

## **CAUSAS E ALTERNATIVAS DE REPARO DA CORROSÃO EM ARMADURAS PARA CONCRETO ARMADO**

*CAUSES AND ALTERNATIVE REPAIR CORROSION IN ARMOR FOR CONCRETE*

**COMIM, Kevin William**

Acadêmico. Engenharia Civil. Universidade Paranaense

UNIPAR

kevincomim@hotmail.com

**ESTACECHEN, Tatiana Alves Cecilio**

Acadêmica. Engenharia Civil. Universidade Paranaense

UNIPAR

tatianaestacechen@gmail.com

### **RESUMO**

O presente artigo faz uma revisão bibliográfica a respeito da corrosão em armaduras utilizadas na confecção de estruturas em concreto armado, mostrando as principais causas desta manifestação patológica, um problema que inúmeras construções apresentam, sejam eles causados por agentes naturais, ou mesmo por ataques químicos. O reparo necessita de mão de obra especializada, tomando como conhecimento a importância estrutural que o material possui.

**PALAVRAS-CHAVE:** Corrosão; Armadura; Concreto Armado; Reparo

### **ABSTRACT**

This article is a literature review about the corrosion armor used in the manufacture of structures in reinforced concrete, showing the main causes of this pathological manifestation, a problem that many buildings have, whether caused by natural agents, or even chemical attack. The repair requires specialized labor, taking as knowledge structural importance that the material has.

**KEY WORDS:** Corrosion; Armor; Reinforced concrete; Repair

## 1. INTRODUÇÃO

Armaduras de aço são amplamente utilizadas como complemento em estruturas de concreto armado, pois, o mesmo tem como função principal absorver as cargas que geram esforço de tração nas barras, ou colaborando na absorção dos esforços aplicados no concreto quando o mesmo, cujo o papel é absorver as cargas de compressão, não resiste as altas cargas aplicadas.

Tendo como base a importância da utilização do aço na construção civil, pode-se afirmar que o material deve estar em perfeitas condições, pois, quando se fala em corrosão, logo vem à idéia de deterioração do material, no caso desta patologia causada em metais, a ferrugem é indício de que algo está errado no produto utilizado, causando como consequência enfraquecimento na estrutura e aumento no custo da obra por conta de possíveis reparos.

Helene (1986) realizou um grande estudo, tirando como conclusão que a maioria dos casos de corrosão do aço em estruturas feitas em concreto armado, se dá pela presença de água. Fator que leva o profissional a procurar meios de proteger a armadura contra a umidade, seja produzindo um concreto com relação água/cimento menor, ou protegendo a armadura com produtos químicos.

Este trabalho apresenta as diferentes formas de corrosão de armaduras de aço utilizadas na confecção de estruturas em concreto armado. Expondo as causas mais comuns, como o processo de corrosão inicial e os meios mais usados para reparo.

## 2. CORROSÃO

Pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. A primeira também conhecida por corrosão seca ou oxidação é causada por uma reação gás metal, com formação de uma película de óxido. É um processo lento e não provoca deterioração substancial das superfícies metálicas, exceto quando se tratar de gases extremamente agressivos. Já a corrosão eletroquímica ou aquosa é que mais traz problemas às obras civis. Ela acontece devido a formação de uma pilha ou célula de corrosão, com eletrólito e diferença de

potencial entre trechos da superfície do aço. O eletrólito é formado a partir da presença de umidade no concreto (GENTIL, 1996 e CASCUDO, 1997).

A deterioração do material representa alterações prejudiciais indesejáveis, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso. Sendo a corrosão um processo espontâneo, ela constantemente transforma os materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho dos mesmos deixem de satisfazer os fins a que se destinam (GENTIL, 1996).

### **3. FATORES QUE PROVOCAM A CORROSÃO DAS ARMADURAS DE CONCRETO**

Segundo as literaturas utilizadas, os principais fatores que provocam a corrosão das armaduras são pelo meio aquoso, pela ação dos cloretos e pela carbonatação (HELENE, 1986 e CASCUDO, 1997).

#### **3.1 Corrosão em meio aquoso**

De acordo com Helene (1986), o mecanismo de corrosão do aço no concreto é eletroquímico, como na maioria das reações corrosivas em presença de água ou ambiente úmido. A influência da umidade na ação corrosiva da atmosfera é acentuada. O ferro em atmosfera de baixa umidade relativa praticamente não sofre corrosão, já em umidade acima de 70% o processo se torna acelerado (GENTIL, 1996).

Este tipo de corrosão aquosa conduz à formação de óxidos e hidróxidos de ferro, de cor avermelhada, pulverulentos e porosos, chamados ferrugem. E só ocorrem nas seguintes condições: existência de um eletrólito, diferença de potencial e presença de oxigênio (RUSCH, 1975).

O eletrólito tem a função de permitir a mobilidade de íons que precisa se combinar para formar os produtos da corrosão. E para ser um bom eletrólito, é necessário ser formado pela solução aquosa dos poros do concreto saturada por produtos de hidratação (HELENE, 1986).

A diferença de potencial pode ser causada por vários fatores de acordo com as literaturas: diferenças de umidade, aeração, concentração de salina, solicitações mecânicas distintas no concreto e aço, variações significativas nas características superficiais do aço, metais diferentes embutidos no concreto, entre outros. (HELENE, 1986).

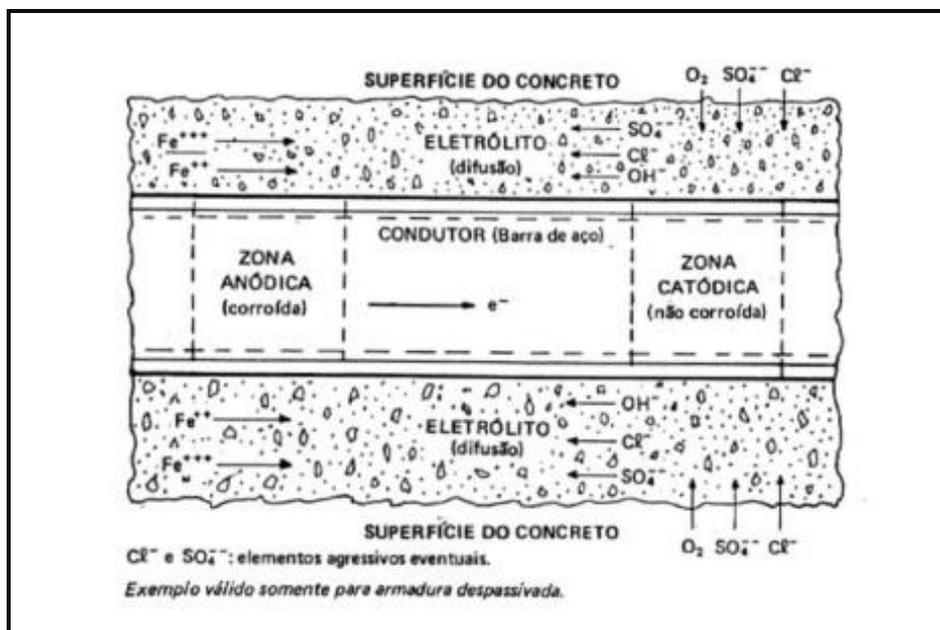
Por fim, o oxigênio é necessário porque participa das reações químicas envolvidas na formação da ferrugem (óxidos e hidróxidos de ferro) e sua participação é dependente do teor de umidade do concreto (FRANCO,2011).

No caso de concretos totalmente úmidos, a propagação do gás carbônico é muito lenta e para que o oxigênio seja consumido, ele precisa estar dissolvido (CASCUDO, 1997).

O mecanismo de corrosão eletroquímica promove a formação de pilhas eletroquímicas, que não precisa se estabelecer entre dois metais diferentes em uma mesma solução, mas que podem ocorrer também em regiões diferentes de um mesmo metal, como é o caso da armadura no interior do concreto (CASCUDO,1997).

Uma pilha eletroquímica apresenta os seguintes componentes: ânodo: eletrodo em que há oxidação e onde a corrente elétrica, na forma de íons metálicos positivos, entra no eletrólito; cátodo: eletrodo onde a corrente elétrica sai do eletrólito no qual as cargas negativas (elétrons) provocam reações de redução; eletrólito: condutor (usualmente líquido) contendo íons que transportam a corrente elétrica do ânodo para o cátodo; circuito metálico: ligação metálica entre o ânodo e o cátodo por onde escoam os elétrons, no sentido ânodo-cátodo (GENTIL, 1996).

Figura 1- Célula de corrosão em concreto armado.



Fonte: HELENE (1986).

Qualquer diferença de potencial entre as zonas anódicas e catódicas acarreta o aparecimento de corrente elétrica. Dependendo do tamanho desta corrente e do livre acesso do oxigênio, pode ou não existir a corrosão. A formação de uma célula de corrosão está explicada

na Figura 1, onde primeiramente a camada passivadora da armadura é destruída pela ação conjunta da umidade, oxigênio e agentes agressivos, principalmente os cloretos, que conseguem penetrar o concreto. A presença destes elementos é variável ao longo da armadura, dando origem a uma pilha (transformação química) de corrosão, devido a diferença de potencial entre os trechos diferentes (ânodo e cátodo). Aparece então uma corrente elétrica (fluxo de íons) que sai das áreas anódicas para o eletrólito (concreto), as corroendo e penetrando nas áreas catódicas, fazendo com elas fiquem protegidas. Esta mesma corrente que penetra área catódica retorna as áreas anódicas pelos ferros da armadura fechando o circuito (FORTES; ANDRADE, 2001).

### **3.2 Ações dos cloretos**

Os cloretos podem estar no concreto por meio da presença dos componentes (aditivos, água e agregados) na mistura, ou por penetração, do exterior, através da rede de poros, como é o caso de ambientes marinhos (névoa salina). A quantidade de cloretos é capaz de prejudicar toda a superfície da armadura, podendo provocar velocidades de corrosão intensas e perigosas. (FRANCO,2011)

Nenhum outro contaminante comum está tão presente nas literaturas como causador de corrosão dos metais no concreto como estão os cloretos, segundo Cascudo (1997). Pode-se afirmar que na maioria dos casos, os mecanismos de transporte, que levam ao movimento e a concentração iônica dos cloretos no concreto, são a absorção capilar e a difusão iônica. A absorção capilar geralmente é o primeiro passo para a penetração de íons de cloreto na superfície do concreto, onde um exemplo seria a névoa salina em contato com a estrutura. Este mecanismo é dependente da porosidade, permitindo o transporte de líquidos para o interior do concreto. Quanto menor for o diâmetro dos poros, mais intensas serão as forças capilares de sucção. Esta estrutura de poros caracteriza o concreto como um material hidrófilo, ou seja, um material que precisa da água. Sendo assim, as características hidrófilas do concreto e sua condição de umidade (que em menor teor favorece uma maior absorção) são aspectos de influência na capacidade de absorção. Já a difusão iônica é o mecanismo de transporte predominante dos cloretos dentro do concreto. E acontece devido a gradientes de concentração iônica, seja entre o meio externo e o interior do concreto, seja dentro do próprio concreto (CASCUDO, 1997).

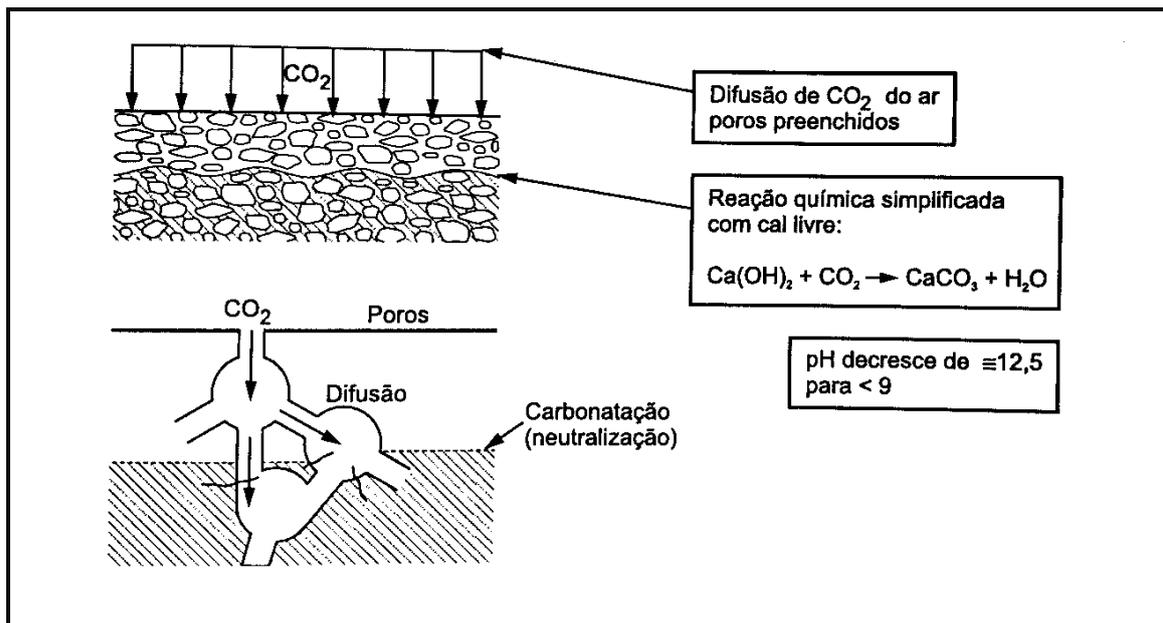
### 3.3 Carbonatação

A alta alcalinidade nas superfícies expostas do concreto, obtida principalmente às custas da presença de hidróxido de cálcio liberado das reações de hidratação do cimento, podem ser reduzidas com o tempo através da ação do gás carbônico do ar e outros gases ácidos como  $\text{SO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ . Este processo é chamado de carbonatação e felizmente, ocorre numa velocidade lenta enfraquecendo-se com o tempo. Esta característica pode ser explicada pela hidratação crescente do cimento, além do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), próprio produto da reação de carbonatação que preenche os poros superficiais dificultando o acesso do gás carbônico presente no ar, no interior do concreto. Geralmente, a carbonatação é uma condição fundamental para o início da corrosão das armaduras (CASCUDO, 1997).

Para haver uma grande alteração das condições de estabilidade química da película passivadora do aço, o pH de precipitação do  $\text{CaCO}_3$  deve ser da ordem de 9,4 (à temperatura ambiente). Sobre este fato, muitos autores segundo Cascudo, (1997) têm proposto um valor crítico de pH entre 11,5 e 11,8, um pouco abaixo para que não se tenha quebra da passivação do aço (PINI, 1986 e NOGUEIRA, 1989).

Outra característica do processo da carbonatação é a existência de uma “frente” de avanço do processo, fazendo com separe duas zonas com pH muito diferentes; uma com pH menor que 9 (carbonatada) e outra com pH maior que 12 (não carbonatada). Ela é mais conhecida por frente de carbonatação e deve sempre ser calculada com relação à espessura do concreto de cobertura da armadura. Um detalhe muito importante é que esta frente não atinja a armadura, com consequência de despássivá-la. A Figura 2 mostra um esquema simplificado de carbonatação (FERNANDEZ, 1984).

Figura 2- Representação esquemática do processo de carbonatação



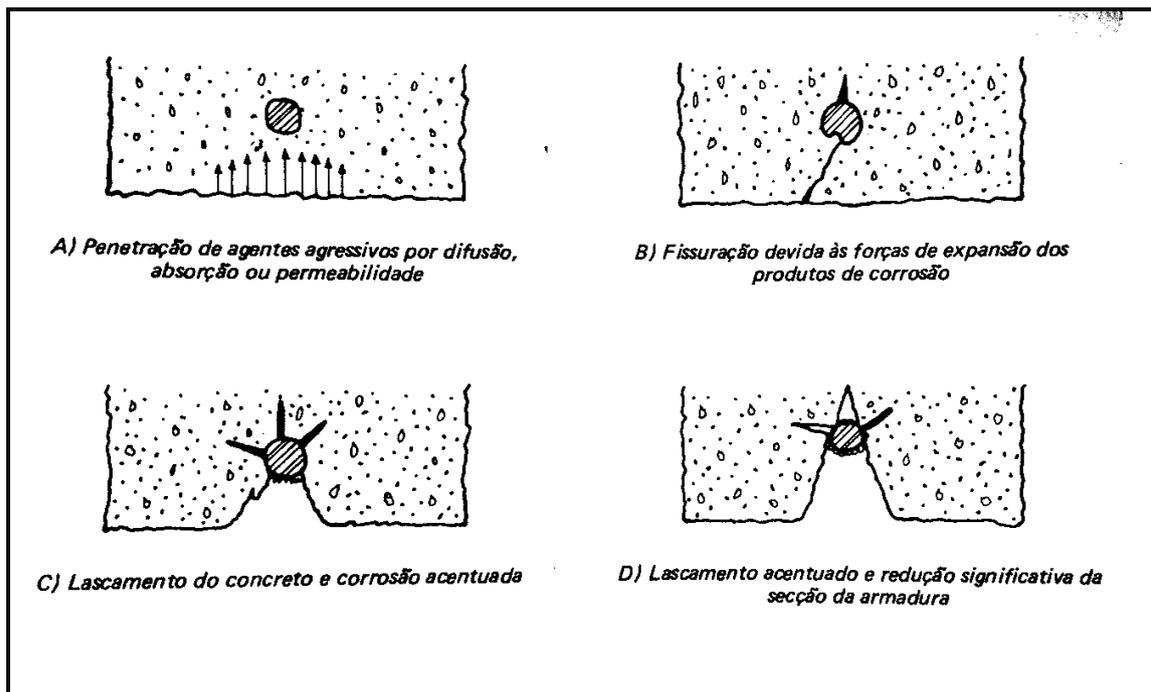
.Fonte: CASCUDO (1997)

A carbonatação é dependente de fatores como: técnicas construtivas: transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto; condições ambientais (atmosferas rurais, industriais ou urbanas); tipo de cimento; umidade do ambiente; e muito maior quanto maior for a relação água cimento (PINI, 1986; BAKKER,1988; FELIU,1988 e TUUTTI,1982).

#### 4. SINTOMAS

Nas regiões em que o concreto não é adequado, ou não recobre, ou recobre deficientemente a armadura, a corrosão acaba se tornando progressiva com a consequente formação de óxi-hidróxidos de ferro, que passam ocupar volumes de 3 a 10 vezes superiores ao volume original do aço da armadura, podendo causar pressões de expansão superiores a 15 MPa (CÁNOVAS, 1988).

Figura 3 - Deterioração progressiva devida à corrosão das armaduras



Fonte: HELENE, 1986.

Com estas tensões, surge fissuração do concreto na direção paralela à armadura corroída, o que facilita o surgimento da carbonatação e a penetração de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e agentes agressivos, podendo ainda causar lascamento no concreto. Esta fissuração comumente acompanha a direção da armadura principal e raramente a direção dos estribos, a não ser que eles estejam na superfície. Também se deve levar em conta que os estribos geralmente estão na direção perpendicular ao maior esforço de compressão, o que pode impedir a fissuração profunda do concreto. Já estribos numa região central de uma viga podem fissurar o concreto na face inferior, mas dificilmente na região perto aos apoios. Normalmente em estribos é notado o lascamento direto no concreto, sem fissuras iniciais. Outro sintoma comum são manchas marrom-avermelhadas na superfície do concreto e bordas das fissuras, completando o quadro patológico, conforme indicado na Figura 3 (HELENE, 1986).

Em pilares e vigas, a primeira manifestação de corrosão geralmente não é dada pela armadura principal, mas sim pelos estribos, que se apoiam sobre as fôrmas, sem cobertura suficiente. Em pior das condições construtivas, a corrosão terá início nos locais mais quentes, úmidos e onde o risco de condensação seja maior. Este processo é facilmente visível, onde a coloração vermelha-marrom-acastanhada é relativamente solúvel, “escorrendo” pela superfície do concreto, fazendo com fique manchado. O risco de corrosão também aumenta em regiões angulosas, arestas e cantos da estrutura. É sempre recomendado que seja feito cantos e arestas

arredondados, a fim de aumentar o cobrimento em situações de agressividade elevada (CÁNOVAS, 1988).

## 5. ALTERNATIVAS DE REPARO

A recuperação das armaduras, danificadas pela corrosão, é delicada segundo Helene (1986) e requer mão de obra especializada. Consiste em três etapas, sendo elas:

A etapa 1 é a limpeza rigorosa, de preferência com jato de areia e quebra de todo o concreto solto ou fissurado, inclusive das camadas de óxidos/hidróxidos das superfícies das barras. A etapa 2 é analisar rigorosamente se existe uma possível redução de seção transversal das armaduras atacadas. Se for viável, fazer esta análise através de ensaios comparativos entre armaduras saudáveis e as que estiverem mais atingidas. Se for o caso, colocar novos estribos e/ou novas armaduras longitudinais. Sempre que for empregado a solda, colocar eletrodos controlando o tempo e a temperatura para que não se tenha mudança da estrutura do aço, principalmente se for da classe B (deformados a frio). E a etapa 3 é reconstrução do cobrimento das armaduras de preferência com concreto bem adensado, com o intuito de impedir a penetração de umidade, oxigênio e agentes agressivos até a armadura, recomposição da área da seção de concreto original e por fim, propiciar um meio que garanta a manutenção da capa passivadora do aço.

A reconstrução do cobrimento pode ser executada de acordo com alguns requisitos: o concreto projetado em espessura mínima de 50mm, tem boa aderência ao concreto antigo e não requer fôrmas, mas tem a desvantagem de gerar perda de materiais e degradar o ambiente. Adesivos a base epóxi são úteis em unir o concreto antigo com o novo, e tem maior vantagem em relação ao concreto projetado por impermeabilizar definitivamente a armadura, impedindo que se forme a corrosão mesmo que haja a carbonatação superficial.

Sua desvantagem é de conseguir fôrmas para o método, a difícil compactação e adensamento do concreto novo ao antigo e a formação de seções maiores que as iniciais prejudicando a estética. Concretos e argamassas poliméricas apresentam alta durabilidade, impermeabilidade, aderência ao concreto antigo e armadura e não causam problemas estéticos por serem moldados em pequenos espaços. Necessitam de fôrmas, mão de obra especializada, testes prévios de desempenho; por haver muita oscilação nas características das resinas acrílicas em sua formulação e recurso financeiro maior; sua utilização custa caro.

Concretos e argamassas especiais para grauteamento (aumento de volume) são produtos que não apresentam retração, tem boa aderência, podem ser auto-adensáveis sem que tenha aumento da seção original e é conveniente para reparos em locais de acessos difíceis ou em casos de seções densamente armadas. Também como desvantagem, é necessário a utilização de fôrmas. E por fim, sugere-se a utilização de concretos e argamassas comuns bem proporcionadas, com baixa relação água/cimento e aplicados na fôrma dentro das técnicas construtivas.

A desvantagem seria o aumento na seção e um conhecimento maior dos profissionais no local para garantir que a mistura tenha aderência ao concreto antigo. Antes de realizar estes e quaisquer outros métodos para recuperação, deve-se identificar e sanar as causas do problema, para que não exista o risco de corrosão em outros locais, além dos que originalmente existiam, por ocorrência de descontinuidade na estrutura (HELENE, 1986 e HELENE, 1992).

## **6. ALGUNS DETALHES CONSTRUTIVOS**

Existe uma infinidade de técnicas construtivas empregadas na execução da estrutura, mas a seguir, serão citadas aquelas que são mais importantes: armazenar barras e fios de aço em locais protegidos e nunca em contato com o solo. Em atmosferas industriais como São Paulo, por exemplo, são comuns as barras se corroerem em menos de um mês por causa da má estocagem. Também é conveniente proteger as armaduras da deposição superficial de fuligem, poeira, pó e qualquer outro tipo de sujeira. Estes fatores podem contribuir para a condensação e retenção da água da chuva (geralmente ácida) na superfície da armadura, fornecendo o eletrólito necessário ao aparecimento de pilhas de corrosão. Remover as crostas formadas pela corrosão. Esta medida evita que a armadura sofra uma redução na área da secção.

A limpeza pode ser feita com escovas de aço ou jatos de areia antes da concretagem. Garantir cobertura com emprego de pastilhas uniformemente distribuídas ao longo do componente estrutural. As pastilhas podem ser de diferentes naturezas, sendo as mais indicadas as de argamassa devido a melhor aderência ao concreto. Outro ponto importante é a uniformidade do cobertura, pois se ele variar, também haverá variação na alcalinidade do concreto de um trecho vizinho a outro, gerando pilhas de corrosão eletroquímica por concentração e aeração diferencial. Utilização de fixadores com núcleo de aço e extremidades com argamassa. Eles são empregados quando há risco de percolação de água através de paredes de concreto tipo cortina.

Garantir cura adequada da superfície do concreto. Além do concreto, esta medida garante também a qualidade do cobrimento. A ausência de cura vai aumentar a permeabilidade do componente estrutural como um todo e criar uma série de pequenos canais superficiais no concreto, justamente numa espessura da ordem do cobrimento. Obras onde haverá demora na retomada da concretagem, deve se garantir proteção da armadura com uma pintura de nata de cimento. Quando for retomada a concretagem, basta remover a película da pintura com algumas pancadas na armadura ou jato d'água. Projeto adequado para que evite circulações de água desnecessárias através do concreto (HELENE, 1986 e ANDRADE, 1992)

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Dado o exposto, concluímos que o principal contribuinte da deterioração da armadura em estruturas de concreto armado, se da pela manufatura do concreto com teor água/cimento elevado, em conjunto à alta umidade relativa do ar, tipo do cimento utilizado, armazenagem das barras e fios de aço e concentração de agentes corrosivos, sejam eles na hidratação do aglomerante, e/ou nos agregados empregados na confecção. Um produto feito com menos água na relação, acarreta em um concreto com densidade maior, cujo benefício é a redução da quantidade do número de vazios na sua composição e ganho de resistência a compressão, além de proteger a armadura com maior eficiência.

Levando como base o estudo feito, tem-se a conclusão de que os maiores causadores de corrosão no aço são eletroquímicos (HELENE, 1986), ações de cloreto e carbonatação. Condições muito comuns em qualquer edificação, cujos cuidados básicos não foram tomados. Os reparos nas estruturas de aço devem ser muito delicados e requer mão de obra especializada (HELENE, 1986), devido a sua importância como elemento absorvedor de cargas; a correção na maioria das vezes não é simples, consistindo em três passos: limpeza, análise da armadura, e reconstrução da mesma.

Os dados aqui apresentados mostram a importância de um concreto dosado de maneira adequada, levando em consideração a escolha dos agregados e como principal, o fator a/c, cujo bem dosado ajuda a eliminar diversos problemas relacionados à corrosão da armadura. Outro fator a ser tomado como prioridade é a armazenagem das barras e fios em lugares cobertos, nunca em contato com o solo, pois pode ser um potencial gerador de corrosão.

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANDRADE, C.M.P. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras.** São Paulo: PINI, 1992.

BAKKER, R.F.M. **Corrosion of steel in concrete.** London, Chapman and Hall, 1988. cap.3, p.22-55.

CÁNOVAS, F.M. **Patologia e terapia do concreto armado.** São Paulo: PINI, 1988.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: Inspeção e técnicas eletroquímicas.** São Paulo: PINI, 1997.

FELIU, S. **Manual inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras.** Madrid, Instituto Eduardo Torroja, 1988.

FERNANDEZ, J.A.G. **Teoria y práctica de la lucha contra la corrosion.** Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas/UEI de Corrosion y Protección Del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, 1984.

FORTES, L.R.; ANDRADE, J.C. **Corrosão na armadura do concreto armado: influência dos agentes cloretos e da carbonatação,** 2001.

FRANCO, A.P.G. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido ao ataque de íons cloreto.** Caruaru: FAVIP, 2011. 42p. Trabalho de conclusão de curso, engenharia civil, Faculdade Vale do Ipojuca.

GENTIL, V. **Corrosão.** 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

HELENE, P.R.L. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** São Paulo: PINI, 1986.

HELENE, P.R.L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1992.

NOGUEIRA, R.P. **A corrosão do aço em concreto: influência do pH e do potencial de eletrodo.** Rio de Janeiro: 1986. 112p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Resumo.

TUUTI,K. **Corrosion of steel in concrete.** Stockholm, Swedish Cement and Concrete. Research Institute, 1982.