15 MPa ($\approx 150 \, \text{kgf/cm2}$).

Essas tensões provocam, inicialmente, a fissuração do concreto na direção paralela à armadura corroída, o que favorece a carbonatação e a penetração de CO2 e agentes agressivos, podendo causar o lascamento do concreto.

Essa fissuração acompanha, em geral, a direção da armadura principal e mais raramente a direção dos estribos, a não ser que estes estejam à superfície. Deve-se considerar que os estribos, geralmente, estão na direção perpendicular ao maior esforço de compressão, o que pode impedir a fissuração profunda do elemento de concreto. Estribos da região central de uma viga podem fissurar o concreto na face inferior, mas dificilmente o farão na região junto aos apoios. Normalmente, o que se observa em estribos é o lascamento direto do concreto, sem fissuras iniciais.

Na maioria das vezes, aparecem manchas marrom-avermelhadas na superfície do concreto e bordas das fissuras, completando o quadro patológico.

Considerando-se a dificuldade natural que impede o cobrimento adequado de armaduras, principalmente de lajes - pois cobrem grandes áreas, são finas e durante a concretagem constituem a "pista" de movimentação do pessoal e dos equipamentos - são nesses componentes estruturais que se nota, em geral, mais rapidamente, o início da corrosão. Em pilares e vigas, o primeiro indício, geralmente, não é dado pela armadura principal, mas sim pelos estribos, que por vezes se apoiam diretamente sobre as fôrmas, sem cobrimento suficiente. No entanto, sob más condições "construtivas", a corrosão iniciar-se-á nos locais mais quentes e mais úmidos e onde o risco de condensação seja maior. O processo é nitidamente visível, pois os produtos de corrosão têm, predominantemente, colocação vermelho-marrom-acastanhada e, sendo relativamente solúveis, "escorrem" pela superfície do concreto, manchando-o.

Nos componentes estruturais, onde o concreto pode sofrer tração e fissuras, tais como lajes e vigas, o risco de corrosão é mais acentuado do que em painéis e componentes que trabalhem predominantemente à compressão.

O risco de corrosão também aumenta nas regiões angulosas, arestas e cantos da estrutura. É sempre aconselhável ter estruturas com cantos e arestas arredondados, assim como aumentar o cobrimento em situações de agressividade acentuada.

Em algumas situações especiais de corrosão de armaduras imersas em concretos leves e porosos (volume de vazios da ordem de 60%, enquanto que no concreto normal é de 10%), pode ocorrer o aparecimento de manchas externas de ferrugem sem fissuração.

Finalmente, é típico de corrosão preponderantemente eletroquímica em meio aquoso, a não continuidade perfeita do fenômeno em toda a extensão das armaduras consideradas.

Fatores que Aumentam o Risco da Corrosão

A diferença de tensão entre pontos da armadura pode ter origem em várias causas, tais como:

- · solicitações mecânicas distintas no aço e no concreto de regiões próximas do mesmo componente estrutural;
 - · diferenças na composição química e superfície do aço;
 - · diferenças de aeração devidas à maior ou menor compacidade e qualidade do concreto.

Nem sempre essas descontinuidades são suficientes para acarretar corrosão. Em geral, não produzem corrosão diretamente, mas contribuem - na medida em que o concreto deixa de proteger a armadura ou haja uma forte ação do meio ambiente, destruindo, parcial ou totalmente, essa proteção - para aumentar o risco de corrosão ou favorecer a aceleração de uma corrosão já iniciada.

Embora seja imprescindível a presença de oxigênio para que haja corrosão, é justamente nos locais de menor acesso, próximos a locais mais aerados, que se formam as zonas anódicas com maior intensidade de corrosão.

Elementos Agressivos Incorporados ao Concreto

E usual, na maioria das vezes por absoluto desconhecimento dos técnicos envolvidos, a incorporação de elementos agressivos durante o próprio preparo do concreto.

0 agente agressivo mais comum é o cloreto (íon Cl⁻) que pode ser adicionado involuntariamente ao concreto, a partir de aditivos aceleradores de endurecimento, agregados e águas contaminadas ou até a partir de tratamentos de limpeza (como, por exemplo, o ácido muriático).

A grande maioria dos aditivos aceleradores de pega e endurecimento tem na sua composição cloreto de cálcio (CaCl2). Esse sal dissolve, liberando ânions Cl⁻ que podem destruir a película passivadora proporcionada pelo meio alcalino, e acelerar permanentemente a corrosão sem consumir-se, concentrações de cloretos iguais ou superiores a 700 mg/l despassivam o aço imerso em água de cal (pH = 12,5), além de reduzirem significativamente a resistividade do concreto.

A literatura técnica sobre qual o teor de cloretos prejudiciais à armadura de concreto armado não é uniforme. As recomendações vão desde no máximo 0,03% para concreto protendido a 2,0% para concreto armado, em relação à massa de cimento usada no preparo do concreto. Essa porcentagem pode corresponder a concentrações desde 600 a 40000 mg/l em relação à água de amassamento para uma relação água/cimento de 0,5. Esses teores, por si mesmos não deveriam ser empregados em estruturas de concreto armado, segundo as recomendações da NBR-6118, que limitam em 500 mg/l a concentração total de cloretos, expressa em íons Cl⁻, na água de amassamento.

Na realidade, o problema de corrosão é bastante complexo, envolvendo uma série de outros fatores que fazem com que ora ocorra corrosão e ora não ocorra, para teores iguais de cloretos. Um dos fatores que parece alterar as condições que favorecem a corrosão é a migração - por ação de secagem, molhagem alternada, temperaturas, aeração diferencial etc. dos íons Cl⁻ na massa de concreto. Essa migração pode gerar diferenças de concentração e aí sim, pequenos teores concentrados podem ser mais perigosos que altos teores homogênea e uniformemente distribuídos. Ocorre estrutura fortemente atacada por corrosão, onde o teor de cloretos medido no produto de corrosão é de apenas 0,3% da massa de cimento.

Outro fator que minora o efeito da ação agressiva dos cloretos pode ser a sua capacidade de combinação com os aluminatos. A difusão dos cloretos na massa de concreto geralmente é retardada pela

formação de cloroaluminato de cálcio, pouco solúvel. Essa reação reduz a concentração de cloretos livres e favorece a proteção das armaduras.

Daí o fato já consagrado de que cimentos com altos teores de aluminato tricálcico (C3A) serem os mais indicados quando se está diante da presença inevitável de cloretos.

Os agregados de regiões próximas ao mar e águas contaminadas, ou salobras, também podem conter cloretos, na maioria das vezes sob a forma de cloreto de sódio (NaCl). Os teores admissíveis são da mesma ordem que para CaCl2, pois as exigências são sempre em relação ao ânion Cl⁻.

Finalmente, os cloretos podem ser incorporados ao concreto, involuntariamente, através de tratamentos superficiais de limpeza com ácido muriático, que nada mais é do que um ácido clorídrico comercial. Nossa experiência tem demonstrado ser comum esse tipo de acontecimento, pois a maioria das recomendações de fabricantes de pastilhas e pisos aconselham limpeza com ácidos. Sempre que houver risco de impregnação dessa solução na estrutura de concreto - e quase sempre o há - deve-se estudar outra forma de limpeza ou prever, por ocasião do projeto e execução, o concreto e o cobrimento de armadura mais adequados.

Embora não muito comum, o que também pode acarretar problemas, é o emprego de agregados com concreções ferruginosas, na maioria decorrentes de rochas em alteração. Agregados contendo piritas (sulfeto de ferro (FeS2) encontrado em granitos, gnaisses, rochas sedimentares e certas areias), goetita (óxido de ferro hidratado encontrado em concreções lateríticas), marcasita, pirrotita e concreções ferruginosas podem dar compostos expansivos e solúveis ao oxidarem-se. Isso acarreta vazios no concreto que contribuem para o aumento da permeabilidade e redução da proteção física do cobrimento. Os produtos das reações também podem ser ácidos (as marcasitas e piritas podem gerar ácido sulfúrico e sulfatos), que contribuirão para o aceleramento do fenômeno de carbonatação do concreto, reduzindo a proteção química do cobrimento.

De modo geral, todos os elementos que, ao serem incorporados ao concreto, contribuem para o aumento de sua permeabilidade poderão ser considerados agressivos à armadura. Entre esses pode-se citar: teor elevado de matéria orgânica presente no agregado, teor elevado de materiais pulverulentos, teor elevado de torrões de argila, matérias carbonosas, sulfetos e enxofre, eventualmente presentes em excesso nas adições de escória.

Com relação à qualidade da água de amassamento, as recomendações da NBR-6118 parecem ser seguras em relação ao problema da corrosão de armaduras.

Praticamente todos os revestimentos, nos quais predominem a cal e o cimento Portland como aglomerantes, não acarretam problema para a armadura e até, pelo contrário, poderão auxiliar na proteção. Não é o caso de outros revestimentos à base de gesso, por exemplo. O sulfato de cálcio hemihidratado (CaSO4 1/2 H2 O) e o produto resultante da reação de endurecimento, o sulfato de cálcio dihidratado (Ca5O4 2 H2 O1, têm caráter ácido, principalmente os gessos decorrentes da obtenção de fertilizantes. Esse subproduto industrial pode originar pastas e argamassas com pH por volta de 6 e, consequentemente, por serem porosos e higroscópicos, contribuem para o aumento do risco de corrosão das armaduras. Da mesma forma, há que se cuidar do emprego indiscriminado de argamassas prontas. A maioria das normas e recomendações internacionais e em especial a norma brasileira NBR6118 contam com essa proteção adicional, sendo que alguns tipos de argamassas e revestimentos diretamente aplicados sobre o concreto podem não oferecer.

Influência do Meio Ambiente

Entre os principais tipos de meios ambientes caracterizados através de tipos de atmosfera, onde se localiza a estrutura de concreto, pode-se ter as atmosferas rural, urbana, marinha, industrial e viciada, como descreve-se a seguir.

Atmosfera rural

Considera-se as regiões ao ar livre, à grande distância das fontes poluidoras de ar, que se caracteriza por um baixo teor de poluentes.

Tal atmosfera tem fraca ação agressiva às armaduras imersas em concreto, sendo bastante lento o processo de redução da proteção química proporcionada pelo cobrimento de concreto, através da sua alta alcalinidade. Não há gases ácidos em quantidades suficientes para depositarem-se sobre as superfícies expostas e, consequentemente, acelerarem o processo de carbonatação que passa também a ser mais lento do que aquele verificado em outras regiões.

Os teores de S02 , H2S, NOx (NO + NO2) e NH3 (gases); S04, C1 $^-$, N03 e NH4 (sólidos) são praticamente desprezíveis, a menos que haja uma fonte natural como, por exemplo, esterco, estrume, que liberam NH3 e SO2 na sua fermentação, ou rios e lagos poluídos que liberam HZ S. As atmosferas rurais têm baixos teores de partículas em suspensão, da ordem de 20μ g/m³ e, eventualmente, podem ter teores elevados de partículas sedimentáveis, porém não é material ácido e, portanto, não acelera obrigatoriamente a corrosão. A chuva em regiões rurais (pequenas cidades sem indústrias) tem pH "natural", da ordem de 6,5.

Atmosfera urbana

Considera-se as regiões ao ar livre, dentro de centros populacionais maiores. Essas atmosferas de cidade contêm, normalmente, impurezas em forma de óxidos de enxofre (S02), fuligem ácida e outros agentes agressivos, tais como C02, NOx, H2 S, SO4 etc.

O ar atmosférico é uma mistura de ar seco e vapor de água. A quantidade de vapor de água presente no ar é variável, mas para uma dada temperatura, tem-se um valor máximo de vapor de água que um dado volume de ar pode conter. Este valor máximo, denominado saturação, varia com a temperatura, sendo maior quando esta aumenta. A relação entre o valor de conteúdo de vapor de água na atmosfera e o valor de saturação para uma dada temperatura é denominada umidade relativa (U.R).

De acordo com a umidade relativa, pode-se caracterizar o ar como:

A umidade do ar é um dos fatores mais importantes que afetam a velocidade da corrosão atmosférica. A simples presença de água no ar, contudo, não causa corrosão; ar puro, saturado e com vapor de água determina apenas uma corrosão muito leve em metais como, por exemplo, o ferro e o cobre. Pode-se observar que, ainda que a umidade relativa seja muito elevada (99%) por um tempo apreciável, a velocidade de corrosão do ferro mantém-se baixa. Contrariamente, a curva "B", quando é introduzido 0,01% de SO2 no ar, a velocidade de corrosão aumenta consideravelmente ao alcançar uma umidade relativa de 75%. Este valor denominado umidade crítica é definido como a umidade relativa, acima da qual o metal começa a corroer-se de maneira apreciável, dependo ainda, da presença de contaminantes.

Os teores de SO2, na Grande São Paulo, variam de cerca de 0,1 a um máximo de cerca de 1,0ppm e são originados pela queima de combustíveis contendo enxofre como, por exemplo, óleo combustível.

Os teores de H2S (gás sulfídrico) são originados da ação bacteriológica de rios e represas, sendo mais concentrados nesses locais (marginais) e podendo atingir teores de 0,01 a cerca de 1,0ppm. Os teores de CO2 podem estar de 300 (natural de zona rural) a 600 ppm. O SO4 é resultante basicamente da oxidação do SO2 , principalmente em presença de amônia NH3 (gás). Forma-se um sal (sulfato de amônio (NH4)2 SO4) que é um sólido em suspensão, podendo depositar-se por impactação nas superfícies das estruturas. Em atmosferas industriais, onde há maiores teores de amônia como, por exemplo, resultantes de obtenção de fertilizantes, esse risco é maior. Nas superfícies de concreto, esse sal pode dar origem ao H2SO4 (ácido sulfúrico) e promover a despassivação do aço. Os teores de N03 e Cl⁻ são da ordem de 100µ.g/m³. Os teores de SO4 variam de 10 a 100µ g/m³.

As partículas em suspensão podem estar de 50 a 500μ g/m3 e, sendo ácidas (fuligem), contribuem não só para a corrosão direta, como também para a maior retenção de água na superfície das estruturas, às quais ficam aderidas por impactação. A chuva, nesse caso, ao carrear material em suspensão, pode ter pH < 4. As partículas sedimentáveis podem atingir teores de até $10 \text{ g/m2} \cdot \text{mês}$.

Os produtos de corrosão em atmosferas rurais (puras) podem ser protetores e até reduzir a intensidade de corrosão, pois, em geral, são compactos e aderentes. Não é o que se verifica em atmosferas marinhas, urbanas e industriais, onde não há formação de barreira protetora e o processo pode, inclusive, auto-acelerar-se, pois a ferrugem promove um aumento da superfície exposta e, consequentemente, um aumento da condensação de umidade e deposição de fuligem que, num processo cíclico, torna a aumentar a corrosão.

Atmosfera marinha

Considera-se as regiões ao ar livre, sobre o mar e perto da costa. A atmosfera marinha contém cloretos de sódio e de magnésio, quer em forma de cristais, quer em forma de gotículas de água salgada. Essa atmosfera pode também conter sulfatos, cujos teores médios, no oceano Atlântico, são da ordem de:

```
íons sulfato (S04 )...... ~ 2800 mg/l;
íons cloreto (CR~)..... ~ 20000mg/l;
íons magnésio (Mg++).... ~ 1400 mg/l.
```

Esses elementos são extremamente agressivos e contribuem para a aceleração do processo de corrosão das armaduras embebidas em concreto, mesmo quando em pequenas proporções.

Como referência, pode-se dizer que a velocidade de corrosão em atmosfera marinha pode ser da ordem de 30 a 40 vezes superior à que ocorre em atmosfera rural (pura). Daí o fato de processos construtivos apresentarem-se adequados para obras localizadas no interior - quando uma eventual corrosão só será notável após 8 anos - enquanto que em regiões litorâneas não se mostram convenientes, apresentando sinais acentuados de corrosão em apenas 2 a 3 meses, algumas vezes antes mesmo de concluídas as obras.

Os teores de gases agressivos na atmosfera dependem das indústrias locais, da concentração urbana e de eventuais fontes isoladas.

Atmosfera industrial

Considera-se as regiões ao ar livre em zonas industriais contaminadas por gases e cinzas, sendo mais freqüentes e agressivos o H2 S, SO2 e NOX. 0 SO2 pode oxidar-se, gerando H2 SO2 com os consequentes inconvenientes já mostrados no item 2.2.4.

Os outros gases ácidos contribuem para a redução da alcalinidade do concreto e aumentam a velocidade de carbonatação, destruindo a película passivadora do aço.

Atmosferas industriais podem acelerar de 60 a 80 vezes mais o processo de corrosão, quando comparadas a situações equivalentes em atmosferas rurais (puras).

A ação danosa dessas atmosferas deve ser considerada sempre em conjunto com a umidade relativa da região, pois se não for atingida a umidade crítica, não haverá risco de corrosão acentuada. Essa umidade crítica para o aço, a 25°C, está por volta de 65 a 85%.

Fechando o ciclo do efeito de fatores regionais, deve ser considerada, também, a ação da temperatura. O efeito mais destacado da temperatura está relacionado com a possibilidade de condensação de água nas superfícies expostas, além, evidentemente, de que o aumento de temperatura atua como catalisador ou acelerador de todo processo químico.

Para um dado teor de vapor de água no ar, uma diminuição brusca de temperatura pode acarretar a condensação ou, pelo menos, aumentar a U. R., podendo então ultrapassar a umidade crítica.

A Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE publica, periodicamente, dados do Brasil, fornecendo a umidade relativa média anual e as isotermas das temperaturas, que podem orientar um programa geral de proteção às armaduras de concreto, sendo mais indicado, no entanto, obter-se os dados diretamente da região onde será implantada a estrutura.

Como se verifica, esses teores ainda estão abaixo dos teores corrosivos limites citados na bibliografia especializada. Na realidade, os estudos experimentais têm como restrição principal o tempo e, portanto, nem sempre são capazes de quantificar influências de teores baixos. O certo é que a ação permanente de baixos teores é tão ou mais perniciosa do que a ação de altos teores por curto espaço de tempo. Além disso, deve ser considerado o fato de que as estruturas de concreto são porosas, absorvem e retêm os elementos agressivos, aumentando assim, continuamente, a concentração superficial de substâncias corrosivas.

Atmosfera viciada

Considera-se as regiões em locais fechados com baixa taxa de renovação de ar. Nestes locais pode haver uma intensificação da concentração e até geração de gases agressivos às armaduras de concreto.

O exemplo mais significativo é a ação do ácido sulfúrico, gerado em coletores e interceptadores de esgoto, a partir da presença de sulfetos (S⁻). À medida que o esgoto flui pela rede coletora, a concentração de oxigênio dissolvido gradualmente diminui, devido a uma demanda que é maior que o fornecimento. Em algum ponto do sistema, o oxigênio é exaurido e os sulfetos aparecem.

O teor elevado de sulfetos no esgoto pode ter origem em duas causas:

- · produtos resultantes de ação bacteriológica
- · descarga direta de esgotos industriais nos coletores.

A água potável contém certo teor de sulfatos que é grandemente aumentado após seu uso. As bactérias necessitam de oxigênio para consumir a matéria orgânica e quando o oxigênio livre não é disponível, certas espécies obtêm o mesmo de íons sulfato (SO4), deixando livre o íon sulfeto (S⁻⁻). A reação do sulfeto com a água resulta no íon HS⁻ e gás sulfídrico (H2S).

Esse gás liberado é absorvido pelas partes superiores do coletor, sendo novamente oxidado por ação de bactérias aeróbias e transformando-se em ácido sulfúrico.

A formação de sulfetos depende, essencialmente, da presença de limos, da existência de bactérias aeróbias e anaeróbias e do baixo teor de oxigênio dissolvido.

Recuperação

A recuperação deste tipo de fenômeno patológico - corrosão de armaduras - é delicada e requer mão-de-obra especializada. Consiste basicamente de três etapas, descritas a seguir. Limpeza rigorosa, de preferência com jato de areia e apicoamento de todo o concreto solto ou fissurado, inclusive das camadas de óxidos/ hidróxidos das superfícies das barras. Análise criteriosa da possível redução de secção transversal das armaduras atacadas. Se viável, esta análise será feita através de ensaios comparativos de resistência entre peças sadias e as mais atingidas. Se necessário, colocar novos estribos e/ou novas armaduras longitudinais. Sempre que se empregar solda, esta deve ser à base de eletrodos, controlando-se o tempo e a temperatura a fim de evitar a mudança da estrutura do aço, principalmente se este for de classe B (EB-3 da ABNT).

- · Reconstrução do cobrimento das armaduras de preferência com concreto bem adensado. Este cobrimento tem a finalidade de:
 - impedir a penetração de umidade, oxigênio e agentes agressivos até as armaduras;
 - recompor a área da secção de concreto original;
 - propiciar um meio que garanta a manutenção da capa passivadora no aço.

Esse novo cobrimento pode ser executado através de qualquer procedimento que atenda a esses requisitos como:

- · Concreto projetado com espessura mínima de 50mm. O concreto projetado tem boa aderência ao concreto "velho" e não requer fôrmas, mas tem a desvantagem de acarretar muita reflexão (perda de material) e "suiar" o ambiente.
- · Adesivos à base de epóxi para união do concreto "velho" com o "novo", sendo este aplicado no local por método tradicional. Leva vantagem em relação ao anterior, pois impermeabiliza a armadura definitivamente, impedindo que mesmo com a carbonatação superficial haja corrosão. Essa solução apresenta a desvantagem de requerer fôrmas e serem difíceis a compactação e adensamento do concreto "novo", e geralmente acarreta secções finais maiores que as iniciais com prejuízos estéticos.
- · Concretos e argamassas poliméricas obtidas de resinas à base de epóxi ou metil metacrilato. Têm alta durabilidade, impermeabilidade, aderência ao concreto "velho" e à armadura, porém necessitam fôrma e requerem mão-de-obra especializada e testes prévios de desempenho, pois há muita flutuação nas características desses produtos. Esses concretos e argamassas têm a vantagem de não acarretarem problemas estéticos, pois podem ser moldados em pequenos "espaços" disponíveis. Em geral são caros.
- · Concretos e argamassas especiais para "grauteamento". Esses produtos não apresentam retração, têm boa aderência e podem ser autoadensáveis, não exigindo aumento de secção além da original; porém, inconvenientemente, requerem fôrmas.
- · Concretos e argamassas "comuns", bem proporcionados, com baixa relação água/cimento e aplicados com fôrma, dentro das técnicas de bem construir. Essa solução geralmente exige grande aumento de secção e requer alto conhecimento de tecnologia de concreto para assegurar a aderência do concreto "velho" ao concreto "novo".

Finalmente, cabe lembrar que, antes de qualquer recuperação, devem ser identificadas e sanadas as causas. Caso isso não seja observado, corre-se o risco de acarretar corrosão em outros locais por haver criado mais descontinuidade na estrutura, além das que originalmente existiam.

Quando a causa é devida a cloretos incorporados à massa de concreto, a solução pode não ser simples e, em geral, requer respostas específicas para cada caso.

Recursos Especiais

Na proteção das armaduras de concreto pode ser necessário o emprego de recursos especiais de proteção quando, por exemplo:

- · não há como se obter o cobrimento mínimo adequado;
- · não há como se impedir o uso ou acesso de agentes agressivos;
- · não há como se impedir a existência de correntes de fuga (linhas férreas em geral), que podem causar diferenças significativas de potencial ;
- · não há como se impedir a proximidade de metais mais eletropositivos, tais como tubulações de cobre junto à armadura;
 - · há vantagens econômicas.

Considerações Finais

A corrosão das armaduras no concreto armado é um fenômeno que só ocorre quando as condições de proteção proporcionadas pelo cobrimento de concreto são insuficientes.

Essa insuficiência, como visto, pode ser acarretada por agentes com origem em diferentes fontes, sendo sempre necessário identificá-las, a fim de que se possa lograr uma proteção efetiva e duradoura.

Cabe ressaltar que o fenômeno da corrosão de armaduras é mais frequente do que qualquer outro fenômeno de degradação das estruturas de concreto armado, comprometendo-as tanto do ponto de vista estético, quanto do ponto de vista de segurança e sendo sempre dispendioso o seu reparo ou recuperação.

Em algumas estruturas, tais como obras marítimas, a incidência de corrosão pode ser mais importante que a própria ação da água de mar sobre o concreto, conclui-se que a deterioração dos pelares e colunas em águas de mar deve-se, principalmente, à corrosão das armaduras.

A fiel observância dos cobrimentos mínimos, da qualidade do concreto e da uniformidade de execução podem evitar esse problema.

De qualquer forma, sendo um fenômeno expansivo, na maioria dos casos torna-se visível a tempo, possibilitando a tomada rápida de medidas de recuperação e proteção.