

# A CORROSÃO DAS ARMADURAS DE CONCRETO

**Victor Hugo LODI**

Engenheiro Civil, Especialista em Projeto e Análise de Estruturas pela UFRGS, Mestrado em Tecnologia do Concreto - UFSC/UNOCHAPECÓ. Rua Olavo Bilac, 63, CEP 89820, Xanxerê (SC) Brasil – [basalto@basalto.eng.br](mailto:basalto@basalto.eng.br)

## RESUMO

Este artigo procura analisar o mecanismo da corrosão de armaduras de concreto armado. Procedeu-se a análise dos elementos que permitem a iniciação do processo, sua propagação, efeitos e sintomas, relacionando-os com as características e propriedades do concreto. Posteriormente apresentamos as formas de inspeção, identificação e alternativas de recuperação e controle do processo.

## ABSTRACT

This article tries to analyze the mechanism of framework corrosion in the concrete. We have analyzed the elements that allow the beginning of the process, its propagation, effects and symptoms in the structures of the concrete and linked them with the characteristics and properties of the concrete related to the phenomenon. Finally, we presented the ways of inspection, identification and alternatives of recovering and control of the process.

**Palavras-chaves:** armadura, corrosão, carbonatação, cloretos.

## 1. INTRODUÇÃO

A corrosão pode ser definida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, seja por ação física (cativação e erosão), química (reações de expansão e de lixiviação dos compostos hidratados da pasta de cimento Portland), ou eletroquímica (metais em meio aquoso) que implique a inutilização para uso.

A corrosão das armaduras é uma das principais causas de deterioração das estruturas de concreto armado, afetando diretamente sua durabilidade, estando esta diretamente relacionada com a porosidade da pasta de cimento, com a umidade, com a agressividade do meio. As estruturas de concreto se encontram passivas em função da alta alcalinidade do extrato aquoso do concreto, que possui pH entre 12 e 13, conforme HELENE (1981) o que favorece a formação de um filme de óxidos submicroscópico passivante, compacto e resistente aderido à superfície da armadura, inviabilizando assim a ocorrência da corrosão.

A carbonatação e o ingresso de íons cloretos no concreto são os principais agentes iniciadores da corrosão das armaduras, gerando sensível redução na vida útil das estruturas e um aumento nos seus custos de manutenção.

O cobrimento do concreto tem a finalidade de proteger fisicamente a armadura e propiciar um meio alcalino elevado que evite a corrosão pela passivação do aço. Esta proteção depende das características e propriedades intrínsecas do concreto. Assim, um concreto bem dosado, pouco permeável, compacto e apresentando uma espessura adequada de cobrimento estará bem protegido à formação de células eletroquímicas pela estanqueidade

e pela reserva alcalina. Esta proteção impedirá a entrada de agentes agressivos que venham a desencadear a despassivação das armaduras.

Este trabalho visa ressaltar a importância da consideração destes fatores na proteção das armaduras de concreto armado, sugerindo processos preventivos e corretivos.

Faremos inicialmente análise do mecanismo da corrosão e de algumas propriedades básicas dos concretos, permitindo a interpretação dos fenômenos e ao entendimento da patologia das estruturas de concreto geradas.

## 2.0 – MECANISMOS DE CORROSÃO DAS ARMADURAS DE CONCRETO

O processo de corrosão depende do equilíbrio das reações de corrosão com o pH, podendo ser estabelecida uma relação em função deste, que são representadas graficamente pelo diagrama de POURBAIX (1976).

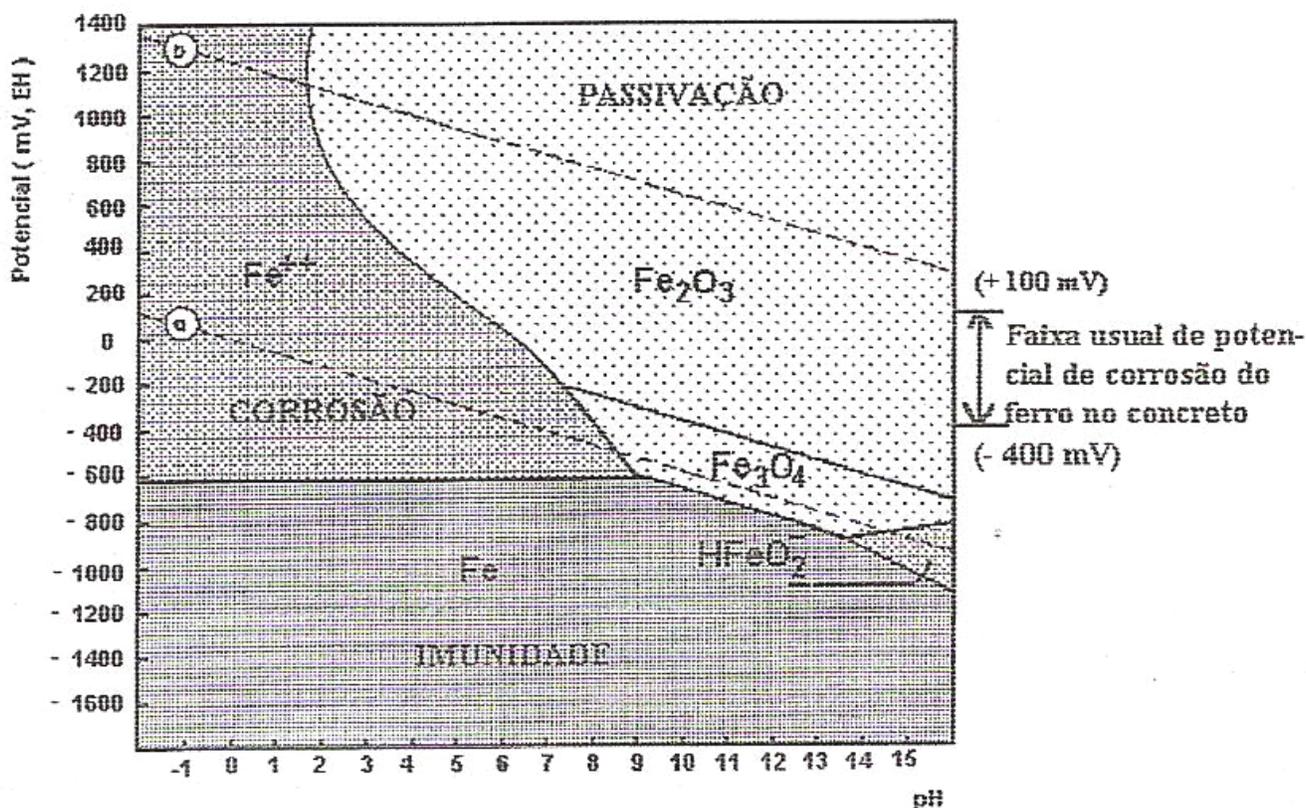


Fig1 -Diagrama de Pourbaix de equilíbrio termodinâmico. Potencial x pH para o sistema Fé-H<sub>2</sub>O a 25°C, delimitando os domínios de corrosão, passivação e imunidade

Sendo o concreto uma solução aquosa intersticial alcalina com valores de pH em torno de 12,5 e 13,5, fornece às armaduras um alto grau de proteção contra a corrosão, para uma faixa usual de potencial de corrosão no concreto na ordem de +100mV e -40 mV em relação ao eletrodo padrão de hidrogênio, sendo as reações de eletrodo verificadas no ferro de passivação. HELENE (1986), apresenta que para a corrosão no interior do concreto se desenvolva, são necessárias algumas condições, como seguem:

**a) existência de eletrólito:** meio onde ocorrem as pilhas ou células de corrosão de natureza eletroquímica, que conduzirá os íons, gerando uma corrente de natureza iônica e também para dissolver o oxigênio. O eletrólito, no concreto, é constituído pela solução intersticial aquosa que contém íons em solução, podendo ser fraca ou forte em função da quantidade de íons presentes.

**b) existência de uma diferença de potencial:** deverá obrigatoriamente existir uma ddp entre dois pontos aleatórios, seja pela diferença de umidade, aeração, concentração salina, tensão do concreto ou aço, impurezas no metal ou outras heterogeneidades características do concreto pela carbonatação ou pela presença de íons.

**c) existência de oxigênio:** Será o oxigênio o regulador de todas as reações de corrosão, estando presente por dissolução nos poros do concreto.

**d) existência de agentes agressivos:** a ocorrência de agentes agressivos no eletrólito, influenciam fortemente o início e a velocidade da corrosão, como é o caso de íons sulfetos ( $S^{2-}$ ), íons cloretos ( $Cl^-$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), etc, que atuam nas reações necessárias ao processo acentuando a ddp e facilitando a dissolução da camada de passivação.

A corrosão se desenvolve com a presença das reações seguintes:

Nas **zonas anódicas** (regiões corroídas), ocorrem as reações principais de dissolução do metal (oxidação) segundo ROGERS (1967), o processo anódico ocorre na superfície do metal.



Nas **zonas catódicas** (regiões não corroídas), ocorrem as reações de redução de oxigênio, que é o caso da armadura do concreto. O processo catódico ocorre na interface entre o metal e o eletrólito e depende da disponibilidade de oxigênio dissolvido e do pH da interface metal-eletrólito. As reações mais interessantes, segundo MIRANDA & BASÍLIO (1987)



Os produtos oriundos da corrosão criam expansões nas armaduras, causando danos ao concreto como a fissuração e produzindo uma variação na distribuição de tensão sobre a secção o que gera um deslocamento angular no sentido do comprimento da barra rígida e uma redução na ligação armadura/concreto pela perda de confinamento.

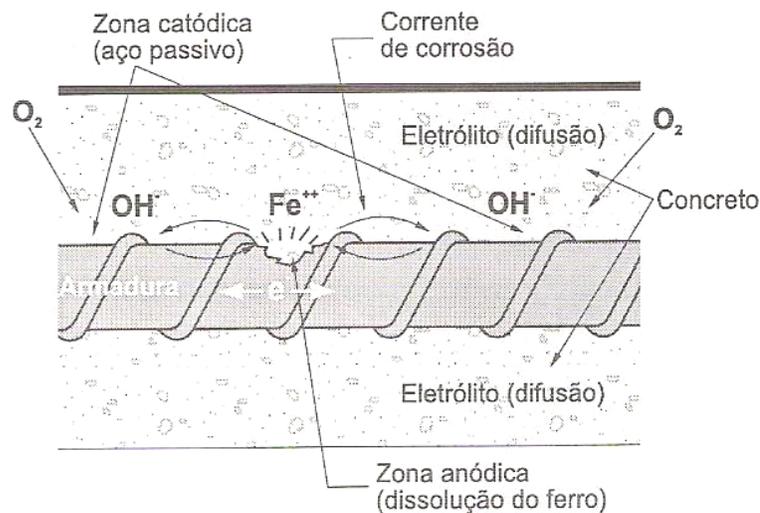
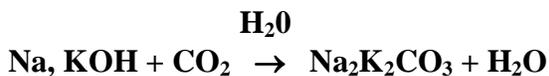
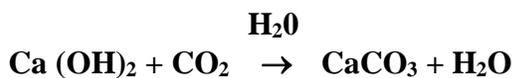


Fig.2-Pilha eletroquímica de corrosão no concreto armado

### 3.0 – CARBONATAÇÃO

É o processo de neutralização da fase líquida intersticial saturada de hidróxido de cálcio e outros compostos alcalinos hidratados do concreto, recebendo este nome pela maior incidência de  $\text{CO}_2$  nas reações, que como resultado ocasiona uma diminuição do pH do concreto para valores próximos a 9.



A velocidade de carbonatação aumenta quando o ambiente possui maior concentração de  $\text{CO}_2$ , principalmente em concretos com elevadas relações água/cimento, ocorrendo o transporte do  $\text{CO}_2$  através do sistema de poros da pasta de cimento endurecida. A ação do  $\text{CO}_2$  ocorre mesmo em concentrações pequenas como as que se observam em ambiente rural, onde o teor de  $\text{CO}_2$  é cerca de 0,03% em volume, em laboratório o teor pode chegar a 0,1% e nas grandes cidades 0,3% podendo atingir até 1%.

Dos componentes da pasta de cimento, o que reage mais rapidamente com o  $\text{CO}_2$  é o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , resultando  $\text{CaCO}_3$ , mas outros componentes também são decompostos produzindo sílica, alumina e óxido férrico hidratados. Quando se esgota o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  através de uma reação com a sílica das pozolanas, também é possível a carbonatação do C-S-H, formando-se simultaneamente ao  $\text{CaCO}_3$  o gel de sílica, com poros grandes, facilitando o processo.

Vários são os fatores que influenciam a carbonatação, como destacamos a seguir:

**a)umidade do ambiente:** A carbonatação se faz de forma progressiva do exterior do concreto exposto ao CO<sub>2</sub>, a uma velocidade decrescente, pois o CO<sub>2</sub> se difunde através do sistema de poros. Esta difusão é lenta se os poros da massa de cimento hidratado estiver preenchida com água, no entanto se a água dos poros for insuficiente o CO<sub>2</sub> permanece na forma de gás e não reage com o cimento hidratado. Portanto, a velocidade de carbonatação está diretamente relacionada com a umidade do concreto, sendo máxima em umidades relativas do ar entre 50% e 70%.

Quando os poros de concreto estão secos o CO<sub>2</sub> se difunde para o interior do concreto sem a ocorrência da reação de carbonatação pela falta de água. Quando os poros estão cheios de água, a frente de carbonatação é impedida devida à baixa difusão do CO<sub>2</sub> na água. Se os poros estão parcialmente preenchidos com água, a frente de carbonatação avança pela possibilidade de difusão do CO<sub>2</sub>.

Na prática a relação da umidade relativa com a profundidade de carbonatação em função do tempo é bastante complexa devido aos randômicos ciclos de umedecimento e secagem a que as estruturas de concreto podem estar expostas.

Uma característica do processo de carbonatação é a existência de uma “frente” de avanço do processo, que separa duas zonas com pH muito diferentes; uma com pH menor que 9 (carbonatada) e outra com pH maior que 12(não carbonatada). Ela é comumente conhecida por *frente de carbonatação* e deve sempre ser mensurada com relação à espessura do concreto de cobrimento da armadura. É importante que essa frente não atinja a armadura, sob pena de despassivar a armadura.

Em condições ambientais normais, a profundidade de carbonatação aumenta proporcionalmente à raiz quadrada do tempo, sendo mais uma característica da capilaridade do que da difusão, envolvendo também a interação entre o sistema de poros e o CO<sub>2</sub>. A expressão apresentada abaixo representa a profundidade de carbonatação, D, em mm:

$$D = K t^{0,5} \quad \text{onde,} \quad K = \text{coeficiente de carbonatação, mm/ano}^{0,5}$$

T = tempo, anos

Em locais onde a umidade do ambiente se mantém elevado durante longos períodos, de maneira que a hidratação do cimento é prolongada, se tem uma cura natural das partes superficiais. A falta de uma cura inicial ocasionará efeitos sobre a carbonatação pôr muitos anos, resultando na parte externa do concreto, uma microestrutura que facilita a difusão do CO<sub>2</sub>.

O gráfico abaixo apresenta os estudos de NEVILLE sobre a evolução da carbonatação com o tempo em diversas condições ambientais, na Alemanha: A- 20°C e umidade relativa 65%; B – externo protegido pôr cobertura; C – superfície horizontal ambiente externo. Os valores são médios para concretos com relação água/cimento 0,45, 0,60 e 0,80, com cura pôr molhagem durante 7dias

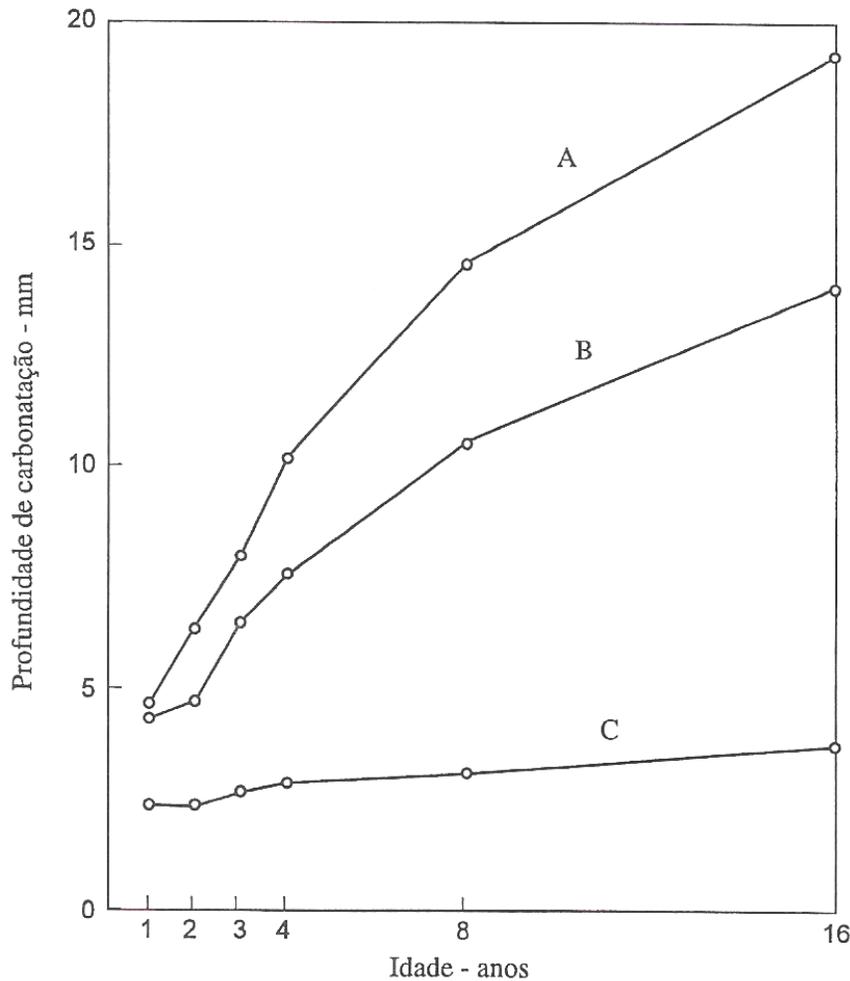


Fig.3 – Evolução da Carbonatação com o tempo

**b) tipo e quantidade de cimento:** A quantidade de compostos alcalinos para reagir com o  $\text{CO}_2$ , depende do tipo de cimento empregado na produção do concreto. Os cimentos com adições apresentam um desempenho inferior aos cimentos Portland puros, no que se refere a resistência a carbonatação, estando relacionados com a cura que cada tipo de cimento exige. A profundidade de carbonatação diminui com a quantidade de cimento por metro cúbico de concreto.

Concretos com adições de escória de alto-forno ou com adições materiais pozolânicos tais como cinza volante ou sílica ativa, apresentam estruturas de pasta mais compactas e, portanto, os desempenhos desses concretos quanto à penetração de líquidos, gases e íons são consideravelmente melhores se comparados aos concretos de cimento Portland comum. Isto significa importantes benefícios quanto a ação deletéria dos cloretos. Em contrapartida, pioram o comportamento dos concretos em relação à carbonatação. Como balanço final, os benefícios propiciados pelos cimentos com adições são sem dúvida maiores do que os eventuais prejuízos obtidos.

**c) relação água cimento:** Está relacionada à quantidade e ao tamanho dos poros do concreto endurecido e às propriedades mecânicas finais do concreto. Maiores serão a porosidade e a permeabilidade quanto maior for a relação água/cimento, que facilita a

difusão do  $\text{CO}_2$  através do concreto. Como a resistência a compressão é inversamente proporcional a relação água/cimento, torna-se lógica a suposição de que a carbonatação diminui com o aumento da resistência a compressão do concreto.

A relação água/cimento é um dos parâmetros mais importantes em todo contexto da corrosão, pelo fato de que ela determina a qualidade do concreto, ou seja, define as características de compactidade ou porosidade da pasta de cimento endurecida. O concreto, por sua vez, oferecerá maior proteção contra a corrosão da armadura a medida em que ele for de mais alta qualidade. Uma baixa relação água/cimento retardará a difusão de cloretos, dióxido de carbono e oxigênio, além de dificultar a entrada de umidade e agentes agressivos para o interior do concreto.

**d) condições de cura:** Os efeitos das condições de cura (imersão, vapor, membrana, etc) com a utilização de períodos distintos, sobre a porosidade de pastas de cimento endurecidas, apresentaram diferenças significativas entre os diâmetros dos poros capilares das pastas de cimento (AUSKEM E HOM, 1976). Quanto maior o tempo de cura, maior será o grau de hidratação do cimento, resultando menores porosidade e permeabilidade e, em consequência, menor carbonatação.

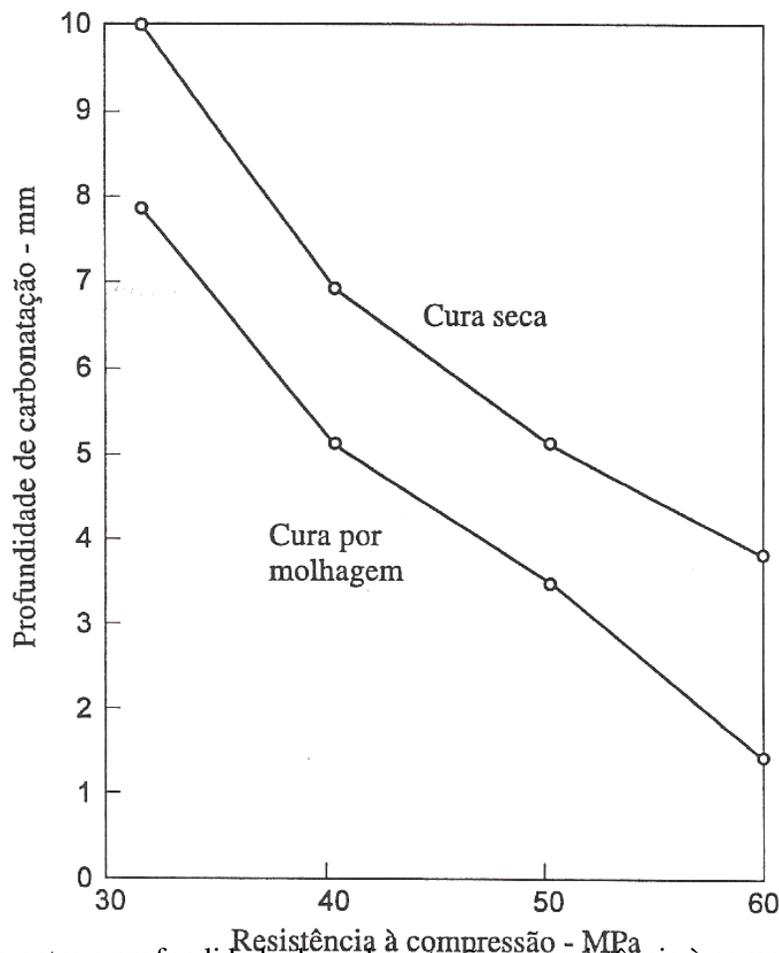


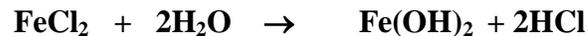
Fig. 4 – Relação entre a profundidade de carbonatação e a resistência à compressão de concretos após dois anos de exposição ao ar a umidade relativa de 65% (NEVILLE)

**e) fissuras:** Quanto maiores as fissuras existentes no concreto, maior será a facilidade de penetração rápida de  $\text{CO}_2$  para o seu interior. Este processo de penetração, difusão e reação de carbonatação dependendo também da quantidade de íons  $\text{OH}^-$  e de água no interior da fissura, que pode originar a autocratação da abertura devido a carbonatação.

#### 4.0 – CORROSÃO PELO ATAQUE DE CLORETOS

A camada protetora de passivação na superfície do aço envolto pelo concreto é formada por  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , firmemente aderente ao aço. A presença desta película de óxido protege o aço mantendo-o intacto. A entrada de íons cloreto para o interior do concreto destruirá esta película e, com a presença de água e oxigênio ocorrerá a corrosão.

Para que se inicie a corrosão, a camada de passivação deve ser atravessada. Os íons cloreto ativam a superfície do aço formando o anodo, sendo o catodo a superfície passivada. As reações que ocorrem são as seguintes:



Os íons cloretos chegam ao concreto de diferentes formas:

- uso de aceleradores de pega que contem cloreto de cálcio;
- impurezas indesejáveis nos agregados e na água de amassamento;
- atmosfera marítima;
- água do mar nas estruturas submersas;
- uso de sais de degelo em alguns regiões frias;
- processos industriais.

Os íons cloretos são encontrados no interior do concreto quimicamente combinados (cloroaluminatos) ou fisicamente adsorvidos na superfície dos poros de hidratação ou ainda livres na solução dos poros do concreto. Existe um valor limite de concentração no qual os íons cloretos conseguem romper a camada passivante dos óxidos e estimular a corrosão das armaduras. Está associado a um valor orientativo de quantidade de cloretos por peso de cimento acima de 1% como sendo um valor de alto risco, e de 0,4% a 1% como risco intermediário e baixo para valores inferiores.

Encontrar uma relação limite de  $[\text{CL}^-] / [\text{OH}^-]$  onde o processo de corrosão se inicia, tem sido objeto de vários estudos. HOUSMANN (1967), pesquisando em solução alcalina, sugeriu o valor de 0,6 para esta relação. ANDRADE E GOÑI (1990), obtiveram valores entre 0,3 e 0,8. LAMBERT (1991), trabalhando com corpos de prova de concreto e uma fonte externa de cloretos, constatou que a despassivação da armadura ocorria a partir de uma relação  $[\text{CL}^-] / [\text{OH}^-]$  igual a 3, mas outros pesquisadores encontraram valores diferentes.

Os parâmetros que influenciam a penetração dos íons cloretos no concreto são os mesmos envolvidos na penetração do  $\text{CO}_2$ , entretanto nem sempre influenciam da mesma forma.

**a) composição e tipo de cimento:** A quantidade de  $\text{C}_3\text{A}$  do cimento determina a capacidade de combinação com os íons cloreto, isto é, cimentos com baixas quantidades de aluminato tricálcio possuem pouca capacidade de imobilizar os íons cloreto, cuja reação

forma um sal complexo e insolúvel, que reduz a concentração de íons cloreto livres na solução aquosa dos poros do concreto .PAGE (1986). Cimentos com adição, quando submetidos aos cloretos, apresentam comportamento contrário àquele apresentado quando submetidos à carbonatação. Enquanto na carbonatação as adições influíam de forma negativa na capacidade de retardar o ingresso de CO<sub>2</sub>, na iniciação de corrosão pelos cloretos as adições agem de forma a frear a penetração dos íons cloretos.MANGAT E MOLLOY (1992). A quantidade de cimento possui insignificante influência sobre a despassivação da armadura com relação ao ingresso de cloretos.

**b)relação água/cimento, adensamento e cura:** A obtenção de um concreto mais denso, em analogia ao que ocorre na carbonatação, dificulta a difusão dos íons cloretos. Em concretos com diferentes relações água/cimento e, diferentes tipos de cimento, verificou-se que para curtos intervalos de exposição o efeito da relação água/cimento ficou limitado à camada superficial do concreto. Em longos períodos de exposição o tipo de cimento apresentou maior influência sobre a profundidade de penetração de cloretos que a relação água/cimento.

As condições de cura modificam a estrutura dos poros da pasta de cimento, alterando a porosidade final e assim influenciando no transporte de íons cloreto na pasta endurecida.

**c)saturação dos poros:** As condições do meio ambiente influenciam a penetração dos íons cloretos de forma diferenciada do CO<sub>2</sub> , que encontra os poros parcialmente preenchidos pela água, a melhor forma de difundir e carbonatar o interior do concreto. BACKER (1998) O transporte de íons cloreto só ocorre na presença de água, podendo ingressar no concreto pelo mecanismo de difusão ou podem penetrar por sucção capilar da água que os contém. (Ex.: marés)

**d)fissuras:** O processo de corrosão nas estruturas de concreto armado expostas à água, vapor ou solo que contém íons cloretos, será iniciado primeiramente nas regiões fissuradas, causando a formação de pequenas regiões anódicas no interior das fissuras e regiões catódicas maiores fora delas.

## 5.0 – PREVENÇÃO

A prevenção da patologia por corrosão de armaduras no concreto está vinculada a ter etapas distintas, sendo: fase de projeto (avaliação dos agentes agressivos da atmosfera do local de implantação da obra; especificação de concretos de melhor qualidade e com cobrimentos maiores; evitar proximidade de diferentes metais; especificar concretos com relação água cimento superior à 0,55; utilizar na dosagem do concreto agregado graúdo com dimensão máxima menor que o cobrimento), fase de recepção dos materiais (determinação de possíveis agentes agressivos em agregados e na água de amassamento; utilização de pastilhas plásticas para garantir o cobrimento especificado; rejeitar Barras de aço com processo de corrosão já instalado) e na etapa de execução (cuidados com o adensamento do concreto evitando nichos na concretagem; curar adequadamente o concreto durante 15 dias; evitar revestimentos neutros ou ácidos à base de gesso; promover a manutenção das superfícies de concreto aparente; etc)

## 6.0 - RECUPERAÇÃO

A realização de análise e diagnóstico preciso do caso patológico ocorrido, identificando as causas e a origem específica do problema, é fundamental para decidir sobre a forma de recuperação e proteção contra a corrosão. Basicamente, a recuperação deste fenômeno patológico consiste nas seguintes etapas:

- limpeza rigorosa utilizando jato de areia e apicoamento do concreto solto e fissurado, removendo a camada de hidróxidos e óxidos das superfícies das barras;
- avaliação da possível diminuição da secção transversal das armaduras corroídas;
- executar novamente o cobrimento das armaduras, impedindo a entrada de umidade; do oxigênio e demais agentes agressivos, enquanto repõe a secção de concreto original.

Este novo cobrimento poderá ser realizado com concreto projetado ou com a utilização de adesivos à base de epóxi; concretos e argamassas poliméricas; ou concretos e argamassas especiais.

## 7.0 – ESTUDO DE CASO

Como ilustração, procuramos identificar em nossa região uma edificação que se encontra com sua estrutura de concreto armado com sintomas compatíveis com as manifestações patológicas de corrosão de armaduras. Encontramos um pavilhão industrial localizado em zona rural (interior do município de Xanxerê-SC), sendo utilizado como depósito de fertilizantes e herbicidas utilizados como insumos da produção agrícola.

Inicialmente visitamos a referida edificação e identificamos o mecanismo de corrosão instalado de forma generalizada em todas as vigas e pilares conforme podemos evidenciar nas fotos abaixo.



Fig5 – Fotos estudo de caso corrosão por falta de cobrimento adequado.

## Diagnóstico

- Concreto com alta permeabilidade ou elevada porosidade
- Cobrimento insuficiente das Armaduras
- Má execução

## Alternativas para Correção

- a) remover cuidadosamente o concreto afetado e os produtos de corrosão, limpando bem as superfícies.
- b) Não será necessário reconstituir a seção original da armadura, visto as secções transversais não se encontrarem prejudicadas.
- c) em casos de início de corrosão sem comprometimento do concreto e das barras de aço, recuperar o componente estrutural, mantendo as dimensões originais, através de argamassa polimérica base cimento ou utilizando argamassa base epóxi. Aplicar argamassa em todas as superfícies para aumentar o cobrimento e proteger o componente estrutural, atingindo a espessura mínima de cobrimento especificada na NBR 6118.
- d) em casos avançados de corrosão, reforçar o componente estrutural aumentando as dimensões originais através de reforço em viga e pilares.

## 8.0 – Conclusão

A corrosão das armaduras no concreto armado é um fenômeno que ocorre quando as condições de proteção proporcionadas pelo cobrimento do concreto são insuficientes. Esta insuficiência pode ser causada por ineficiência do próprio concreto ou por ação de agentes agressivos com origem em diferentes fontes, sendo sempre necessário identifica-las a fim de que se possa lograr uma proteção efetiva e duradoura.

A corrosão de armaduras de concreto é o fenômeno mais freqüente que qualquer outro fenômeno de degradação de concreto armado, comprometendo tanto do ponto de vista de segurança, quanto do estético, sendo sempre dispendioso o seu reparo ou recuperação.

A fiel observância dos cobrimentos mínimos, da qualidade do concreto e da execução, poderá evitar este problema. De qualquer forma, sendo um fenômeno expansivo, torna-se visível a tempo, possibilitando a tomada de medidas rápidas de recuperação e proteção.

## 9.0 –Bibliografias

- [1] CASCUDO O. ; O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas – Goiânia, GO. Editora UFG, 1997.
- [2] Tecnologia de Edificações / Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha  
São Paulo : PINI : Instituto de Pesquisas Tecnológicas,  
Divisão de Edificações do IPT, 1988.
- [3] NEVILLE A.M.; Propriedades do Concreto – tradução Salvador E. Giammusso.  
2ª edição. rev. atual – São Paulo: PINI, 1997.

- [4] HELENE, P.R.L. Corrosão das Armaduras em Concreto Armado. In: Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto, 4., Campinas, 1981. SIMPATCON: Anais. Campinas-SP, Concrelix, 1981
- [5] HELENE, P.R.L. Corrosão das Armaduras para Concreto Armado. São Paulo-SP, IPT, PINI, 1986.
- [6] CUNHA, A.C.Q. Despassivação das Armaduras de Concreto por Ação da Carbonatação A.C.Q. da Cunha, P.R.L. Helene. – São Paulo: EPUSP, 2001. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Civil, BT/PCC/283).
- [7] FIGUEIREDO, E.P. Assim Caminha a Corrosão. E.P.Figueiredo, P.R.L.Helene – São Paulo-SP. Técnica-Revista de Tecnologia da Construção. Mai/Jun 1994 Ano 2.Págs. 28 a 33. Ed.PINI.
- [8] FILHO, A .C. Avaliação do Estado de Corrosão em Estruturas de Concreto:Um caso prático. In: IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções Porto Alegre,RS:UFRGS.CPGEC,1997. Anais.
- [9] MONTEIRO, E.C.B. Estudo da Capacidade de Proteção da Alguns Tipos de Cimento Nacionais em Relação à Corrosão de Armaduras, sob a Ação Conjunta de CO<sub>2</sub> e Íons Cloreto. In: IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções. PortoAlegre,RS:UFRGS.CPGEC,1997.Anais.
- [10] LIMA, F.B. Análise do Cobrimento de Estruturas de Concreto Armado Segundo Critérios de Durabilidade em Relação à Penetração de Cloretos. In.:46º Congresso Brasileiro do Concreto, 14-18 agosto2004, Florianópolis-SC. Trabalho CBC0134.
- [11] CASTRO, A. Durabilidade de Concretos com Adições Mineraiis Frente a Carbonatação e ao Ataque por Cloretos . In.: 46º Congresso Brasileiro do Concreto, 14-18 agosto2004, Florianópolis-SC. Trabalho CBC0334.
- [12] SIERRA, A. O Processo de Carbonatação no Concreto em Função dos Tipos de Cimento e Agregados. Orientação de Vicente Custódio Moreira de Souza. Niterói, RJ. UFES. 1996. 79p.. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, 1996.

- [13] PEREIRA, V.G.A. Avaliação do Coeficiente de Difusão de Cloretos em Concretos: influência do tipo de cimento, da relação água/cimento, da temperatura e do tempo de cura. Orientação de Denise Carpena Coitinho Dal Molin. Porto Alegre. PPGEC/UFRGS.2001.145P. il. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
- [14] HELENE, P.R.L. Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto 2ª edição –São Paulo: PINI, 1992
- [15] DE SOUZA, V.C.M., RIPPER, T. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. – São Paulo: PINI, 1998.