

# CONCRETO ARMADO: ANÁLISE DE CORROSÃO, PREVENÇÃO E TRATAMENTO

## *REINFORCED CONCRETE: CORROSION ANALYSIS, PREVENTION AND TREATMENT*

Ana Carolina Sampaio<sup>1</sup>

Katya Regina Camero da Silva<sup>2</sup>

Gustavo Henrique Vital Gonçalves<sup>3</sup>

### 1 INTRODUÇÃO

O concreto armado de cimento Portland é mundialmente usado na construção civil e a difusão do seu emprego está relacionada à sua alta durabilidade, de modo que duram mais de cem anos sem necessitar de manutenção em ambientes não agressivos (ambientes onde não ocorram chuvas ácidas, não há grande concentração de poluição e não tenha contato direto com água salgada). Entretanto sua durabilidade é influenciada diretamente por diversas ações coordenadas realizadas durante todo o processo de execução. O cobrimento das armaduras é um destes fatores de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), o qual possui um papel determinante para a proteção da estrutura a fim de evitar o surgimento de patologias, tal como a corrosão (COUTO et al., 2013).

A função do cobrimento é proporcionar proteções químicas, físicas e mecânicas ao concreto armado. A barreira que se forma entre o meio ambiente externo e a armadura de aço é indispensável para o bom desempenho e durabilidade da estrutura, impedindo o desenvolvimento de mecanismos que possam provocar a corrosão (CAMPO, 2013).

A proteção química é formada por uma película protetora da armadura, desenvolvida em ambientes alcalinos. A proteção física é proporcionada pela impermeabilidade do concreto que é produto da qualidade do mesmo, com boa

---

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: crisana2020@hotmail.com.

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: katyacamero@gmail.com.

<sup>3</sup> Docente no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: gustavovital@hotmail.com.br.

homogeneidade, compacidade e apropriado teor de argamassa. Sendo o revestimento a camada externa da estrutura, ele proporciona também a proteção mecânica contra possíveis choques que eventualmente as estruturas possam sofrer (TAKATA, 2009).

Porém o revestimento da armadura mal executado ou planejado pode deixar a estrutura vulnerável. Estruturas de concreto podem sofrer degradações não só por cometidas nas etapas de iniciais dos projetos e execução, mas também por motivos naturais inerentes ao concreto e pela agressividade do ambiente na interação estrutura e meio ambiente aumentando a probabilidade de ataques patológicos (GENTIL, 2014).

A corrosão pode ser considerada como sendo a principal manifestação patológica no concreto armado, chegando até mesmo a comprometer a durabilidade e diminuir a vida útil para a qual foram projetadas as edificações, circunstância que, além de afetar diretamente os parâmetros de segurança da construção, altera o custo de manutenção das mesmas (ROCHA, 2015).

Os custos para recuperação de estruturas afetadas pela corrosão são elevados, porém podem ser evitados estes custos excessivos se forem tomadas medidas preventivas ainda nas fases de execução do projeto, onde tal ação tem o custo inferior a de recuperação e não intervém no desenvolvimento e tempo do projeto (GENTIL, 2014).

Este artigo tem como objetivo fazer um estudo de caso de dois viadutos localizados na cidade de São Carlos – SP, que possuem caso aparente de corrosão em suas estruturas. Através deste estudo foi mostrado a importância da prevenção contra patologias nas estruturas ainda nas fases de projeto e execução.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Concreto Armado**

Sendo o concreto um material que apresenta alta resistência à tensão de compressão e mínima resistência à tração é necessário suprir o concreto com um material que suporte à tensão de tração. E o material escolhido para desempenhar função é o aço, que tem grande resistência à tração. Com essa composição (concreto e armadura – barras de aço), surge o chamado “concreto armado”, em que as armaduras absorvem as tensões de tração e o concreto absorve as tensões de compressão (PORTO; GUALBERTO, 2015).

O concreto armado é usado mundialmente em todos os tipos de edificações, seja residencial, comercial ou industrial, devido a sua composição e possuir uma vida útil maior em relação aos métodos de construções mais antigos (LAPA, 2008).

O conceito de concreto armado envolve o fenômeno da aderência, que é essencial e deve existir entre o concreto e a armadura. Para a existência do concreto armado é necessário que haja solidariedade entre o concreto e o aço, e que a resistência seja trabalhada igualmente entre os dois (PORTO; GUALBERTO, 2015).

### **2.1.1 Composição do cimento**

As matérias primas utilizadas na produção do cimento consistem em: calcário, sílica, alumina e óxido de ferro. Esses compostos interagem entre si no interior do forno e formam uma série de produtos mais complexos, exceto por um pequeno resíduo de óxido de cálcio não combinado devido ao pouco tempo para reagir, obtém-se um estado de equilíbrio químico (NEVILLE, 2016).

Alguns cimentos são mais adequados para serem utilizados em determinados casos, pois conseguem maior resistência à ação dos agentes despassivadores (SOUZA, 1998).

E o cimento mais usado é o cimento Portland, que pode ser produzido pela moagem do clínquer. Consiste basicamente em silicatos de cálcio hidráulicos, comumente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como produto de adição. (RIBEIRO et al., 2014).

### **2.1.2 Cobrimento do concreto**

Segundo Helene (1986), o cobrimento pode, desde que bem planejado e executado, resguardar a armadura da corrosão. Desta forma, a espessura do cobrimento das armaduras, com um concreto com elevada compacidade, sem porosidade e com teor de argamassa adequado, garante a maior proteção do aço ao ataque de agentes agressivos externos.

De acordo com Silva (1991), a espessura do cobrimento não pode adotado igualmente para todas as armaduras, sendo condicionada a permeabilidade da camada superficial de concreto, do diâmetro das barras de aço, do meio em que a armadura está submetida, da dimensão máxima do agregado e também do micro-

clima. Mas por outro lado, o cobrimento não pode ser excessivo, pois pode o tornar antieconômico, além de poder conduzir o aumento de fissuras. Sendo assim, nem sempre o aumento da espessura é a melhor ação para proteger determinada estrutura. Assim, a espessura pode variar de acordo com a periculosidade do ambiente no qual a estrutura está em contato.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1978) foi revisada com o intuito de resguardar a alta durabilidade das estruturas de concreto armado. A principal mudança foi à introdução de quatro novas classes de agressividade ambiental (CAA), incluída às ações químicas e físicas que trabalham sobre os elementos de concreto inseridos em cada tipo de ambiente, involuntariamente das ações mecânicas.

## **2.2 Manifestações patológicas no concreto armado**

Degussa (2008) patologia é entendida como parte da engenharia que estuda os sintomas, as origens das deformidades das construções civis e a solução desses problemas patológicos, inclusive aqueles devidos ao processo natural de envelhecimento.

Para Piancastelli (1997), o concreto armado é um material não inerte, ele está sujeito a alterações, ao longo do tempo, devido a interações entre seus elementos (cimento, areia, brita, água e aço), interações entre esses e agentes externos (ácidos, bases, sais, gases e outros) e com materiais que lhe são adicionados (aditivos e adições minerais).

Segundo Helene (1992), os sintomas de maiores incidências em estruturas de concreto armado são: fissuras, eflorescências, flechas excessivas, manchas superficiais, ninho de concretagem e corrosão de armaduras.

### **2.2.1 Fissuração**

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) a fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à grande variabilidade e a baixa resistência à tração; mesmo sob as ações de serviços (utilização), valores críticos de tensões de tração são atingidos. Visando obter bom desempenho quanto à corrosão e à aceitabilidade sensorial dos usuários, busca-se controlar a abertura dessas fissuras.

Fissuras que respeitam os limites dados pela Associação Brasileira de

Normas Técnicas (2003), quando em estruturas bem projetadas, construídas e submetidas às cargas previstas, não causam comprometimento da durabilidade e segurança quanto aos estados limites últimos. Tais limites estabelecidos para elementos estruturais de concreto armado, submetidos à tração são de valores entre 0,2 e 0,4 milímetros, dependendo da agressividade ambiental na qual a estrutura está localizada.

Segundo Cánovas (1988), a formação de fissuras deve-se na maioria das vezes pelas seguintes causas: cura deficiente, retração, expansão, variações de temperatura, ataques químicos, excesso de carga, erros de projeto, erros de execução e recalques diferenciais.

### **2.3 Corrosão**

A corrosão pode ser considerada como sendo a degradação de um material, normalmente metálico, através de uma ação química ou eletroquímica do meio ambiente em que se encontra, aliada ou não a esforços mecânicos. Devido à essa interação do material com o meio ambiente originam-se alterações indesejáveis e prejudiciais que tornam o material inadequado para o uso (GENTIL, 2003).

A afirmação citada anteriormente é bem parecida com a de Panossian, (citado por CASCUDO, 1997) que define a corrosão metálica como sendo “a transformação de um metal em íon metálico pela sua interação química ou eletroquímica com o meio ambiente em que se encontra”.

Para BAUER (1994), A corrosão é uma transformação não intencional de um metal, à partir de suas superfícies expostas, em compostos não aderentes, solúveis ou dispersíveis no meio em que o metal se encontra.

Ao definirmos o que é corrosão, é possível obter indícios sobre como controlá-la e como evita-la. FORTES (1995) afirma que para o metal que esteja sujeito à um ataque corrosivo permaneça em equilíbrio e estável, é necessário que a sessão contínua de energia esteja com quantidade adequada e isso é possível através de métodos de proteção.

#### **2.3.1 Corrosão em estruturas de concreto armado**

Barbosa et al. (2012), considera que a corrosão das armaduras é o fenômeno de deterioração mais frequente em estruturas de concreto armado, podendo

compromete-las tanto do ponto de vista estético, quanto na questão da segurança da estrutura.

Devido ao elevado valor de pH nas soluções dos poros do concreto é formada uma camada passivante que envolve e protege o aço no interior do concreto. De tal maneira, para que se inicie um processo corrosivo é necessário que haja a destruição desta camada passivadora (despassivação). Alguns agentes agressivos como os íons cloretos e a carbonatação podem ocasionar a despassivação, deixando o aço susceptível e vulnerável a ataques corrosivos. A corrosão no concreto armado é considerada como sendo um processo eletroquímico, que por sua vez ocorre em meio ambiente aquoso e necessita de um eletrólito, uma diferença de potencial, agentes agressivos e oxigênio. A corrosão afeta diretamente a durabilidade da estrutura reduzindo desta forma sua vida útil (HELENE, 1986).

O fenômeno da corrosão de armadura pode ocorrer através vários fatores que agem de forma simultânea, devendo sempre serem analisados com uma visão sistêmica. Somente através de um estudo e total entendimento sobre estes fatores e mecanismos de ação, que será possível corrigir os problemas em estruturais já existentes e principalmente como evita-la em novas obras (RIBEIRO et al., 2014).

#### **2.4 Fenômeno da passivação**

O concreto proporciona à armadura uma dupla proteção. Em primeiro lugar uma proteção física, evitando o contato direto como o exterior e em segundo lugar, uma proteção química, proporcionada pelo elevado pH do concreto, que promove a formação de uma camada passivadora que envolve o aço (CASTRO et al., 1998).

A elevada alcalinidade da solução dos poros do concreto contribui com a formação e manutenção desta camada passivante do aço no interior do concreto. Esta película passivadora protetora do aço é originada a partir de uma rápida e extensa reação eletroquímica que resulta na formação de uma camada fina de óxidos, transparente e aderente ao aço (CARMONA, 2014).

Existem algumas teorias para explicar a composição da película passivadora, a mais usada aponta a formação de uma película composta de duas camadas: uma sendo mais interna, composta principalmente por magnetita e outra sendo mais externa, composta por óxidos férricos (NAGAYAMA; COHEN, 1962).

A potencialidade da corrosão depende do pH do meio ambiente já que existe a interação entre os íons formados nas reações corrosivas com os íons do eletrólito.

Sendo assim é possível estabelecer uma relação entre a diferença de potencial e o pH do meio aquoso (POURBAIX, 1974).

## **2.5 Iniciação da corrosão em função da carbonatação do concreto**

A película passivadora mantém o aço protegido, de tal forma, para haver corrosão é necessária a destruição desta película, ou seja, despassivação da armadura. Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) cita o ataque de íons cloretos e a carbonatação como sendo os principais agentes despassivadores. A norma citada anteriormente define ainda a despassivação por carbonatação como sendo uma ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura.

Poglialli (2009) aponta o gás carbônico ( $\text{CO}_2$  – maior incidência), o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), como sendo os principais constituintes do ar atmosférico que podem desencadear um processo de neutralização do concreto. O autor também cita o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), o hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) e o hidróxido de potássio ( $\text{KOH}$ ), como os compostos hidratados do cimento mais aptos à carbonatação, assim como os silicatos alcalinos.

Segundo Helene (1993), a solubilidade do hidróxido de cálcio depende da concentração dos íons  $\text{OH}^-$  na solução dos poros, o autor também cita que a carbonatação tem início através dos álcalis  $\text{NaOH}$  e  $\text{KOH}$ , mais solúveis. Com a diminuição da concentração de íons  $\text{OH}^-$ , o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) se solubiliza e passa a ser carbonatado.

As principais consequências da carbonatação, decorrentes da precipitação do carbonato de cálcio são, o aumento da resistência superficial, a redução do pH, a redução da permeabilidade e um grande incremento na resistividade elétrica, como resultado da neutralização da solução nos poros do concreto Cantuária e Carmona (2005).

Segundo Poglialli (2009), o processo de carbonatação se dá inicialmente na superfície do concreto, iniciando uma frente de carbonatação, que separa duas zonas distintas de pH, uma delas com valores na faixa de 12 e a outra na faixa de 8. Essa frente avança vagarosamente para o interior do material e, quando atinge a armadura, desestabiliza o filme óxido passivante, promovendo assim a despassivação, o que propicia o início de um processo de corrosão generalizada.

## **2.6 Iniciação da corrosão a partir da ação dos íons cloreto**

Tais íons têm o poder de destruir, de uma forma localizada, a película passivante da armadura, provocando uma corrosão por pite. Segundo Cascudo (1997), estes pontos, ou pequenas crateras, formam o ânodo da pilha de corrosão e, devido à sua progressão em profundidade, pode causar a ruptura da barra de aço. O restante da superfície metálica torna-se o cátodo e, a relação área anódica/área catódica, sendo muito pequena, poderá dar início a uma intensa corrosão.

Podem haver cloretos no concreto incorporados às misturas dos componentes (aditivos, água, brita e areia), ou por penetração do meio exterior através da rede de poros, tal como em ambientes marinhos (maresia ou névoa salina) ou de sais de degelo usados em estradas e estacionamentos nos países com climas frios. A quantidade de Cl é aumentada temporalmente chegando, a atacar toda a superfície da armadura, desencadeando velocidades de corrosão intensas e perigosas (POLDER; PEELEN, 2002; FORTES; ANDRADE, 2001).

A penetração dos íons cloreto tem uma grande influência no desencadeamento da corrosão no concreto armado, mas sua grande ação é sobre as armaduras que podem sofrer corrosão puntiforme de alta periculosidade para o metal. Os íons cloreto que ingressam para o interior do concreto são responsáveis pelo aumento da condutividade elétrica do eletrólito promovendo a corrosão das armaduras. A taxa de penetração de cloreto por meio do concreto depende de vários fatores que incluem, o local onde esta estrutura de concreto se encontra, englobando o microclima e também a situação de contato com o cloreto, a água e o oxigênio, que são fatores que favorecem todo o processo de corrosão (MEDEIROS; HELENE, 2003; KROPP et al., 1995).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Toda pesquisa científica tem início com o método observacional. Tal método se baseia em processos com natureza sensorial, como produto do processo em que o pesquisador se empenha no mundo dos fenômenos empíricos (FACHIM, 2005).

#### **3.1 O método de estudo de caso**

Para desenvolvimento do presente trabalho, foi realizado um estudo de caso em um viaduto localizado na cidade de São Carlos - SP.



Conforme Yin (2001) o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa detalhada na qual se fundamenta em fontes de evidências para que seja desenvolvido suposições teóricas conduzindo-as para a coleta e análise de dados.

O estudo de caso tem se tornado a estratégia preferida quando os pesquisadores procuram responder às questões "como" e "por quê" certos fenômenos ocorrem, quando há pouca possibilidade de controle sobre os eventos estudados e quando o foco de interesse é sobre fenômenos atuais, que só poderão ser analisados dentro de algum contexto de vida real (GODOY, 1995, p. 25).

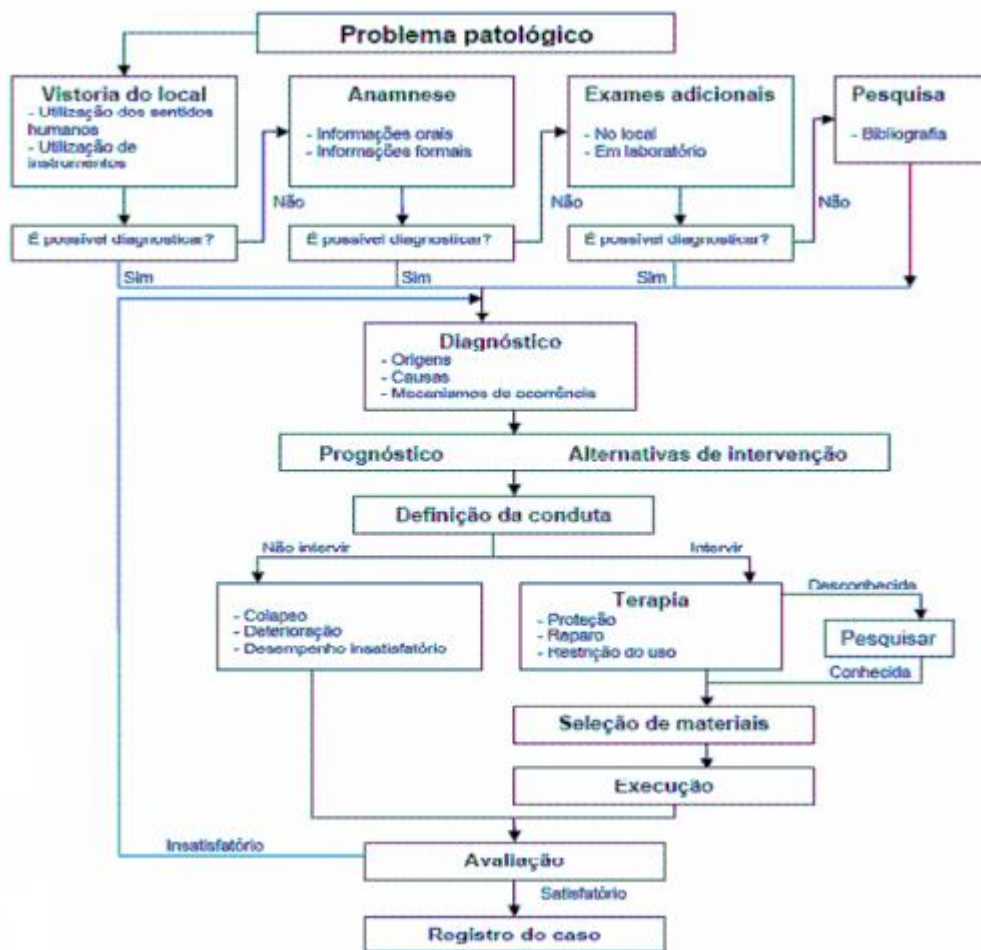
### **3.2 Critérios para delimitação do estudo de caso**

O trabalho foi realizado em um viaduto localizado no cruzamento da Rodovia SCA-050 com a Rodovia Municipal Domingos Innocentini (final da Avenida Morumbi), no Trecho Perimetral da Cidade de São Carlos – SP. Optou-se por esse viaduto devido ao número expressivo de corrosão encontrada em sua estrutura, se comparado a outros viadutos com aproximadamente a mesma idade

### **3.3 Método para levantamento e diagnóstico de manifestações patológicas**

Para diagnosticar os problemas patológicos no presente estudo de caso foi utilizado o método de Lichtenstein. Foi escolhido esse método porque é disponível e conhecido, além de possuir vários exemplos práticos para pesquisa. Ele tem seu desenvolvimento explicado na Figura 1.

A identificação das áreas afetadas pela corrosão e a vinculação de suas causas têm o objetivo de aplicar o método em estudo e possivelmente contribuir para uma correção na trajetória de busca de durabilidade nas construções.



**Figura 1** - Método para levantamento e diagnóstico de manifestações patológicas Fonte: Lichtenstein (1985)

A metodologia proposta por Lichtenstein (1985) compreende três partes distintas: i) o levantamento de subsídios; ii) o diagnóstico da situação e iii) a definição de conduta.

### 3.3.1 Levantamento de subsídios

O levantamento de subsídios é a etapa onde as informações essenciais e suficientes para o entendimento completo das manifestações patológicas são organizadas. Estas informações são obtidas através de três formas: vistoria do local, levantamento do histórico do problema e do edifício e o resultado das análises (LICHTENSTEIN, 1985).

Para atender os objetivos propostos, realizou-se o levantamento através de

vistoria no Viaduto localizado na cidade de São Carlos, nos dias 12 e 28 de abril de 2018, buscando observar minuciosamente cada uma das manifestações patológicas, para levantamento do maior número de dados possível. Também foram efetuados registros fotográficos das áreas onde foram detectadas corrosão, pesquisa bibliográfica relacionada a origem de cada uma das corrosões encontradas.

### **3.3.2 Diagnóstico da Situação**

O diagnóstico da situação, segundo Lichtenstein (1985), é a compreensão dos fenômenos, buscando identificar as relações de causa e efeito que normalmente caracterizam uma patologia. Cada subsídio, segundo este autor, obtido na vistoria do local, na anamnese ou nos exames complementares deve ser interpretado no sentido de compor um quadro de entendimento de como trabalha o edifício, como reage à ação dos agentes agressivos, porque surgiu e como se desenvolveu o problema patológico.

Neste diagnóstico, o processo de entendimento de um problema patológico pode ser descrito como o de geração de hipóteses ou modelos e o seu respectivo teste. Portanto, Lichtenstein (1985) afirma que o processo de diagnóstico constitui na contínua redução da incerteza inicial pelo progressivo levantamento de dados. Esta progressiva redução da incerteza é acompanhada por uma redução do número possível de hipóteses, até que se chegue numa correlação satisfatória entre o problema observado e um diagnóstico para este problema.

### **3.3.3 Definição de Conduta**

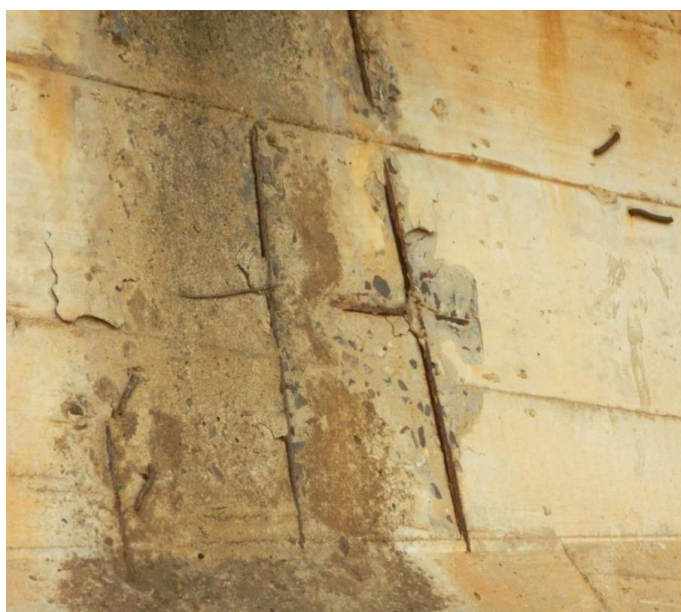
A definição de conduta, segundo Lichtenstein (1985), é a etapa que tem como objetivo prescrever o trabalho a ser executado para resolver o problema, incluindo a definição sobre os meios (material, mão-de-obra e equipamentos) e a previsão das consequências em termos do desempenho final.

Desta forma, adotando este método, pretende-se que o estudo das áreas afetadas por corrosões possa ser desenvolvido até a fase desta definição, com a sugestão de soluções possíveis para os tipos de corrosões encontradas.

#### 4 RESULTADOS

Seguindo a metodologia, ao realizar a visita técnica no local foi constatado a existência da patologia de corrosão nas estruturas de concreto armado. Com a avaliação do viaduto foi possível identificar os locais em que apresentam corrosão e suas possíveis causas.

O primeiro foco de corrosão foi encontrado devido os condutores de água pluvial que drenam a pista de rodagem superior e descarregam água diretamente sobre a estrutura, causando abrasão do concreto da mesma e corrosão da armadura no local, conforme é possível verificar nas fotos a seguir:



O segundo local é nas bordas das lajes em balanço do tabuleiro, pois por não apresentarem nenhum sistema de pingadeira de água de chuva, faz com que a água flua até a parte inferior da laje, causando abrasão do concreto e corrosão da armadura no local, conforme é possível verificar nas fotos a seguir: (foto 15,16 e 18)

A terceira localização é nas juntas de concretagem na laje em balanço da borda do tabuleiro. Essas juntas foram causadas devido à montagem de formas e concretagem em datas distintas, facilitando a fluidez de água pluvial da parte superior da laje para a parte inferior, causando aparecimento de carbonatação do concreto, deixando o ambiente propício para o aparecimento de corrosão. Como mostra as imagens a seguir: (15,17 e 19)

A quarta parte a ser avaliada foram as juntas de dilatação do tabuleiro do viaduto que não tem estanques, permitindo a passagem de água da pista de rodagem superior para a estrutura, causando abrasão e corrosão da armadura no local de concreto na viga e na laje de borda do tabuleiro, conforme é possível verificar nas imagens a seguir: (19 e 20).

O quinto ponto avaliado foi a ausência de aparelhos de apoio das vigas sobre os pilares, causando o deslocamento do concreto e a exposição da armadura nas bordas inferiores da viga e no topo do pilar, em virtude da vibração causada pela passagem de veículos nas pistas do nível superior da estrutura. Tal exposição deixa a estrutura vulnerável para o surgimento de corrosão. As imagens a seguir mostram a fragilidade deste ponto: (21, 22, 23 e 24)

As vigas e as lajes foram o sexto local avaliado. Foi possível notar a presença de fuligem de fumos aderidos a estrutura de concreto provenientes da combustão de óleo diesel, despejado na atmosfera pelas chaminés dos trens de carga que passam sob a estrutura de concreto do viaduto. A concentração de gás carbônico presente nesses fumos e na fuligem aderida ao concreto pode acelerar o processo de carbonatação no concreto e corrosão da armadura nessas áreas atingidas. Sendo possível notar nas imagens a seguir: (27 e 28)

Com a vistoria foi possível notar que não há só pontos específicos em que é possível encontrar a corrosão, pois em diversos locais da estrutura há o deslocamento do concreto em virtude da expansão da armadura em processo de

corrosão (oxidação com aumento do diâmetro), conforme é possível verificar nas fotos 12, 13 e 14.

É necessário ressaltar que em toda estrutura de concreto verificou-se a presença de pontas de arame saindo do concreto. Esses arames foram utilizados para segurar as formas de madeira durante a concretagem e não deveriam estar presentes no local, pois atualmente se tornaram pontos de início de corrosão e podem transportar a oxidação até a armadura do concreto. Por fim, foi possível notar que em toda a estrutura do viaduto de concreto armado há uma falha na espessura do revestimento de armadura, o tornando inadequado. Como já foi citado anteriormente, essa falha de projeto e execução pode acarretar em surgimentos de patologias, como a corrosão, podendo danificar completamente a estrutura diminuindo sua vida útil. As imagens a seguir demonstram tais situações (5,6,10,11,12,13,14,15,16,17,23,24,25,26 e 29)

## **5 DISCUSSÕES**

Após a avaliação do viaduto da cidade de São Carlos, podemos observar seis pontos de corrosão na estrutura de concreto armado, além de pontos que estão propícios a gerar futuras corrosões e da estrutura em geral que há problemas de revestimento. Esta nova etapa do artigo está direcionada a evidenciar as possíveis formas de terapia para os diferentes focos de corrosão, além de apontar quais são os ensaios indicados para diagnosticar com eficácia a patologia instalada no local.

### **5.1 Foco de corrosão e abrasão devido a falha nos condutores pluviais**

Os ensaios indicados são: Determinação da Frente de Carbonatação do Concreto (Fenolftaleína), Método de dureza superficial, Esclerometro de reflexão de Scimodt, Método de Propagação de Ondas, Método de Velocidade de Propagação de Onda ultrassônicas e Método Eletroquímico, Potencial de Corrosão.

A correção indicada é a retirada de todo o concreto no entorno da armadura, fazer a limpeza da armadura e a recomposição com groute ou argamassa apropriada. E para solucionar o problema e inibir as chances de a patologia voltar é indispensável realizar melhorias e correção nos condutores de água pluvial para que a água não seja lançada sobre o concreto novamente.

### **5.2 Foco de corrosão devido à falta de pingadeiras**

No local onde se encontra as bordas de lajes em balanço do tabuleiro não há a necessidade de realizar ensaios e a correção indicada e a realização de uma perfeita impermeabilização da face superior impedindo que a água flua nessas juntas de concretagem. No local onde a corrosão já está instalada é necessário avaliar se a armadura sofreu perda de seção, se acaso ela não tenha perdido 10% da seção o tratamento é mais fácil, que no caso é realizar a limpeza da armadura e a recomposição com groute ou argamassa. Caso a armadura tenha perdido mais que 10% da seção será necessário avaliar o grau de comprometimento da estrutura.

### **5.3 Foco de corrosão na laje em balanço da borda do tabuleiro**

Após avaliar o local e a patologia, foi verificado que não há a necessidade de fazer algum ensaio para qualificar a patologia ou o grau de comprometimento do dano causado. E a correção indicada é a realização de uma perfeita impermeabilização da face superior para impedir que a água flua nessas juntas de concretagem.

### **5.4 Corrosão das lajes em balanço do tabuleiro**

Falta de pingadeira nas bordas das lajes em balanço do tabuleiro, ocasionou abrasão do concreto e corrosão da armadura e os ensaios sugeridos são: Determinação da Frente de Carbonatação do Concreto (Fenolftaleína), Método de dureza superficial; Esclerometro de reflexão de Scimodt, Método de Propagação de Ondas; Método de Velocidade de Propagação de Onda ultrassônica e Método Eletroquímico; Potencial de Corrosão. A melhor correção para este problema é a Instalação de dispositivo que funcione como pingadeira na borda das lajes, impedindo que a água flua até a parte inferior da laje e realizar a retirada de todo concreto solto, inclusive atrás da armadura, limpeza da armadura e recomposição com groute ou argamassa apropriada.

### **5.5 Corrosão devido à ausência de aparelhos de apoio das vigas sobre os pilares**

A ausência de aparelhos de apoio das vigas sobre os pilares causou deslocamento do concreto com exposição da armadura nas bordas inferiores da viga e topo do pilar. Para esta falha os melhores ensaios são: Esclerometro de Reflexão de Scimodt e Método de Propagação de Ondas; Método de Velocidade de

Propagação de Onda ultrassônicas para avaliação do concreto. E a correção indicada é: A limpeza da armadura e recomposição do concreto rompido com argamassa polimérica na parte inferior das vigas e topo dos pilares. Instalação de aparelhos de amortecimento em Neoprene, através de macaqueamento das vigas, entre o topo dos pilares e o fundo das vigas de concreto para absorver a vibração causada pelo trânsito de veículos.

### **5.6 Presença de fuligem de fumos aderidos a estrutura de concreto**

Para resolver os danos causados pela fuligem de fumos aderidos a estrutura de concreto (vigas e lajes) provenientes da combustão de óleo diesel dos trens, será necessário realizar os seguintes ensaios: Extração de amostras em Concreto em Pó para determinação do Teor de Cloretos, Determinação da Frente de Carbonatação do Concreto (Fenolftaleína), Método de dureza superficial com esclerometro de reflexão de Scimodt, Método de Propagação de Ondas, Método de Velocidade de Propagação de Onda ultrassônica e Método Eletroquímico para determinar o potencial de Corrosão. As correções indicadas são: primeira a limpeza da superfície de concreto com hidro-jateamento para retirada de toda a fuligem, depois realizar a verificação visual e realização de ensaios para avaliação da carbonatação do concreto e corrosão da armadura. Para finalizar realizar o tratamento das áreas afetadas através da retirada do concreto, inclusive atrás da armadura, limpeza da armadura e recomposição com groute ou argamassa apropriada.

### **5.7 Desplacamento do concreto em virtude da expansão da armadura**

Para esse processo de corrosão (oxidação com aumento do diâmetro) os ensaios sugeridos são: Determinação da Frente de Carbonatação do Concreto (Fenolftaleína), Método de dureza superficial pelo esclerometro de reflexão de Scimodt, Método de Propagação de Ondas, Método de Velocidade de Propagação de Onda ultrassônica e Método Eletroquímico para determinar potencial de Corrosão. As correções indicadas são: Primeiramente a retirada de todo concreto solto, inclusive atrás da armadura, a limpeza da armadura e recomposição com groute ou argamassa apropriada.

### **5.8 Presença pontas de arame saindo do concreto.**



Esses são pontos de início de corrosão e podem transportar a oxidação até a armadura do concreto. O ensaio necessário será o Método de Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica e Método Eletroquímico para determinar o Potencial de Corrosão. A correção indicada é cortar rente a face do concreto os materiais metálicos (pregos, arames, chapas metálicas e outros fragmentos) chumbados no concreto, suas pontas metálicas devem receber inibidor de ferrugem e a superfície da viga deve ser revestida, de modo a esconder as pontas metálicas. Toda a estrutura de concreto deverá receber, após correção das anomalias, uma demão de tinta epóxi e outra demão à base de poliuretano (proteção à raios UV), já que a estrutura está exposta à raios UV, afim de retardar novas manifestações patológicas.

### **5.9 Cobrimento inadequado para a estrutura do viaduto**

A vistoria apontou um baixo cobrimento de concreto sobre a armadura e para testar o grau de comprometimento será necessário realizar os seguintes ensaios: Método Magnético para a determinação da Espessura de Cobrimento da Armadura. A correção necessária seria o aumento do cobrimento para toda a armadura da estrutura, porém seria uma medida inviável, mas pode-se melhorar a proteção à carbonatação e corrosão da armadura aplicando-se uma demão de tinta epóxi e outra demão à base de poliuretano (proteção à raios UV), já que a estrutura está exposta à raios UV.

## REFERÊNCIAS

BATTAGIN, A.F. **Uma breve história do cimento Portland.**

BAUER L.A.F. **Materiais de construção**, Rio de Janeiro: Ed. LTC, 1994, 5º edição v.2

CASCUDO, OSWALDO. **O controle da corrosão de armaduras em concreto – inspeção e técnicas eletroquímicas.** Goiânia, GO: Editora UFG, 1997. 237p.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos.** Associação Brasileira de Metais. São Paulo: 1990.

GENTIL, VICENTE **Corrosão.** 4ªed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003. 341p.

HELENE, Paulo & ANDRADE, Tibério. **Concreto de Cimento Portland.** Capítulo 29. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2 ed. IBRACON, 2010. v.1 & v.2

HELENE, PAULO R.L. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** São Paulo: Editora Pini – Instituto de pesquisas Tecnológicas IPT, 1986. 47p.

INABA, Roberto. **A Evolução da Construção em Aço no Brasil.** 2015.

LAPA, José Silva. **Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto.** 2008. 56

p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais

– UFMG, Belo Horizonte, 2008.

PANOSSIAN, Z. **Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas**

PFEIL, W., **Concreto Armado**, vol 1, Livros Tecnicos e Cientificos Editora Ltda., Rio, 1985. **metálicas.** 1 ed. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1993. v.1.

PORTO, Thiago Bomjardim; GUALBERTO, Danielle Stefane . **Curso Básico de Concreto Armado:** Conforme NBR 6118/2014. 1. ed. São Paulo SP: Editora Oficina de Textos, 2015. 210 p. v. 1.

RIBEIRO, Daniel Vêras et al. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado:** Teoria, Controle e Métodos de Análise. 1. ed. Rio de Janeiro RJ: Elsevier Editora Ltda, 2014. 246 p.

ROCHA, Ivan. **Corrosão em estruturas de concreto armado:** MBA Projeto, Exucação e Controle de Estruturas e Fundações . 2015. 26 f. Artigo (Arquiteto)- Instituto de Pós- Graduação - IPOG, Goiânia GO, 2015.

SASTRI, V.S. **Corrosion Inhibitors, Principles and Applications**, 8a edição, cap. 3- 6, 2001.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo SP, 1998.

TRINDADE, Diego dos Santos. **Patologia em estruturas de concreto armado**. 2015. 88 f. Artigo Científico (Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) , Santa Maria RS, 2015.

LICHTENSTEIN, N. B. Patologia das Construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações: São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1985. Dissertação (M estrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, 1985.

YIN, Roberto K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2ª Ed. Porto Alegre. Editora: Bookmam. 2001.

FACHIM, O. Fundamentos de Metodologia. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.