

Principais Patologias na Construção Civil

JOSÉ BASÍLIO DA SILVA FILHO

Estudante Bacharel em Engenharia Civil

Laureate International Universities/UNINORTE (Brasil)

GLAUBER DO VALE DE MEDEIROS

Estudante Bacharel em Engenharia Civil

Laureate International Universities/UNINORTE (Brasil)

EMERSON MARQUES DE CASTRO

Engenheiro Civil

Laureate International Universities/UNINORTE (Brazil)

EULLER ANDRÉ BARBOSA DE ALENCAR

Engenheiro Civil

Laureate International Universities/UNINORTE (Brazil)

Abstract:

In Brazil, the preventive maintenance in reinforced concrete structures is little used, although it is the most adequate to preserve and guarantee the longevity of the structures. It is used, after presentation of the causes, the corrective maintenance. The present research carried out a study through bibliographical reviews and publications on the main causes of pathological manifestations and the corrosion of the reinforcements in reinforced concrete. Thus, the objective of this investigation is to analyze the main factors that influence the corrosive process and the origin of the main agents that cause the partial or total loss, compromising the durability and useful life of the reinforced concrete structures. The methodology presents the types of pathologies more frequent, approach the main causes highlighting the importance of avoiding corrective maintenance. It is concluded with this study that the main pathologies in the reinforced concrete were the corrosion of the reinforcement, the leaching of the concrete causing the carbonation, which is the main cause of the steel slaking of the hardened concrete, the lack of periodic maintenance of

the structures and the insufficient coverage due to poor performance of services.

Key words: Carbonation. Leaching. Acidrain. Porosity. Acids.

1 INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade o homem procura fazer uso de estruturas que tragam mais facilidade e comodidade para sua vida. A partir do surgimento do concreto armado, suas técnicas de cálculo e projetos foram sendo aperfeiçoados cada vez mais, assim como os cuidados ao executar estruturas desse material [1].

O concreto armado é um processo construtivo inventado na Europa em meados do século XIX. Este processo foi bastante difundido, pois possibilitou grandes construções, vencendo grandes vãos e alcançando alturas nunca antes imaginadas [2].[1] Com o desconhecimento e a falta de experiência, juntamente veio o surgimento de inúmeras manifestações patológicas nas estruturas, podendo causar a diminuição da vida útil da mesma e até mesmo risco de acidentes fatais, dependendo da falha que certo elemento estrutural venha a possuir.

[3] Entende-se por patologia do concreto armado a ciência que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens dos problemas patológicos encontrados nas estruturas de concreto armado. Lembrando que para um dano qualquer, existe a possibilidade de vários fatores serem responsáveis. Estes danos podem vir apenas a causar incômodos para aqueles que irão utilizar a obra segundo o fim para que foi feita, tais como pequenas infiltrações até grandes problemas que podem levar a estrutura ao colapso. [1] Diversas são as causas que levam uma estrutura a sofrer danos, por isso é de extrema importância o estudo desse ramo da engenharia, para que sejam evitadas manifestações patológicas que venham a

diminuir a durabilidade das estruturas, assim como é necessário um conhecimento de como solucionar e recuperar aquelas que apresentam o problema, de maneira a curá-las e impedir que o agente causador volte à causar o mesmo problema.

A corrosão pode ser definida de uma maneira mais simplificada como uma interação destrutiva de um determinado material com o ambiente, que pode ocorrer por reação química ou eletroquímica, na construção civil a corrosão pode causar muitos prejuízos e danos nas estruturas de concreto armado, são usados vários métodos para prevenir a corrosão com o objetivo de diminuir os prejuízos no mundo todo causando perdas de materiais e muitas das vezes colocando vidas humanas em risco. Devemos ter uma atenção especial com as estruturas de concreto armado, sendo que uma vez desencadeado o processo de corrosão das armaduras, a estrutura diminui sua resistência podendo ocorrer a ruptura. Daí a importância de identificar a corrosão e fazer o devido tratamento, evitando as patologias e conseqüentemente levando as estruturas ao colapso.

[4] As condições do meio em que um metal (ou estrutura de aço) se encontram determinam fortemente o tipo de tratamento que deverá ser empregado para protegê-lo dos efeitos da corrosão. [5] A corrosão pode ser definida como a interação destrutiva ou a interação que implique inutilização para uso, de um material com o ambiente, seja por reação química, ou por eletroquímica. [6] Entretanto, a corrosão é a deterioração do material, geralmente metálico, por ação química e eletroquímica do meio ambiente relacionado ou não a esforços mecânicos. [6] A deterioração sofrida pelo contato físico-químico entre o material e o meio operacional causa alterações prejudiciais indesejáveis sofridas pelo material como, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para uso. Essas definições citadas pelos autores, apesar de suas diferenças, podem ser aplicadas no caso das armaduras no

concreto armado, uma vez que esses processos espontâneos e contínuos transformam os materiais metálicos, comprometendo a durabilidade e desempenho dos mesmos deixando de satisfazer os fins a que se destinam e ocasionando prejuízos econômicos no mundo todo.[7] Poderiam ser economizados cerca de 30 bilhões de dólares se todas as medidas economicamente viáveis fossem usadas para prevenção contra corrosão”. No Brasil a manutenção preventiva é pouco usada, apesar de ser a mais adequada para preservar e garantir a longevidade das estruturas, a manutenção corretiva é usada com mais frequência.

Diante disso este presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre quais as principais patologias devido a corrosão nas edificações, suas causas e adotar soluções para o tratamento, a fim de prolongar a vida útil das estruturas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Corrosão.

Os fenômenos relacionados a corrosão geralmente são muito complexos, que dependem de vários fatores, como testes em laboratório, cujos resultados podem fugir bastante da realidade devido a vários fatores de influência, difíceis de ser produzido em uma experiência, devido ao fato dessas experiências serem realizadas em um tempo curto e a corrosão é um processo de longa duração. Na maioria das vezes o custo para reposição de um material novo se torna inviável, sendo necessário o uso de uma técnica anticorrosiva para inibir a agressividade do metal.

[8]Os componentes de aço da estrutura devem ser dimensionados com sobresspesura para tolerar corrosão ou devem ser protegidos contra a corrosão que possa influir na sua resistência ou no seu desempenho na estrutura. A proteção contra a corrosão nos aços não resistentes a corrosão atmosférica pode ser obtida por camadas de proteção ou outros

meios eficazes, seja isoladamente ou em combinação. Aços resistentes a corrosão também devem ser protegidos, quando não for garantida a formação da película protetora ou quando a perda de espessura prevista durante a vida útil não for tolerável. Alternativamente, pode ser usada uma sobresspessura de corrosão adequada para a vida útil prevista para a edificação e a agressividade do ambiente.

[8]Os ambientes podem ser classificados em seis categorias de corrosividade, conforme a tabela 1, abaixo:

Tabela 1: Classificação do aço e suas categorias de corrosão conforme as suas especificações de uso de acordo com a norma.

Classificação do metal	Categoria de corrosão
C1	Muito baixa
C2	Baixa
C3	Média
C4	Alta
C5-I	Muito alta (industrial)
C5-M	Muito alta (marinha)

Fonte: Adaptado da norma ABNT NBR 8800, 2008.

Nos casos comuns, não é prática (nem econômica) a alocação de espécimes-padrão no ambiente, pode se estimar a categoria de corrosividade por simples analogia com os exemplos típicos fornecidos na figura 1. Os exemplos são ilustrativos, mas atendem a uma grande variedade de situações práticas (NBR 8800, 2008).

Figura 1: Categorias de corrosividade atmosférica e exemplos de ambientes.

Categoria de corrosividade	Perda de massa por unidade de superfície de espessura (após um ano de exposição)				Exemplos de ambientes típicos	
	Aço balano-carbono		Zinco		Exterior	Interior
	Perda de massa g/m ²	Perda de espessura µm	Perda de massa g/m ²	Perda de espessura µm		
C1 Muito baixa	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Edificações condicionadas para o conforto térmico (residências, escritórios, lojas, escolas, hotéis)
C2 Baixa	> 10 a 200	> 1,3 a 25	> 0,7 a 5	> 0,1 a 0,7	Atmosferas com baixo nível de poluição. A maior parte das áreas rurais.	Edificações onde a conservação é possível, como armazéns e grandes sobrados
C3 Média	> 200 a 400	> 25 a 50	> 5 a 15	> 0,7 a 2,1	Atmosferas urbanas e industriais com poluição moderada por dióxido de enxofre. Áreas costeiras de baixa salinidade.	Ambientes industriais com alta umidade e alguma poluição difusa (óleos, óleos lubrificantes, cervejarias e tintarias)
C4 Alta	> 400 a 600	> 50 a 80	> 15 a 30	> 2,1 a 4,2	Áreas industriais e costeiras com salinidade moderada.	Ambientes como indústrias químicas e costureiras de grãos
C5-I Muito alta (industrial)	> 650 a 1000	> 80 a 200	> 30 a 80	> 4,2 a 9,4	Áreas industriais com alta umidade e atmosfera agressiva.	Edificações ou áreas com condições severas que permeiam e com alta poluição.
C5-M Muito alta (marinha)	> 650 a 1000	> 80 a 200	> 30 a 80	> 4,2 a 9,4	Áreas costeiras e offshore com alta salinidade.	Edificações ou áreas com condições severas que permeiam e com alta poluição.

Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

Sendo a corrosão, em geral, um processo espontâneo, está constantemente transformando os materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho dos mesmos deixam de satisfazer os fins a que se destinam [6]. Para o autor os problemas mais frequentes de corrosão ocorrem nos diversos tipos de atividades, como por exemplo, nas indústrias químicas, petrolíferas, petroquímicas, naval, de construção civil, automobilística, meios de transporte aéreo, ferroviário, metroviário, marítimo, rodoviário e meios de comunicação, na odontologia, (restaurações metálicas e aparelhos de prótese), na medicina (ortopedia) e em obras de arte como monumentos e esculturas, essas perdas atingem diversas atividades classificadas como diretas e indiretas, a corrosão pode ocorrer em diversos tipos de materiais, portanto selecionar o material com inadequada resistência à corrosão para uma determinada aplicação pode ser um oneroso.

[9] Os metais encontram-se, em geral, na natureza formando compostos tais como, óxidos, sulfetos etc., com outros elementos. Para usá-los em sua forma mais simples é necessário remover o metal através de um processo de redução, necessitando aplicar certa quantidade de energia.

[10] A corrosão atmosférica dos metais se dá tanto por corrosão química (seca) como eletrolítica (úmida).

2.2 Condições Especiais para que haja Corrosão (oxigênio + água).

[8]A proteção do aço contra corrosão atmosférica, fenômeno que ocorre na presença simultânea de água e oxigênio, visa assegurar sua durabilidade e a manutenção da sua estética durante o período de vida útil. Diversos tipos de proteção são disponíveis e sua escolha depende de fatores técnicos e econômicos. Uma corrosão significativa do aço acontece somente quando a umidade relativa do ar for superior a 80 % e em temperaturas superiores a 0°C. Entretanto, se agentes

poluentes ou sais higroscópicos estiverem presentes, a corrosão pode ocorrer em umidades relativas inferiores.

3 METODOLOGIA

3.1 Corrosão em estruturas de concreto armado.

[11]A umidade é o maior inimigo das construções e da saúde de seus ocupantes. É contra este mal que não se costuma tomar muitos cuidados nas obras, devido à falta de conhecimento das soluções corretas ou por falta de senso de responsabilidade, adotada pelas negligências do pessoal encarregado da execução.

3.2 Proteção e durabilidade das armaduras do concreto.

O concreto armado, além de apresentar características mecânicas muito amplas, tem demonstrado possuir uma durabilidade adequada para a maioria dos usos a que se destina. Esta durabilidade das estruturas de concreto armado é o resultado natural, da dupla natureza, que o concreto exerce sobre o aço: por uma parte, o cobrimento de concreto é uma barreira física, e por outra, a elevada alcalinidade do concreto desenvolve sobre o aço uma camada passiva que o mantém inalterado por um tempo indefinido [9].

[12]O conjunto das características físicas e químicas do material, seu comportamento no ambiente onde será utilizado, ou os esforços que terá que suportar, são fatores de degradação que determinam o grau de deterioração e, conseqüentemente, sua durabilidade.

[8]Para assegurar que a estrutura mantenha suas características durante o período de vida útil de projeto, os elementos de aço, inclusive os integrantes das estruturas mistas, devem ser devidamente protegidos contra, e quaisquer outros fatores de agressividade, quando isto for necessário, sendo que tal proteção deve sofrer um processo de inspeção periódica. As partes de concreto e sua armadura, integrantes

das estruturas mistas, devem obedecer aos requisitos relacionados a durabilidade da ABNT NBR 6118-2014.

[13]Para que a segurança verificada conforme descrito no item 16.2.3 (ELU) e 16.2.4 (ELS) permaneça ao longo de toda a vida útil prevista para a estrutura, é preciso que sejam respeitadas exigências de durabilidade que limitem a deterioração da estrutura provocada pela agressão do meio ambiente em que está inserida. Conforme a norma em relação aos ELU, além de se garantir a segurança adequada, isto é, uma probabilidade suficientemente pequena de ruína, é necessário garantir uma boa ductilidade, de forma que uma eventual ruína ocorra de forma suficientemente avisada, alertando os usuários. Para o estado limite de serviço a norma ressalta que:

Para garantir o bom desempenho de uma estrutura em serviço, deve-se, usualmente, respeitar limitações de flechas, de abertura de fissuras ou de vibrações, mas também é possível que seja importante pensar na estanqueidade. Os autores afirmam a importância do cobrimento do concreto e o conjunto de características físico e químico, ambiente e esforços como fatores importantes para evitar a deterioração das armaduras de aço, assim como as normas orientam para fazer um procedimento adequado como, limitações das flechas, aberturas de fissuras, em alguns casos o teste de estanqueidade, uma boa ductilidade do aço etc.

3.3 Causas da corrosão das armaduras.

[9]São dois fatores que podem dar lugar a destruição da capa passivante do aço:

- ✓ A presença de uma quantidade razoável de cloretos, adicionada durante o amassamento do concreto ou penetrada do exterior, ou outros íons despassivante em contato com a armadura.
- ✓ A diminuição da alcalinidade do concreto por reação com substâncias ácidas do meio, de acordo com autor os íons despassivantes dão lugar a uma corrosão do tipo

localizada, enquanto que a redução do Ph permite a dissolução da capa passivante, dando lugar a uma corrosão de tipo generalizado.

[6] A corrosão e a deterioração podem estar associadas a fatores mecânicos, físicos, biológicos ou químicos:

- ✓ Mecânicos – vibrações e erosão;
- ✓ Físico – variações de temperatura;
- ✓ Biológicos – bactérias;
- ✓ Químicos – produtos químicos como ácidos e sais;

3.3.1 Fatores mecânicos.

Os fatores mecânicos, as vibrações podem causar fissuras no concreto, facilitando o contato da armadura com o meio corrosivo. Líquidos em movimento contendo partículas em suspensão podem provocar erosão no concreto, ocasionando seu desgaste. Caso esses líquidos contiverem substâncias químicas agressivas ao concreto, teremos a ação combinada, ou seja, erosão-corrosão, que será obviamente mais prejudicial e rápida que ações isoladas.

3.3.2 Fatores físicos.

Para os fatores físicos temos as variações de temperatura que podem causar choques térmicos prejudicando a integridade das estruturas. Essas variações de temperaturas entre os diferentes componentes do concreto (pasta de cimento, agregados e armadura), com características térmicas diferentes, podem ocasionar microfissuras na massa do concreto podendo ocorrer a penetração de agentes agressivos. [5]A temperatura tem um papel duplo nos processos de deterioração. Se por um lado causa aumento de velocidade de corrosão e, mobilidade iônica, por outro a diminuição pode dar lugar a condensações, criando incrementos locais no teor da umidade.

3.3.3 Fatores biológicos.

Para os fatores biológicos como micro-organismos, podem criar meios corrosivos para a massa do concreto e armadura, como os criados pelas bactérias oxidantes de enxofre ou de sulfatos, que aceleram a oxidação dessas substâncias para ácido sulfúrico.

3.3.4 Fatores químicos.

Nos fatores químicos estão associados com presença de substâncias químicas nos diferentes ambientes como água, solo e atmosfera. Entre as substâncias químicas mais agressivas devem ser citados os ácidos, como sulfúrico e clorídrico. Os fatores químicos podem agir na pasta de cimento, no agregado e na armadura de aço-carbono. [6] No estudo do processo corrosivo é necessário o esclarecimento do seu mecanismo. Por isso deve-se estudar o conjunto das variáveis dependentes do meio corrosivo, material e condições operacionais, Entre essas variáveis o autor cita:

- Meio corrosivo- composição química, concentração, impurezas, pH, temperatura e sólidos em suspensão;
- Material- composição química, presença de impureza e processo de obtenção;
- Condições operacionais- solicitações mecânicas, movimento relativo entre o material e o meio e condições de imersão no meio.
- Esclarecido o mecanismo e quantificadas as implicações econômicas das avarias decorrentes do processo de corrosão, pode-se indicar a medida de proteção mais adequada. Como a corrosão é um processo eletroquímico, deve-se evitar que haja no concreto condições que possibilitem a formação de pilhas eletroquímicas. Nessas condições, tem-se a presença de eletrólitos, aeração diferencial, contato entre diferentes materiais metálicos, áreas diferentemente deformadas ou tensionadas e corrente elétrica.

- A presença de eletrólitos é necessário para a ocorrência de corrosão eletroquímica, deve-se avaliar a importância que representa a presença de eletrólitos, como sais, na corrosão da armadura de concreto. A aeração diferencial ocasiona a formação de pilhas de aeração diferencial, tendo-se:
 - ✓ Áreas anódicas- as regiões menos aeradas;
 - ✓ Áreas catódicas- as regiões mais aeradas;

[14] Mais grave ainda é quando o concreto contém substâncias que se tornam oxidantes quando em contato com água, o cloreto de cálcio, muito usado como aditivo acelerador de pega do concreto, pode originar ácido clorídrico e, conseqüentemente corroendo as armaduras.

[9] Os cloretos podem estar no concreto adicionados com seus componentes, aditivos, água, entre outros, ou porque penetrem desde o exterior através da rede de poros que se dá em ambientes marinhos ou utilizam sais de degelo em estradas ou pontes, em climas frios como em atmosferas industriais tais como fábricas de papel e celulose ou depósitos de fertilizantes e outros produtos químicos onde os cloretos são muito comuns. As normas limitam o conteúdo de cloretos no concreto fresco, onde variam de um país para o outro, devido à dificuldade de estabelecer um limite seguro onde não haja risco de despassivação do aço, esse limite depende de várias variáveis como tipo de cimento, (finura, conteúdo de gesso, conteúdo de aluminato tricálcico etc.), proporção de cimento, relação água-cimento, conteúdo de umidade entre outros.

[5] Entende que a grande defesa da armadura é denominada película passiva, é a garantia de que a armadura não sofrerá corrosão, no entanto ela pode ser perdida devido a duas condições básicas:

- Presença de uma quantidade suficiente de íons cloreto, os quais podem advir tanto do meio externo e atingir a armadura por difusão, quanto podem já estar no

interior do concreto devido á água de amassamento ou a agregados contaminados, ou mesmo devido a presença de aditivos aceleradores de pega e endurecimento a base de cloreto de cálcio (CaCl_2);

- Diminuição da alcalinidade do concreto, isto pode se dar devido principalmente ás reações de carbonatação ou mesmo devido á penetração de substâncias ácidas no concreto. Em casos especiais, a queda na alcalinidade pode ser oriunda da lixiviação do concreto, em que a solução alcalina intersticial é levada pelo ataque das águas: neste caso, para que ocorra a lixiviação, é necessária uma certa pressão hidráulica no concreto associada a ação das águas.

[5]Outro contaminante comum está tão documentado como causador de corrosão dos metais no concreto como os cloretos, estes íons podem ser introduzidos intencionalmente no concreto, como agente acelerador de pega e endurecimento, e podem vir através de agregados e água de amassamento contaminado (nestes casos diz-se que são incorporados a massa de concreto). E ainda podem penetrar por sais anticongelantes (empregados nos invernos rigorosos de países frios), salmoras industriais e maresia ou névoa de ambiente marinho, estes casos são bastante comum no nosso país (diz-se que a contaminação ocorre por impregnação da superfície de concreto pelos agentes agressivos externos).

[9]Parte dos cloretos presente no amassamento combina-se com as fases alumino-ferríticas formando cloroaluminatos, que ficam incorporadas ás fases sólidas do cimento hidratado. São perigosos os cloretos dissolvidos na fase aquosa dos poros. Entretanto as normas referem-se sempre ao limite de cloretos totais, devido aos cloretos combinados que podem voltar a dissolução por efeito de processos como a carbonatação, as condições que podem afetar o limite de cloretos capaz de despassivar as armaduras geralmente aceitas é de 0,4% em

relação a massa de cimento ou 0,05 a 0,1% em relação a massa de concreto. No Brasil a NBR 7197-89 (Projeto de estruturas de concreto protendido, procedimento), quanto a NBR 9062-88 (Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, procedimento), remetem o limite de cloretos para a NBR 6118-2014, ou seja, teor máximo de 500mg/l em relação a água de amassamento. Como nestes casos a relação costuma ser de 0,4 e o consumo de cimento é de 400 kg/m³, o limite máximo de cloretos passa a ser de 0,02% em relação a massa de cimento, que é mais exigente que a norma estrangeira. [9] Considera quemesmo que o concreto não apresente cloretos, estes podem surgir na armadura através da rede de poros, se a estrutura estiver localizada em ambientes marinhos ou se são adicionados a superfície do concreto para evitar seu congelamento. Nestes casos, a quantidade de cloretos vai desenvolver com o tempo, podendo até atacar toda a superfície da armadura e provocar velocidade de corrosão perigosa e intensa. Além de um mecanismo de difusão que é levemente lento, os cloretos e em geral todos os sais podem penetrar rapidamente através de um mecanismo de transporte por forças capilares, próprios de ambientes de “névoa satina” existente em climas marinhos quentes, onde os cloretos estão suspensos nas gotículas de umidade do ar, neste fenômeno influem a direção predominante do vento e a insolação. O tempo em que os cloretos chegam até a armadura é conhecido como período de iniciação no modelo de Tuutti dependerá principalmente de:

- Concentração de cloretos no meio externo;
- Natureza de cátion que acompanha o cloreto;
- Quantidade do concreto: tipo de cimento, proporção de aluminato tricálcico, relação água-cimento e outros;
- Temperatura;
- Abertura e quantidade das fissuras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Formas de corrosão.

[6] A deterioração por ação química no concreto pode ocorrer na pasta de cimento e no agregado. Quando decorre a deterioração do concreto por ação química ocorre a expansibilidade do concreto, lixiviação de componentes, ataque do cimento por ácidos, com o aparecimento do aspecto típico do agregado. Ainda segundo o autor corrosão eletroquímica nas armaduras pode apresentar as formas de corrosão uniforme, puntiforme, intergranular (ou intercrystalina), transgranular e fragilização pelo hidrogênio.

- Corrosão uniforme: é a da armadura em toda sua extensão, quando exposta ao meio corrosivo causando perda uniforme de espessura. É chamada também, de corrosão generalizada, mas essa terminologia não deve ser usada só para corrosão uniforme, porque pode haver também, corrosão por pite ou alveolar generalizada, ou seja, por toda a sua extensão da superfície corroída.
- Corrosão puntiforme ou pite: é a armadura com desgaste localizado sob a forma de pites que são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior que seu diâmetro ou alvéolos.
- Corrosão intergranular: é a que se processa entre os grãos da rede cristalina do material metálico. Quando as armaduras são submetidas a solicitações mecânicas, podem sofrer fratura frágil. Perdendo o material toda condição de utilização.
- Corrosão transgranular: é a que se processa nos grãos da rede cristalina do material metálico, perdendo suas propriedades mecânicas, poderá fraturar a menor solicitação mecânica, tendo-se também corrosão sob tensão fraturante.

- **Fragilização por hidrogênio:** é a corrosão ocasionada por hidrogênio atômico que, difundindo-se para o interior do aço da armadura, possibilita a fragilização com consequente perda de ductilidade e possível fratura da armadura.

As três últimas citadas são extremamente graves quando houver ação combinada de solicitações mecânicas e meio corrosivo, ocorrerá a corrosão sob tensão fraturante (stress corrosion cracking), com a consequente fratura da armadura e reflexos na estabilidade das estruturas de concreto armado e principalmente, de concreto protendido.

[4] A superfície metálica atacada por corrosão uniforme perde massa de maneira mais ou menos uniforme, em toda sua extensão; ainda que pode ser facilmente detectada a olho nu e, por isso, a menos perigosa das formas de corrosão e, cita como exemplos de corrosão uniforme o enferrujamento do aço em contato com a atmosfera e o ataque químico de um metal por um ácido, alguns metais, como o alumínio, e ligas, como o aço inoxidável, são muito resistentes a corrosão uniforme.

[4]A corrosão por pites também há perda de massa do metal, mas de maneira não uniforme. Neste caso, a corrosão localiza-se em alguns pontos, estando os pites distribuídos ao acaso”. O autor ainda comenta que o pite pode ter várias formas e dimensões, mas sempre apresenta a profundidade maior do que o diâmetro.

4.2 Fatores aceleradores de corrosão.

[6]No estudo do processo de corrosão de concreto armado, deve-se considerar não apenas os fatores capazes de agir sobre a armadura, mas também aqueles agressivos á pasta de cimento, agregados, ou relacionados com as características do concreto como, por exemplo, permeabilidade, resistividade e porosidade.

4.2.1 Lixiviação – Eflorescência.

O hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 , causado pela hidratação do cimento, apresenta uma solubilidade em água de 1,18 g/l (como CaO). Logo, a água, principalmente de baixa dureza, ou seja, incluindo pequenas concentrações de sais cálcio e magnésio, pode solubilizar o Ca(OH)_2 , causando deterioração do concreto. O hidróxido de cálcio lixiviado quando entra em contato com o ar reage com o dióxido de carbono, CO_2 , formando o carbonato de cálcio, CaCO_3 insolúvel. A lixiviação do hidróxido de cálcio, com a formação do carbonato de cálcio insolúvel, é responsável pelo surgimento de eflorescência definido por depósitos de cor branca na superfície do concreto, algumas vezes, esse depósito aparece sob a forma de estalactites, quando o processo de lixiviação é acentuado, o concreto se torna poroso apresentando maiores espessuras de carbonato de cálcio. A lixiviação é encontrada em paredes laterais de reservatórios de água recém construídos. Após o enchimento desses reservatórios, observa-se, em fissuras ou juntas de concretagem, o escorrimento de resíduo branco que cessa após algum tempo. Esse fato é causado pela lixiviação do hidróxido de cálcio, pela água no interior do reservatório que, quando entra contato com o gás carbônico atmosférico, forma o carbonato de cálcio insolúvel que acaba vedando as fissuras ou juntas de concretagem [6].

4.2.2 Carbonatação.

[5] Geralmente a carbonatação do concreto é condição essencial para iniciação da corrosão das armaduras. Para o autor as superfícies expostas das estruturas de concreto, a alta alcalinidade, atingido principalmente pela presença de Ca(OH)_2 liberado das reações de hidratação do cimento, pode ser reduzida com o tempo. Esta redução pode ocorrer pela ação do CO_2 do ar, além de outros gases ácidos como. SO_2 e H_2S^{51} . Esse processo é denominado de carbonatação e, com velocidade lenta, diminuindo-se com o tempo.

[6]O dióxido de carbono, CO_2 , encontrado no ar ou em águas agressivas, pode se combinar com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$, formando o carbonato de cálcio, CaCO_3 , insolúvel. Diminuindo o valor do pH para 8,5-9, possibilitando a despassivação do aço. Se houver excesso de CO_2 , como no caso de águas agressivas, pode ocorrer a reação, com formação de bicarbonato de cálcio, CaCO_3 , solúvel. Quando o carbonato de cálcio, insolúvel, penetra nos poros de concreto, vedando-os, a carbonatação é benéfica para a durabilidade do concreto. A velocidade de carbonatação depende do teor de umidade do concreto e da umidade relativa do meio ambiente. A profundidade de carbonatação aumenta com o aumento da relação água-cimento, quando a relação água-cimento é igual a 0,4, a profundidade de carbonatação corresponde apenas a metade da profundidade com relação 0,6 e com a relação água-cimento 0,8, a profundidade é aproximadamente 50% a mais do que a relação 0,6. A fenolftaleína apresenta coloração róseo-avermelhada com valores de Ph iguais ou superiores a 9,5 aproximadamente e incolor abaixo desse valor. A timolftaleína apresenta coloração azulada com valores de Ph de ordem de 10,5 ou superior e incolor abaixo desse valor, os cimentos pozolânicos, ou cimento de auto-forno, são mais adequados para concreto e mais resistentes a carbonatação.

4.2.3 Ácidos.

O contato direto de concreto com soluções de ácidos como, clorídrico, fluorídrico, nítrico, sulfuroso e sulfúrico, causa deterioração do concreto, devido à reação com componentes do concreto e diminuem o valor de pH. Deve-se considerar não só a reação de neutralização, ou de alteração no valor de pH, mas também a parte aniônica dos ácidos. Este fato é muito evidenciado no caso do ácido sulfúrico, H_2SO_4 , onde além da ação ácida, encontra-se a ação do íon sulfato. No ataque ácido do concreto encontra-se em muitos casos, a destruição da pasta de cimento, onde se pode observar o aspecto típico do agregado.

No caso do concreto armado tem-se o ataque da pasta, o ataque da armadura, verificando-se a formação de coloração castanho-alaranjada característica dos sais de ferro. São responsáveis por problemas de corrosão em pisos de fábricas de laticínios (ácido láctico), fábricas de vinagre (ácido acético), fábricas de sabão (ácidos graxos, como oleico), indústrias de extração de sucos cítricos (ácido cítrico) etc. Temos ainda na ação corrosiva de ácidos sobre concreto, o problema ocasionado por poluentes atmosféricos, chamada de chuva ácida. Entre os componentes da chuva ácida estão óxidos de nitrogênio, NO e NO₂, e óxido de enxofre, SO₂ e SO₃, que podem originar-se da queima de combustíveis de veículos automotivos, indústrias e em usinas termelétricas. Essas substâncias são lançadas para a atmosfera e, na presença de umidade e oxigênio, causa a formação dos ácidos sulfurosos, H₂SO₃, sulfúrico, H₂SO₄, e ácido nítrico, HNO₃ [6].

4.2.4 Reação Alkali-Agregado.

[6] Por natureza química da pasta de cimento, pode-se prever que o concreto, devido a sua natureza alcalina, obtenha boa resistência a ação de bases como, soda cáustica, NaOH, mas na presença de soluções concentradas dessa base, pode-se observar a deterioração do concreto. Se o concreto possuir agregado constituído de sílica, SiO₂, reativa, amorfa (como, por exemplo, opala, calcedônia e dolomita contendo sílica), e for bastante alcalino (acima de 0,6% em álcali e sílica). Segundo o autor nesta reação, forma-se um gel de sílica, com conseqüente deterioração do concreto e pode se dar, normalmente, sob formas de expansão, fissuras e exsudação do gel, através de poros e fissuras, e também endurecimento sob a forma perolada na superfície do concreto.

4.2.5 Sais.

[6] Alguns sais são muito agressivos no concreto, podendo ocorrer sua ação na pasta de cimento ou na armadura, caso seja

eletrólitos, possibilitam a formação de pilhas, facilitando a corrosão do aço das armaduras. Sais de amônio são destrutivos devido a reação com o meio alcalino, liberando amônia, NH_3 , e eliminando o hidróxido de cálcio, que é responsável pela alcalinidade protetora do concreto. Cloretos solúveis, como cloreto de sódio, NaCl , podem reduzir a ação protetora da película de passivação existente no meio alcalino ou básico proporcionado pela pasta de cimento. Também podem diminuir a resistividade do concreto, e assim facilitando o processo eletroquímico de corrosão das armaduras, de acordo com o autor os cloretos podem resultar:

- Durante a preparação do concreto: dos agregados, da água de amassamento ou de aditivos como cloreto de cálcio usado como acelerador de pega ou endurecimento do concreto;
- Durante a utilização: do meio ambiente, como cloreto de sódio em atmosfera marinha.

Embora a presença desses sais faça prever um processo corrosivo acentuado, observa-se que o mesmo é minimizado pela formação de cloroaluminato de cálcio, $3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaCl}_2 - 10\text{H}_2\text{O}$, que é insolúvel, e resulta da reação entre o cloreto e aluminatos do concreto. A formação desse produto insolúvel baixa os teores de cloretos solúveis a valores não agressivos. Daí os cimentos contendo teores elevados de aluminato tricálcico, C_3A , serem mais indicados para resistirem a cloretos [6].

4.2.6 Água do Mar.

Estruturas de concreto em água do mar estão sujeitas à corrosão, causada pela presença de cloreto de sulfato solúveis, a ação corrosiva desses sais possibilita que diferentes áreas fiquem sujeitas a ação corrosiva da água do mar como:

- Permanentemente submersa;
- Variação de maré: máxima e mínima;
- Respingos;

- Atmosférica: névoa salina;
- Enterrada.

[6] Na área permanentemente submersa, o concreto tem condições de resistir a corrosão, na área de variação de maré tem-se a ação alternada de molhabilidade e secagem, essa ação ocasiona saturação do concreto com água do mar e evaporação dessa água associada com a variação da maré. Essa evaporação causa acúmulo de sais na superfície do concreto e possível permeação do cloreto, deixando a área de variação de maré mais sujeita a corrosão. Na área atmosférica a estrutura fica sujeita a ação de névoa salina e a corrosão é menos severa do que nas anteriores, variação de maré e respingos, na área enterrada, normalmente não há corrosão, como por exemplo nos pilares de sustentação de pontes que são fixados em rochas.

4.2.7 Porosidade e Permeabilidade.

[6]A penetração de soluções de eletrólitos e gases, como o oxigênio, ocorre nas áreas mais permeáveis e porosas, tornando a resistividade do concreto baixa e acelerando o processo corrosivo”. Segundo autor um concreto de alta resistividade é obtido com baixa porosidade e pequeno valor de água de saturação. A resistividade do concreto seco pode se tornar mais protegido se atingir 100.000 ohm.cm. A adição de microssílica (SiO₂ finamente dividida) diminui a permeabilidade e reduz a possibilidade de fissuramento.

[5]A permeabilidade a água e a absorção da água de um concreto são características que refletem a sua qualidade, um concreto será de mais baixa qualidade quando ele apresentar maiores índices de permeabilidade e absorção, embora haja o caso de se ter um aumento da absorção capilar, pela diminuição do diâmetro dos capilares.

5 CONCLUSÃO

São muitos os possíveis motivos de corrosão de armaduras no concreto armado, que podem ser evitada com a qualidade da concretagem das estruturas e, assim evitando o processo de deterioração das armaduras, com o estudo desta revisão bibliográfica foi possível entender as principais patologias causadas pela corrosão como, a lixiviação que com a formação do carbonato de cálcio insolúvel, é responsável pelo surgimento de eflorescência. Foi possível entender que quando o carbonato de cálcio, penetra nos poros vazios do concreto, vedando-os, a carbonatação é benéfica para a durabilidade do concreto e, que as estruturas de concreto em água do mar estão sujeitas a corrosão, causada pela presença de cloreto de sulfato solúveis. Também foi possível entender que a penetração de soluções de eletrólitos e gases, como o oxigênio, ocorre nas áreas mais permeáveis e porosas, diminuindo sua resistência e acelerando a deterioração das armaduras. Após analisar todo o conteúdo do estudo foi possível verificar que, na prática, não maioria das obras executadas infelizmente não há um acompanhamento tecnológico do concreto, devido à falta de fiscalização, é possível encontrar armaduras expostas devido a má execução, falta de cobrimento adequado, etc. Portanto é possível afirmar que a vida útil das estruturas pode ser reduzida, se for submetida a ação corrosiva, portanto devemos aumentar os cuidados durante a execução das estruturas desde o projeto, até a sua execução final.

6 REFERÊNCIAS

[1] TRINDADE, D. S. Patologia em estruturas de concreto armado. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Rio Grande do Sul. 2015. Monografia. Disponível em:<http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_DIE

[GO%20DOS%20SANTOS%20DA%20TRINDADE.pdf](#)>.

Acessado em Junho de 2018.

[2] GONÇALVES, E. A. B. Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)/ Escola Politécnica, 2015. Projeto de Graduação. 156p. Disponível em:<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014879.pdf>>. Acessado em Junho de 2018.

[3] HELENE, Paulo R.L. Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1992. 119 p.

[4] DIAS, Luís, Andrade. **Estrutura de aço**: técnicas e linguagem. 4. Ed.São Paulo: Zigurate, 2002.

[5] CASCUDO, Osvaldo. **O Controle da Corrosão das Armaduras em Concreto**. Inspeção e Técnicas Eletroquímicas. São Paulo: Pini, 1997.

[6] GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 360 p.

[7] FONTANA, M.G, (CorrosionEngineering, Third Edition,1987).

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios: procedimentos. Rio de Janeiro, 2008. 237p.

[9] ANDRADE, Carmen. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**, tradução e adaptação Antônio Carmona e Paulo Helene: Pini, 1992.

[10] DIAS, Luís, Andrade. **Estrutura de aço**: técnicas e linguagem. 4. Ed.São Paulo: Zigurate, 2002.

[11] SCHÖNARDIE, C. E. **Análise e Tratamento das Manifestações Patológicas por Infiltração em Edificações**: 2009. 84p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2009.

[12] LERSCH, I. M. **Contribuição para a Identificação dos Principais Fatores e Mecanismos de Degradação em**

- Edificações do Patrimônio Cultural de Porto Alegre:** 2003. 184p. (Dissertação Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** 2014: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 238p.
- [14] VERÇOZA, Enio José. *Impermeabilização na Construção*. Porto Alegre: Sagra, 1985.