

FACULDADE DE CIÊNCIAS GERENCIAIS DE MANHUAÇU

**CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: FUNDAMENTOS,
PROCESSO E EFEITOS DA CORROSÃO E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS
CORROÍDAS.**

Sara Stoffel Werner Gripp

Manhuaçu
2017

SARA STOFFEL WERNER GRIPP

**CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO:
FUNDAMENTOS, PROCESSO E EFEITOS DA CORROSÃO E
RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS CORROÍDAS.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso superior de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu, como requisito parcial a obtenção do título de graduação em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia Civil

Orientador: Leandro José de Lima

Manhuaçu
2017

SARA STOFFEL WERNER GRIPP

**CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO:
FUNDAMENTOS, PROCESSO E EFEITOS DA CORROSÃO E
RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS CORROÍDAS.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso superior de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu, como requisito parcial a obtenção do título de graduação em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia Civil

Orientador: Leandro José de Lima

Banca Examinadora
Data de aprovação:

Mestre:
Mestre:
Mestre:

Manhuaçu
2017

RESUMO

O artigo buscou realizar uma análise em relação ao processo corrosivo das armaduras no concreto armado. Buscou-se analisar o modelo proposto por Tutti, o qual divide o processo corrosivo em dois períodos: o de iniciação e o de propagação. O período de iniciação é desencadeado pela presença do dióxido de carbono e de íons cloreto, sendo que, estes causam a despassivação das armaduras, desta forma, dando início a propagação da corrosão na armadura de aço do concreto. Sendo a corrosão uma reação eletroquímica do aço com o meio, e de grande incidência nas estruturas comprometendo-a tanto do ponto de vista estético quanto do ponto de vista da segurança, já que ataca as armaduras ocasionando inclusive a perda de seção da mesma. O presente trabalho procurou mostrar como realizar a recuperação das estruturas que são afetadas pelo fenômeno da corrosão. Para a compreensão deste problema foi realizada uma revisão bibliográfica. Concluiu-se com este artigo que, o que leva a armadura a sofrer a corrosão é a despassivação da mesma, sendo que, os principais responsáveis por esta despassivação são a carbonatação e o ataque por íons cloreto.

Palavras-chave: Corrosão; Armadura; Processo de corrosão das armaduras.

SÚMARIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 DESENVOLVIMENTO.....	7
2.1 FUNDAMENTOS DA CORROSÃO DO AÇO.....	7
2.2 PROCESSO DE CORROSÃO DA ARMADURA.....	8
2.3 PERÍODO DE INICIAÇÃO.....	10
2.3.1 CARBONATAÇÃO	10
2.3.2 ATAQUE POR ÍONS CLORETOS	11
2.4 PERÍODO DE PROPAGAÇÃO.....	12
2.5 EFEITOS DA CORROSÃO E SINTAMOTOLOGIA TÍPICA NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	13
2.6 RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO AFETADAS PELA CORROSSÃO.....	15
2.7 METODOLOGIA.....	16
3.0 CONCLUSÃO	17

1 INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland é considerado o material estrutural de maior importância da atualidade na construção civil. A descoberta deste material ocorreu no final do século XIX, e seu excessivo uso no século XX o transformaram no material mais consumido pelo homem depois da água, inovando assim a arte de projetar e construir estruturas (HELENE; ANDRADE, 2010).

Como nenhum material possui duração eterna, o envelhecimento das estruturas começou a ser acompanhado por surgimento de problemas, o que deu início a uma nova área de estudos que buscava estudar as causas, formas de manifestações, consequências e mecanismos de deterioração das edificações, chamada de Patologia das Estruturas (CUNHA, 2011).

Designa-se genericamente por Patologia das Estruturas esse novo campo da engenharia das construções, que se ocupa das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e do sistema de degradação das estruturas (SOUZA e RIPPER, p. 14).

São vários os tipos de deterioração que podem surgir no concreto armado, podendo ser causados por um grande número de mecanismos. Para BARBOSA et al. (2012), dentre os tipos de deterioração que as estruturas de concreto armado podem vir a sofrer, a corrosão das armaduras é a mais frequente.

Para Helene (1986), a corrosão é uma interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica.

Para Panossian (citado por CASCUDO, 1997), a corrosão metálica é “a transformação de um metal em íon metálico pela sua interação química ou eletroquímica com o meio em que se encontra”.

Gentil (2003 p. 1) tem uma definição bem semelhante as anteriormente citadas:

Num aspecto muito difundido e aceito universalmente pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, ligada ou não por esforços mecânicos.

De acordo com este mesmo autor, em alguns casos, a corrosão pode ser entendida como o inverso do processo metalúrgico.

Em alguns casos pode-se admitir a corrosão como o inverso do processo metalúrgico, cujo o objetivo principal é a extração do metal a partir de seus minérios ou de outros compostos, ao passo que a corrosão tende a oxidar o metal. Assim, muitas vezes o produto da corrosão de um metal é bem semelhante ao minério, do qual é originalmente extraído. O óxido de ferro mais comumente encontrado na natureza é a hematita, Fe_2O_3 e a ferrugem é o Fe_2O_3 hidratado, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, isto é, o metal tendendo a retornar a sua condição de estabilidade. (GENTIL, 2003, p. 1).

De acordo com Barbosa et al. (2012), o fenômeno da corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado, compromete-as tanto do ponto de vista estético, quanto do ponto de vista da segurança.

Os danos por corrosão podem afetar a capacidade portante dos componentes estruturais, em função da perda de seção transversal das armaduras, da perda de aderência entre o aço e o concreto e da fissuração deste (SBARDELINI; PEREIRA; CISOTTO, 2008, p. 23).

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar uma revisão bibliográfica em relação ao processo corrosivo das armaduras em estruturas de concreto armado.

2 DESENVOLVIMENTO

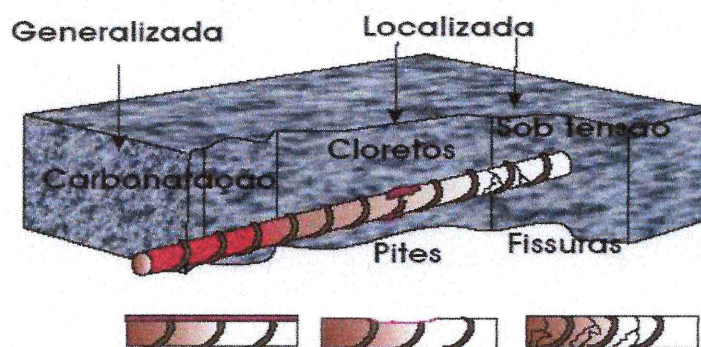
2.1 FUNDAMENTOS DA CORROSÃO DO AÇO

De acordo com Cascudo (1997), o processo de corrosão, segundo sua natureza, pode assumir duas formas: Corrosão química (também chamada de corrosão seca ou oxidação) ou eletroquímica (também chamada de corrosão aquosa). A primeira não é tão relevante em se tratando de concreto armado; este tipo de corrosão se dá por uma reação gás/metál, sendo que, este é um processo lento e não é tão danoso as superfícies metálicas. O metal reage de maneira homogenia ao longo da totalidade de sua superfície, não acontecendo reações de oxido-redução e, conseqüentemente, não existindo circulação de corrente elétrica. Já a corrosão eletroquímica é a causa primordial de deterioração das armaduras no concreto armado. Ocorre em meio aquoso com reações de oxido-redução e consequente circulação de corrente elétrica (CASCUDO, 1997; CÁNOVAS, 1988).

De acordo com Helene (1993), no interior do concreto, a corrosão das armaduras ocorre por meio da reação eletroquímica, resultando em óxidos e hidróxidos com volume superior ao metal de origem, denominados de ferrugem.

Segundo a morfologia do processo, os tipos mais comuns de corrosão eletroquímica do aço é a corrosão generalizada e as corrosões localizadas por pite e sob tensão fraturante (FIGURA 1.0). No primeiro caso, a corrosão manifesta-se ao longo de toda a superfície da barra de aço, podendo ser uniforme, apresentando superfície lisa e regular, ou não uniforme, apresentando superfície rugosa e irregular. No segundo caso, a corrosão ocorre sob a forma de pontos de desgastes definidos na barra de aço, provocando o rompimento pontual da barra. Na maioria dos casos, ocorre na forma de depressões rasas e de maior diâmetro ao longo das barras de aço, assemelhando-se a "crateras". E por último a corrosão sob tensão fraturante, que se manifesta simultaneamente a uma tensão de tração na armadura, resultando na propagação de fissuras. Este tipo de corrosão manifesta-se predominantemente em estruturas protendidas, no entanto, também pode se manifestar em estruturas de concreto armado, posto que, com pelo menos 10% do limite de resistência do aço, é possível sua ocorrência. Na presença de ambientes ricos em cloretos e com elevados níveis de tensão sua incidência passa a ser maior e mais preocupante. Estruturas que apresentam este tipo de problema podem vir a se romper repentinamente sem que haja deformações significativas de elementos estruturais e praticamente sem sintomas visuais de corrosão (CASCUDO, 1997).

FIGURA 1.0- Tipos de corrosão
Corrosão de armadura



Fonte - Cascudo, 1997

Para que o processo corrosivo não venha a ser desencadeado, a armadura deve estar protegida no interior do componente estrutural (CASCUDO, 1997). O concreto armado, desde que executado adequadamente, é capaz de proteger as armaduras do fenômeno da corrosão em seu interior. Esta capacidade deve-se a existência simultânea de duas formas de atuação: a barreira física, proporcionada pela camada de cobrimento e a proteção química, dada pela elevada alcalinidade capaz de passivar as armaduras no interior do concreto (HELENE, 1993; ANDRADE, 1992; CASCUDO, 1997).

O cobrimento deve ter um concreto de alta compacidade, sem ninhos e com um perfeito equilíbrio entre seus elementos e homogeneidade, que garanta a impermeabilização do material para proteger o aço do ataque de agentes agressivos (HELENE, 1986). Um concreto de alta qualidade atua, além de barreira física aos agentes agressivos, como barreira aos elementos básicos necessários a existência da corrosão, a água e o oxigênio (HELENE, 1993).

A elevada alcalinidade da solução aquosa dos poros do concreto (com ph em torno de 12,5), provem, nas primeiras idades, da elevada concentração do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hidróxido de cálcio), oriundo da reação de hidratação do cimento. Em idades avançadas, o meio alcalino continua a ser proporcionado principalmente por uma solução composta de NaOH (hidróxido de sódio) e KOH (hidróxido de potássio), oriundos dos álcalis do cimento (CASCUDO, 1997).

A acentuada alcalinidade é propícia para tornar o aço inerte, isto é, passivado. A passivação dá-se pela formação de uma fina película de um filme óxido estável e aderente a superfície do metal tornando-o mais resistente. Este filme é composto por duas camadas de óxido, sendo que, na primeira predomina o Fe_3O_4 (magnetita) e na segunda o YFe_2O_3 (maghemita) (HELENE, 1993).

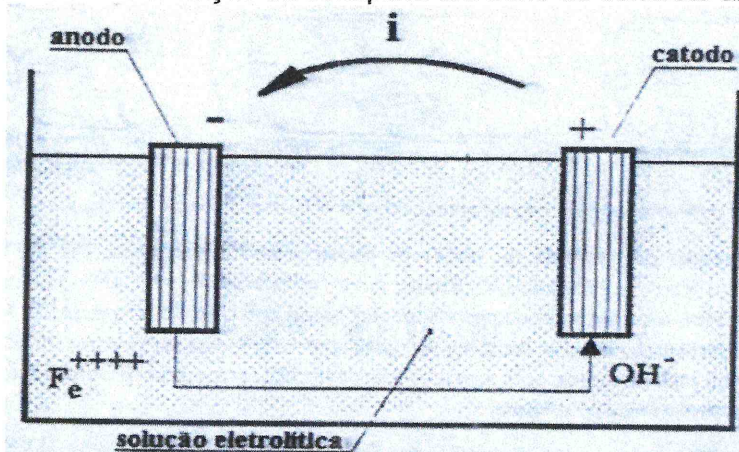
Portanto, a camada de cobrimento do concreto é responsável em proteger este filme passivante protetor da armadura contra danos mecânicos e físicos e, ao mesmo tempo manter a sua estabilidade química (HELENE, 1993).

2.2 PROCESSO DE CORROSÃO DA ARMADURA

Em qualquer caso, o processo de corrosão do aço é eletroquímico, ou seja, dá-se pela geração de um potencial elétrico, na presença de um eletrólito, no caso, a solução aquosa existente no concreto em contato com um condutor metálico, a própria barra de aço. A passagem de átomos de ferro a superfície aquosa, transformando-se em cátions ferro (Fe^{++}), com a consequente saída de carga eletricamente negativa, instalam a diferença de potencial. Desta forma cria-se um efeito de pilha (FIGURA 2.0) onde a corrosão instala-se pela geração de uma corrente elétrica dirigida do anodo para o catodo, através da água, e do catodo para o anodo, através da diferença de potencial. No caso do concreto armado, as regiões de menor concentração são as anódicas (FIGURA 3.0). Da combinação do cátion ferro Fe^{++} com os ânions $(\text{OH})^-$ (íons de hidroxila) resulta o hidróxido ferroso, de cor amarelada, depositado no anodo; no catodo deposita-se o hidróxido férrico, de cor avermelhada. Estes dois produtos constituem a ferrugem, evidencia mais clara da corrosão do aço (SOUZA e RIPPER, 1998).

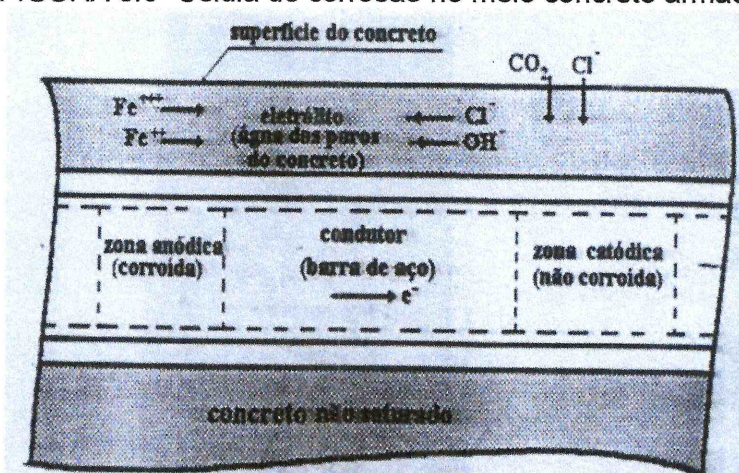
De acordo com Cascudo (1997), a região da barra de aço que sofre a corrosão é o anodo, devido as reações de dissolução do ferro, e o cátodo é a região não corroída da barra de aço, onde ocorrem as reações de redução do oxigênio.

FIGURA 2.0- Formação da semipilha em meio de concreto armado



Fonte- Souza e Ripper, 1998

FIGURA 3.0- Célula de corrosão no meio concreto armado



Fonte- Souza e Ripper, 1998.

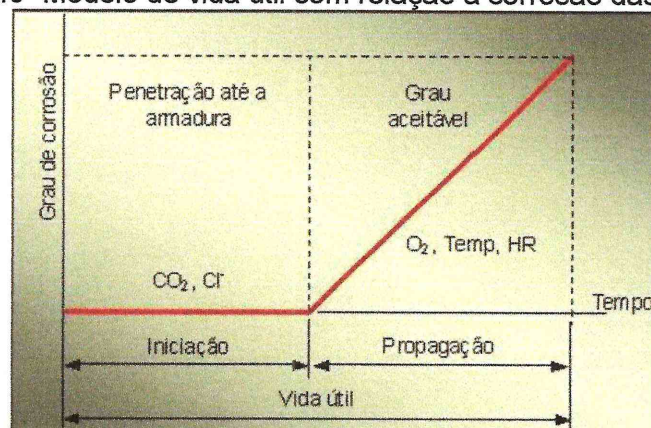
De acordo com Helene (1993), é a disponibilidade de oxigênio e a magnitude de corrente elétrica circulante que determinarão se irá ou não ocorrer a corrosão. Em concretos secos ou saturados não acontecerá a corrosão. No primeiro caso, não há quantidade suficiente de eletrólito, e no segundo caso não há quantidade suficiente de oxigênio. Por outro lado, as estruturas mais sujeitas a corrosão são as expostas à ação alternada de secagem e molhagem, em particular se esta água for dotada de grande concentração de cloretos (SOUZA e RIPPER, 1998).

Além do eletrólito, diferença de potencial e oxigênio, a ocorrência do processo corrosivo pode estar ligada a presença de agentes agressivos. De acordo com Helene (1993, apud, SILVA, 2006), os agentes agressivos contribuem na aceleração do processo corrosivo, pois, além de serem responsáveis pela diminuição da alcalinidade do concreto, favorecem a despassivação do aço e colaboram para o aumento da condutividade elétrica do concreto.

Em relação ao processo corrosivo, o modelo mais utilizado para a previsão da vida útil no interior do concreto da armadura é o proposto por Tutti (1982, apud, ANDRADE, 1992), que dividi o processo em duas faces: O período de iniciação e o de propagação (FIGURA 4.0). O período de iniciação é o período de tempo que vai desde a execução da estrutura até a ação do agente agressivo em atravessar o concreto de cobrimento, alcançar a armadura e despassivá-la. A propagação, por

sua vez, consiste no desenvolvimento da corrosão até que se alcance um grau inaceitável do processo (ANDRADE, 1992).

FIGURA 4.0- Modelo de vida útil com relação a corrosão das armaduras



Fonte- Tutti, (1982)

2.3 PERÍODO DE INICIAÇÃO

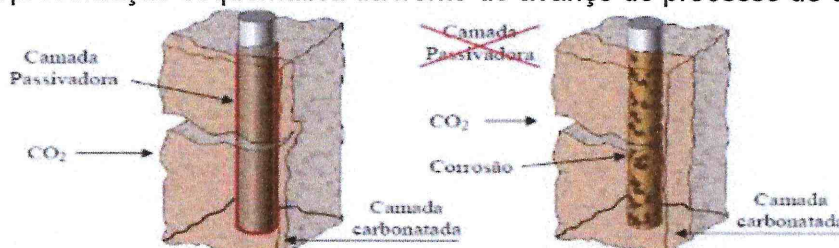
De acordo com Andrade (1992), a presença de íons cloretos e dióxido de carbono são considerados fatores desencadeantes que atuam no período de iniciação, sendo que estes penetrarão no concreto até atingir a armadura, ocasionando de acordo com seu teor a destruição desta película.

2.3.1 CARBONATAÇÃO

De acordo com Silva (1995), a ocorrência da carbonatação se dá quando o CO_2 (dióxido de carbônico), presente no ar atmosférico ou em águas agressivas, se combina com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hidróxido de cálcio), formando CaCO_3 (carbonato de cálcio), insolúvel. Como consequência deste processo, ocorre uma redução da alcalinidade da solução presente nos poros ao redor das armaduras, devido a precipitação do CaCO_3 , possuidor de pH da ordem de 8,3 a 9,0, a temperatura ambiente, o que altera substancialmente as condições de estabilidade química da capa ou película passivadora do aço (HELENE, 1993).

A carbonatação caracteriza-se por formar uma "frente" de avanço do processo, chamada de frente de carbonatação (FIGURA 5.0), tal frente divide duas zonas bem distintas de pH: Uma com valor inferior a 9 (carbonatada) e outra com valor superior a 12 (não carbonatada). Esta frente avança gradativamente para dentro do concreto e, ao atingir a armadura, gera a sua desp passivação, que é a perda da camada passivadora protetora do aço, o que propicia o início da corrosão das armaduras (CASCUDO, 1997).

Figura 5.0- Representação esquemática da frente de avanço do processo de carbonatação



Fonte- Carmona, apud Tula, 2000

Em um ambiente de baixa concentração de CO_2 , se a carbonatação ficasse limitada a uma camada inferior à de cobrimento das armaduras seria até benéfica para o concreto, pois a produção do sal carbonato de cálcio colmataria os poros do concreto tornando-o mais resistente química e mecanicamente. O problema é que, em função da concentração de CO_2 na atmosfera e da porosidade e nível de fissuração do concreto, a carbonatação pode atingir a armadura, rompendo o filme de óxido que a protege, abrindo as portas para a corrosão (SOUZA e RIPPER, 1998).

Posteriormente a desp passivação das armaduras, o aço sofrerá um processo corrosivo generalizado (FIGURA 6.0), com o agravante de estar confinado no interior do concreto, em contato direto com a umidade (ANDRADE, 1992).

Figura 6.0- Corrosão generalizada nas armaduras



Fonte- Slideplayer.com.br

2.3.2 ATAQUE POR ÍONS CLORETOS

Os íons cloretos são os agentes mais problemáticos para a corrosão das armaduras, pois são capazes de despassar o aço mesmo em pH extremamente elevado dando início ao processo corrosivo (CAVALCANTE FILHO, 2010).

De acordo com FORTES (1995), estes íons destroem a película passivante sobre a armadura de maneira localizada, provocando a corrosão por pites (FIGURA 7.0).

FIGURA 7.0- Corrosão das armaduras provocada por íons cloretos



Fonte- Slideplayer.com.br

Os cloretos podem ser adicionados involuntariamente ao concreto a partir da utilização de aditivos aceleradores do endurecimento (a grande maioria destes aditivos contem cloreto de cálcio em sua composição), de agregados e de águas contaminadas, ou a partir de tratamentos realizados com ácido muriático. Até mesmo penetrar no concreto ao aproveitarem-se de sua estrutura porosa (SOUZA e RIPPER, 1998).

A taxa de penetração destes íons por meio do concreto depende de vários fatores, que incluem o local onde a estrutura está localizada, a água e o oxigênio (MEDEIROS; HELENE, 2003).

Os principais mecanismos pelo qual os agentes agressivos podem penetrar no concreto são a absorção capilar e a difusão iônica. Enquanto a absorção capilar ocorre na camada superficial do concreto, onde acontecem as sequentes molhagens e secagens, a difusão iônica se desenvolve no interior do concreto, em meio permanentemente úmido. A difusão é provocada pela existência de gradientes de concentração dos íons cloretos entre diferentes regiões do concreto. A movimentação dos íons por meio deste mecanismo vai depender da interconexão entre os poros do concreto e da existência de um eletrólito, não havendo difusão em concretos completamente secos (CASCUDO, 1997).

Destaca-se que em regiões próximas ao mar a preocupação com este tipo de ataque deve ser frequente, já que está a proximidade faz com que a atmosfera contenha íons cloretos. Assim, as partículas da água do mar contendo sais dissolvidos, quando em suspensão na atmosfera, são arrastadas pelo vento e podem depositar-se nas estruturas, possibilitando que o cloreto ingresse no concreto por meio da absorção capilar da água na qual se encontram dissolvidos (CAVALCANTE FILHO, 2010).

2.4 PERÍODO DE PROPAGAÇÃO

Uma vez despassivada a armadura, seja pela chegada da frente de carbonatação, seja pela ação danosa dos íons cloretos, ou ainda pela ação simultânea de ambos os fatores, ela fica suscetível a corrosão (eletroquímica). Inicia-se, então, a propagação deste fenômeno na armadura de aço no concreto (SILVA, 2006).

De acordo com Andrade (1992), é a umidade do concreto e a disponibilidade de oxigênio que determinarão a velocidade de propagação no modelo de Tutti, sendo que, o teor de umidade do concreto é a variável mais influente na velocidade do processo.

De acordo com Andrade e Alonso (1990, apud CASCUDO 1997), o teor de umidade do concreto determina a disponibilidade de oxigênio para o processo corrosivo além de ser determinante sobre a resistividade elétrica do concreto. Se os poros do concreto estiverem saturados, mesmo que para baixos valores de resistividade elétrica, não haverá disponibilidade de oxigênio já que sua capacidade de dissolução na água é baixa, já para situação de umidade muito baixa, com os poros praticamente secos, a resistividade elétrica será elevada (ANDRADE, 1992). As maiores velocidades de corrosão se dão com altos teores de umidade, porém sem saturação para não impedir o acesso de oxigênio (CASCUDO, 1997).

Além da resistividade elétrica do concreto, a migração dos íons cloretos e a difusão e a dissolução de oxigênio na solução aquosa dos poros são as principais características do concreto significativas a cinética do processo corrosivo (HELENE, 1993).

De acordo com Cánovas (1988), só ocorrerá a corrosão quando a resistividade elétrica do concreto é menor que 5000 a 10000 ohm/cm e o oxigênio e a água podem difundir-se por meio do revestimento em quantidade suficiente para formar o óxido ferroso.

De acordo com Cascudo (1997), além de despassivarem as armaduras, os íons cloretos tem influência na velocidade do processo de propagação da corrosão ao atuarem como catalisadores das reações que formam os produtos de corrosão e

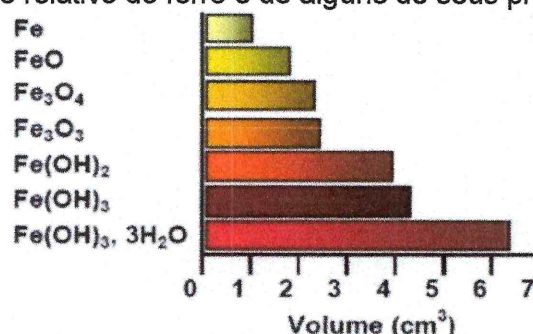
contribuírem para aumentar a condutividade elétrica da solução dos poros do concreto.

2.5 EFEITOS DA CORROSÃO E SINTAMOTOLOGIA TÍPICA NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

De acordo com Helene (1993), os produtos formados durante o processo corrosivo das armaduras, sendo estes, constituídos de óxi-hidróxidos de ferro podem ocupar volumes várias vezes maiores que o volume original do aço da armadura podendo ocasionar pressões de expansão da ordem de 15MPa. Na figura 8.0 apresenta-se o volume relativo de alguns dos produtos gerados pela corrosão do aço, segundo CASCUDO (1997).

[...] a expansão volumétrica das barras de aço, quando sob corrosão, pode significar aumento correspondente a dez vezes o seu volume original (SOUZA e RIPPER, 1998).

Figura 8.0- Volume relativo do ferro e de alguns de seus produtos de corrosão

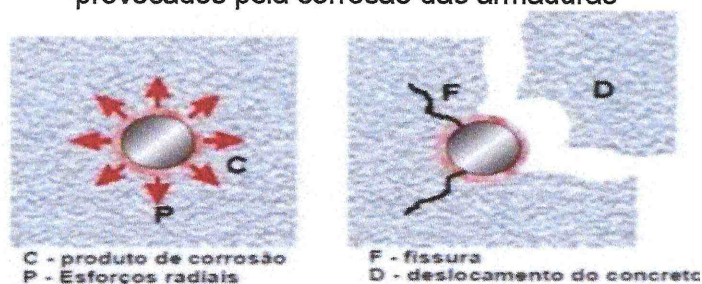


Fonte- Cascudo, 1997

De acordo com Helene (1993), as tensões provocadas pela expansão dos produtos da corrosão provocam inicialmente o surgimento de fissuras no concreto, facilitando a entrada de agentes agressivos, da água/umidade e do oxigênio, acelerando o processo e ocasionando o destacamento do concreto de cobrimento (FIGURA 9.0).

[...] neste caso, como em qualquer outro caso em que haja fissuração, o processo é agravado, pois o acesso direto dos agentes agressivos existentes na atmosfera multiplica e acelera a corrosão, combinando situações de ataque localizado com outras de ataque generalizado. As fissuras formadas acompanham o comprimento das armaduras (SOUZA e RIPPER, 1998, p.68).

FIGURA 9.0- Esforços produzidos que levam a fissuração e o deslocamento do concreto provocados pela corrosão das armaduras



Fonte- Cascudo (1997) apud Polito (2006)

As fissuras provocadas pela corrosão do aço se propagam paralelamente a barra corroída e são classificadas em ativas progressivas, pois suas aberturas vão se expandindo ao longo do processo. Esta evolução provoca o lascamento do concreto (com perda de aderência entre o aço e o concreto) e o destacamento da camada de cobrimento, deixando as armaduras expostas (CASCUDO, 1997). A fissuração pode ocorrer tanto em relação a armadura principal quanto em relação a estribos, que normalmente estão ainda mais próximos da superfície do componente estrutural, como mostra a figura 10.0 (HELENE, 1993).

FIGURA 10.0- Fissuração e lascamento do concreto paralelamente as barras e estribos metálicos



Fonte- Husni (2003) apud Polito, (2006)

A corrosão sofrida pela armadura de aço leva a perda de seção (FIGURA 11.0) na região anódica, devido a dissolução do ferro, ocasionando a perda de aderência do aço com o concreto, na redução da capacidade estrutural da peça e no aparecimento de manchas de coloração marrom alaranjada. Assim, em função das tensões internas expansivas decorrentes dos produtos da corrosão, o lascamento do concreto e o destacamento da camada de cobrimento se dará na zona anódica. (SANTOS, 2012).

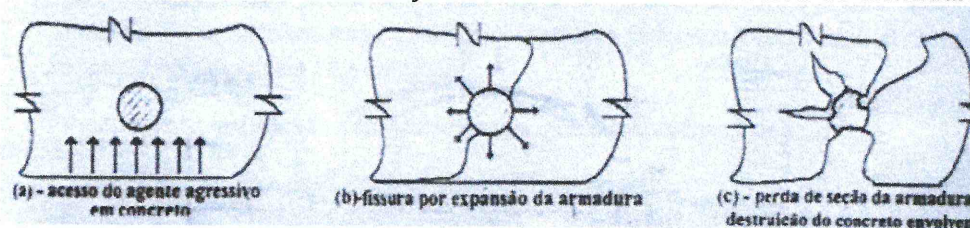
FIGURA 11.0- Perda de seção na barra de aço devido a corrosão



Fonte- <https://pt.SlideShare.net>

Na figura 12.0 é possível observar os estágios da instalação do processo corrosivo na barra de aço, desde o acesso dos agentes agressivos até o destacamento do concreto.

FIGURA 12.0- Fases da instalação da corrosão em uma barra de armadura



Fonte- Souza e Ripper (1998).

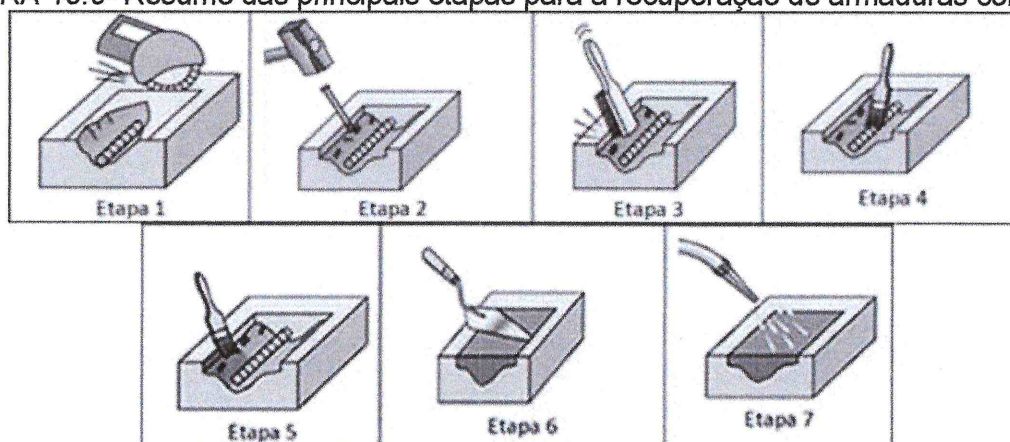
Caso o concreto esteja bastante úmido, ao invés do surgimento de fissuras, a corrosão pode levar ao aparecimento de manchas corrosivas. Devido a esta umidade, os óxidos passam a ser gerados a uma velocidade constante, podendo emigrar por meio da rede de poros do concreto, aparecendo na superfície sob forma de manchas marrom-avermelhadas. Contudo, é comum a ocorrência de fissuras acompanhadas de manchas corrosivas (CASCUDO, 1997).

2.6 RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO AFETADAS PELA CORROÇÃO.

O objetivo do processo de recuperação em estruturas danificadas é a devolução do seu estado original, seja do ponto de vista de capacidade portante seja sob a ótica da durabilidade (CASCUDO, 1997).

Na figura, a 13.0 é possível observar a sequência das atividades, consideradas ideais para a prática de recuperação das estruturas que apresentam problemas de corrosão de armaduras.

FIGURA 13.0- Resumo das principais etapas para a recuperação de armaduras corroídas.



Fonte- www.aecweb.com.br.

Sendo:

- Etapa 1: Delimitação da área de trabalho;
- Etapa 2: Remoção do concreto danificado;
- Etapa 3: Limpeza;
- Etapa 4: Preparação da camada de aderência;
- Etapa 5: Revestimento da armadura (pintura);
- Etapa 6: Recomposição do concreto;
- Etapa 7: Proteção da superfície do concreto.

De acordo com Andrade (1992), a etapa inicial para a recuperação de estruturas corroídas é a retirada do concreto danificado até o encontro do concreto sadio no interior da peça, recomenda-se a retirada de partículas soltas com o objetivo de não prejudicar a ancoragem do material de reparo, e providenciar a remoção do concreto atrás das armaduras corroídas em um espaço de 1 a 2 cm, que garantira a limpeza e aderência por completo da peça. De acordo com Souza e Ripper (1998), o apicoamento, isto é, a remoção do concreto danificado, pode ser mecânico ou manual. No entanto, esta etapa só deve ser iniciada após a delimitação da área de trabalho.

O método mais adequado para este trabalho, aponta como primeiro passo a marcação da linha onde ocorrerá o corte, com um giz de estaca, ou outro, e o auxílio de uma régua mantendo a retilinealidade do traçado. Por meio de uma serra circular penetra-se o disco na superfície a uma profundidade não muito grande, normalmente por volta de 50mm (HELENE, 1992).

De acordo com Souza e Ripper (1998), posteriormente ao apicoamento deve ser feita a limpeza das armaduras. No caso em que a corrosão é provocada pela carbonatação, a limpeza deve ser feita com escovas de cerdas de aço, ou para uma limpeza mais eficaz, recomenda-se um jateamento abrasivo com areia. No caso em que a corrosão é provocada pela ação dos íons cloretos, a limpeza deve ser feita por jateamento de água fria, seguida de um jateamento com água quente, a fim de facilitar a remoção dos cloretos nas profundidades mais difíceis de serem alcançadas (CARDOSA e CANTUÁRIA, 2005).

Depois de completamente limpas é possível observar o nível de deterioração das armaduras, devendo ser realizada a medida da perda de seção com um paquímetro (CARDOSA e CUNHA, 2005). De acordo com Andrade (1993) apud Figueiredo (1994), o comitê Europeu de Normalização (CEN), analisa a proposta de exigir a substituição da armadura caso o limite de perda de seção da mesma seja de 5% ou aparecem fissuras adjacentes a armadura, superiores a 0,3mm.

De acordo com ARAÚJO (2004), é essencial que exista uma perfeita união entre o material já existente e o material de reparo. Este agente de união ou ponte de aderência deve ser compatível com o material de reparo e com as condições de umidade do substrato.

Posteriormente, a preparação da camada de aderência é realizada a proteção das armaduras. De acordo com Cascudo (1997), pinturas epoxídicas ricas em zinco são as mais recomendadas para o tratamento superficial das armaduras.

Posteriormente é feita a reconstituição da seção do concreto com o material de reparo apropriado e selecionado.

Dentre os materiais aconselháveis para o uso nos serviços de reforço ou recuperação estrutural, o maior destaque vai para os concretos e as argamassas. Em termos de qualidade e economia financeira a melhor opção é preencher o espaço deixado pela remoção do concreto danificado com concreto sadio. Na maioria das vezes, para a realização desta atividade, é necessária a utilização de formas (SOUZA E RIPPER, 1998).

Posteriormente a realização de todas as etapas de recuperação das estruturas corroídas, passando pela retirada do material danificado, limpeza do substrato, e recomposição do material cimentício, chega o momento de terminar a intervenção. Nesta etapa, procura-se proteger todo o elemento estrutural criando uma camada de isolamento para não haver a penetração dos agentes que causam a corrosão das armaduras, como água, íons cloretos, oxigênio e gás carbônico. O objetivo é o mesmo que visa proteger as barras de aço. Entre os materiais utilizados com este propósito, estão as tintas orgânicas (epóxi, acrílica, poliuretana, vinílica, tintas asfálticas e betume), concreto de elevada densidade, argamassa polimérica de cimento Portland, e até mesmo materiais cerâmicos (RIBEIRO, 2014).

2.7 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste artigo tenta obter resultados qualitativos a partir de levantamentos bibliográficos que citam e aprofundam a relação do processo corrosivo das armaduras em estruturas de

concreto armado. A pesquisa bibliográfica será desenvolvida através de recursos literários e artigos científicos e digitais.

Trata-se de uma pesquisa aplicada de análise explicativa que esclarece como ocorre o processo corrosivo das armaduras em estruturas de concreto e como este processo compromete a segurança das estruturas, assim como o procedimento que deve ser tomado para recuperar as estruturas que apresenta este tipo de problema patológico.

3.0 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste artigo foi realizar uma revisão bibliográfica em relação ao processo corrosivo das armaduras em estruturas de concreto armado, buscando entender as variáveis que influenciam o período de iniciação e propagação deste processo, assim como os danos que este processo pode causar as estruturas.

Considerando-se os aspectos apresentados ao longo do texto foi possível concluir que a corrosão das armaduras é a patologia que ocorre com mais frequência nas estruturas de concreto armado. O processo corrosivo ocorre por meio de uma reação eletroquímica. Sendo que, o processo corrosivo é extremamente danoso a estrutura, pois afeta a sua segurança, principalmente, devido à perda de seção da armadura, a perda de aderência entre o aço e o concreto e a fissuração deste, provocada pela tensão interna exercida pela expansão dos produtos formados durante o processo de corrosão. Em estágios mais avançados a fissuração pode levar ao destacamento da camada de cobrimento do concreto.

Ficou bem claro que, o que leva as armaduras a sofrerem a corrosão é a perda de estabilidade da película de caráter passivo que a envolve sendo que, os principais responsáveis por esta desp passivação são:

- A carbonatação, que reduz o pH do concreto para valores insuficientes para manter a passivação das armaduras;
- O ataque por íons cloretos, que rompem a película passivadora de forma localizada, provocando a chamada corrosão por pite;
- A combinação dos dois fatores mencionados anteriormente.

Nesse sentido, a camada de cobrimento desempenha um importante papel, pois é a grande responsável em proteger a película passivadora da armadura contra danos mecânicos e físicos e, ao mesmo tempo manter sua estabilidade.

4.0 REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. **Manual para diagnostico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: Editora Pini, 1992.

ARAÚJO F. W. C. **Contribuição a viabilização da técnica de realcalinização do concreto carbonatado através da absorção/ Difusão de soluções alcalinas**. Goiana: Editora UFG, 2004.

BARBOSA, F. R; CARVALHO, J.R; COSTA e SILVA, A.J; FRANCO, A.P.G; MOTA, J.M.F. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado devido ao ataque de íons cloreto**. 54º Congresso Brasileiro do Concreto. Maceió, 2012.

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

CARDOSA, Elizeth Neves, CANTÚARIA, Livia Leite de. **Análise do processo de passivação das armaduras no concreto**. 2005. Dissertação (graduação)- Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, Goiás, 2005.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão das armaduras em concreto: Inspeção e técnicas eletroquímicas**. Goiana, GO: Editora UFG, 1997.

CAVALCANTE FILHO, A. N. **contribuição ao controle tecnológico de concretos estruturais de cimento Portland em ambientes marítimos**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CUNHA, Aurélio. A. **Estudo das patologias em obras de artes especiais do tipo pontes e viadutos em concreto**. 2011. Monografia (Aperfeiçoamento/Especialização), Especialização em construção civil- Escola de Engenharia da Universidade de Goiás, Anápolis, 2011.

FIGUEREIDO, E. J. P. **Avaliação do desempenho do revestimento para proteção da armadura contra a corrosão através de técnicas eletroquímicas**. São Paulo: Editora EPUSP, 1994.

FORTES, L. R. **Corrosão da armadura do concreto armado e sua avaliação pela técnica do potencial de eletrodo**. 1995. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, 1995.

GENTIL, V. **Corrosão**. 4° ed, Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003.

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

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo de corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. Tese de livre docência- Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

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

HELENE, Paulo; ANDREDE, Tibério. **Concreto de cimento Portland**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2° ed. São Paulo: Editora IBRACON, 2010.

MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, Paulo. **Migração de íons cloretos no concreto- influência da consistência água/cimento e consumo de cimento**. Revista: Ibracon, São Paulo, n. 32, p. 53-65, FEV./ Mar./ABR. 2003.

MONTEIRO, E. C. B. **Avaliação do método de extração eletroquímica de cloretos para reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras**. 2002. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

POLITO, Giuliano. **Corrosão em estruturas de concreto armado: Causas, mecanismos, prevenção e recuperação.** 2006. Monografia (Aperfeiçoamento/Especialização), Especialização em Construção Civil- Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

RIBEIRO, D. V. (coord.); SALES, A.; SOUZA, C. A. C. de; ALMEIDA, F. do. C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENÇO, M. Z.; HELENE, P. **Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e métodos de análise.** 1. Ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2014.

SANTOS, M. R. G. **Deterioração das estruturas de concreto armado: Estudo de caso.** 2012. Monografia (Aperfeiçoamento/Especialização), Especialização em construção civil - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

SBARDELINE, A.; PEREIRA, A. N.; CISOTTO, D. **Inspeção, manutenção e recuperação de marquises e sacadas.** Pós-graduação Especialização em patologias nas obras civis. Universidade Tuiuti do Paraná. 2006.

SILVA, D. R. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria na sua durabilidade.** 2006. Tese (Doutorado em ciências e Engenharia de Materiais), Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais-UFRN, Natal, 2006.

SOUZA, V.C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Editora Pini, 1998.