

ANÁLISE DE PROCEDIMENTOS PARA RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO CORROÍDAS

Ana Carolina Lopes Duarte⁽¹⁾; Thiago Thielmann Araújo⁽²⁾; Maria Teresa Gomes Barbosa⁽³⁾; José Alberto Castanon⁽⁴⁾

(1) Universidade Federal de Juiz de Fora, e-mail: carol.d@hotmail.com

(2) Universidade Federal de Juiz de Fora, e-mail: thiagoaraujothg@gmail.com

(3) Universidade Federal de Juiz de Fora, e-mail: teresa.barbosa@ufjf.edu.br

(4) Universidade Federal de Juiz de Fora, e-mail: castanon@terra.com.br

Resumo

A comunidade científica vem, ao longo dos anos, se preocupando em desenvolver mecanismos que possam auxiliar na recuperação das edificações considerando todas as peculiaridades que as envolvem. Dentre os diversos tipos de manifestações patológicas que podem ser identificadas em estruturas de concreto armado, destaca-se, neste trabalho, a corrosão de armaduras. Suas conseqüências podem ser muito graves, pois o fenômeno evolui desde a perda da seção das barras e fissuração inicial do concreto até a perda de aderência barra/concreto, comprometendo a durabilidade e a segurança da edificação. Esse trabalho objetiva apresentar uma revisão como resultado parcial de uma pesquisa em andamento, cujo objetivo é determinar as melhores técnicas aplicadas à recuperação de armaduras que sofreram processo de corrosão em estruturas de concreto, bem como procura contribuir para futuras intervenções disponibilizando dados e informações que ajudem na escolha das técnicas de reparo a serem utilizadas.

Palavras-chave: Corrosão de Armaduras, Procedimentos, Recuperação de Estruturas.

Abstract

Over the years, the scientific community has studied a way to develop mechanisms to assist in the recovery of buildings, considering all the peculiarities of that. Among the various types of pathology manifestations that can be identified in reinforced concrete structures, stands out in this paper, the reinforcement corrosion. The corrosion consequences can be very serious. The phenomenon evolves from the loss of the section of the bars and cracking of the concrete to the initial loss of grip bar / concrete, compromising the durability and safety of the building. This study presents a review as a partial result of ongoing research, which objective is to determine the best techniques applied to the recovery of reinforcement that have undergone a process of corrosion in concrete structures of buildings and its hopes to contribute to future interventions in buildings, providing data and information to help in the choice of repair techniques used.

Keywords: Reinforcement Corrosion, Procedure, Recovery Structures.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais com função estrutural de uso mais difundido no mundo, pois, apresenta características que permitem sua aplicação em diferentes tipos de estruturas. Apesar das diversas inovações, principalmente em relação aos materiais de construção e tecnologias construtivas, estruturas em concreto armado ainda são amplamente utilizadas. Apesar das vantagens oferecidas pelo concreto armado no campo da construção, uma preocupação crescente vem surgindo em relação à durabilidade deste material. Sua deterioração pode possuir diversas causas, dentre elas, a corrosão de armaduras tem se mostrado a de maior incidência e com maiores prejuízos econômicos.

A corrosão é usualmente definida como a interação destrutiva entre um material e o meio ambiente, seja por reação química ou eletroquímica. No caso da corrosão relativa ao aço no interior do concreto, o processo possui caráter eletroquímico, ou seja, há reações químicas que envolvem o transporte de cargas elétricas, sendo necessária a presença de oxigênio, do eletrólito (que pode ser a própria umidade do concreto) e uma diferença de potencial, formando assim, a pilha de corrosão (HELENE, 1986). Esta patologia pode trazer riscos à integridade dos usuários, principalmente, quando ela é rápida e progressiva e não há devida intervenção (CABRAL, 2000).

Em condições normais, o concreto proporciona à armadura proteção física, atuando como uma barreira impermeável contra agentes externos, e/ou química, a alta alcalinidade do concreto propicia a formação de uma película passivante sobre a superfície do aço. Estas proteções são perdidas frente a duas condições principais: presença de quantidade suficiente de agentes agressivos e diminuição da alcalinidade do concreto devido à carbonatação.

Para evitar a corrosão em elementos de concreto armado, são utilizados diversos métodos de proteção da armadura que visam aumentar a vida útil da estrutura. Dentre estes, podemos citar: proteção por realcalinização, extração eletroquímica de cloretos, proteção por barreira, proteção por inibição e a proteção catódica.

Esse trabalho objetiva apresentar, como resultado parcial de uma pesquisa em andamento, uma comparação entre as melhores técnicas aplicadas à recuperação de armaduras que sofreram processo de corrosão em estruturas de concreto.

2. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO CORROÍDAS

Inicialmente deve ser realizado o mapeamento dos danos através de visitas à edificação a ser recuperada. Em se tratando de estruturas de concreto armado corroídas, fazem parte de uma avaliação sistemática da patologia uma inspeção preliminar e, a seguir, uma inspeção detalhada (CASCUDO, 1997). Na etapa de inspeção preliminar é realizado um exame visual da edificação, com levantamento dos principais sintomas, avaliação e identificação iniciais do grau de deterioração da estrutura e natureza e morfologia do ataque por agentes agressivos.

Os principais sintomas no caso de corrosão de armaduras são: fissuras e lascamento do concreto, fragmentação e destacamento do revestimento, exposição da armadura corroída, perda de aderência entre aço e concreto, presença de manchas ferruginosas na superfície da estrutura e deformação de elementos estruturais como vigas, lajes e pilares (SOUZA e RIPPER, 1998; CASCUDO, 1997). Na realização da inspeção preliminar podem ser utilizados instrumentos como lupas, máquinas fotográficas, fissurômetros e trenas, entre outros, a fim de se registrar as anomalias.

A inspeção detalhada analisa de maneira aprofundada a corrosão da estrutura, quantificando a extensão da deterioração através da realização de ensaios. Para a quantificação da corrosão das estruturas de concreto destacam-se os métodos não-destrutivos, como técnicas de potenciais de corrosão, de resistência de polarização e resistividade do concreto, além da pacometria (para determinação da espessura do concreto de revestimento) e o umidímetro de superfície (para obtenção da umidade superficial do concreto) (CASCUDO, 1997).

Através dos resultados obtidos com as inspeções preliminares e detalhadas pode-se realizar um levantamento das causas e agentes que ocasionaram a degradação. A identificação destes agentes influenciará na escolha da técnica de proteção e recuperação apropriada. Com a

identificação qualitativa e quantitativa da corrosão e a determinação da natureza dos agentes causadores do ataque é possível a realização de um diagnóstico da estrutura.

Após a realização do diagnóstico da estrutura corroída, defini-se a técnica mais adequada para proteção e recuperação da estrutura de concreto. Essa escolha deve ser analisada caso a caso, levando em conta requisitos de segurança e durabilidade. A intervenção deve ser baseada na compreensão da natureza das ações que foram a causa dos danos e da deterioração, bem como das ações futuras que serão levadas em consideração para a adoção de medidas de proteção.

3. ALTERNATIVAS PARA RECUPERAÇÃO E PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO CORROÍDAS

A seguir, serão apresentadas considerações sobre algumas das alternativas para reparo de estruturas onde foi diagnosticado existência de processos de corrosão de armaduras, bem como tratamentos para a eliminação de suas causas e do processo corrosivo instalado.

3.1. Reparos Localizados e Generalizados

Os reparos localizados consistem, de maneira simplificada, em expor a armadura nos trechos corroídos e proceder o tratamento das barras, com posterior reconstituição da seção de concreto. O tratamento das barras envolve, além da limpeza superficial, o emprego de algumas técnicas de proteção das armaduras. Para reconstituição da seção de concreto, podem ser empregados diferentes tipos de materiais, como concretos e argamassas comuns ou especiais de reparo, grautes, entre outros (CASCUDO, 1997).

As técnicas de reparos generalizados são utilizados em locais onde se observa uma deterioração geral da estrutura de concreto armado. Nos reparos generalizados podem ser utilizadas as mesmas técnicas e materiais dos reparos localizados (CASCUDO, 1997).

3.2. Realcalinização

As estruturas de concreto armado, quando expostas a ambientes agressivos, estão sujeitas a processos de degradação que podem, com o tempo, reduzir sua alta alcalinidade, desestabilizando a película de passivação da armadura. Como principal exemplo deste processo temos a carbonatação. O objetivo da realcalinização é restabelecer a alcalinidade que existia no concreto após a hidratação dos materiais aglomerantes, repassivando a barra de aço.

Existem dois mecanismos principais de se restabelecer o pH alcalino do meio que rodeia a armadura: a realcalinização passiva e a eletroquímica (CABRAL, 2000).

A *realcalinização passiva* consiste na aplicação de um revestimento cimentício rico em álcalis sobre a estrutura de concreto armado. Enquanto este revestimento é mantido úmido, há a movimentação de íons hidroxila (OH^-) para o interior do concreto, através da diferença de concentração desse íon entre as camadas superficiais da estrutura e o seu interior. Como os íons hidroxila possuem elevada mobilidade, conseguem se difundir de regiões de elevado pH para outras de pH mais baixos (SÁ, 2006; HELENE *et al.*, 2008).

A *realcalinização eletroquímica* envolve a aplicação de uma corrente elétrica e é realizada através de uma malha metálica, em geral de titânio ou aço inoxidável, imersa em um eletrólito e depositada sobre o concreto. Conecta-se a malha metálica ao pólo positivo de uma fonte de corrente contínua e a armadura do concreto ao pólo negativo. Quando, através da fonte, aplica-se uma corrente elétrica no sistema, a solução alcalina é transportada para o interior do concreto através de um mecanismo eletro-osmótico, promovendo sua realcalinização. A

malha funciona como o anodo, sofrendo o processo de corrosão, protegendo assim, a armadura que será o catodo do processo eletroquímico (GENTIL, 2007; SÁ, 2006).

3.3. Remoção eletroquímica de cloretos

O objetivo da extração eletroquímica de cloretos é a diminuição destes íons a concentrações suficientemente baixas no concreto contaminado, restabelecendo-se a passivação da armadura (GENTIL, 2007; CABRAL, 2000). O processo eletroquímico de extração de cloretos é semelhante ao de realcalinização eletroquímica. Os íons cloreto são transportados por migração para fora do concreto através da aplicação de um campo elétrico, gerado por uma fonte de corrente contínua, entre a armadura e um eletrólito. O eletrólito é constituído por uma malha metálica que é fixada externamente na superfície do concreto imersa em um reservatório eletrolítico (GENTIL, 2007).

Durante o processo, cátions são transportados para a armadura e ânions Cl⁻ para o eletrodo externo (malha metálica), ocorre, também, a produção de íons hidroxila (OH⁻) na superfície da armadura, havendo um aumento do pH (CASCUDO, 1997).

3.4. Utilização de Inibidores de Corrosão

Segundo GENTIL (2007), “inibidor é uma substância ou mistura de substâncias que, quando presente em concentrações adequadas, no meio corrosivo, reduz ou elimina a corrosão”.

Os inibidores de corrosão podem agir de três formas distintas: alterando as velocidades das reações de corrosão; aumentando a estabilidade da camada de passivação do aço; adsorvendo-se sobre a superfície da armadura, formando um filme de óxidos que impede as reações sobre a mesma (HELENE *et al.*, 2008).

3.5. Proteção Catódica

O objetivo da proteção catódica é eliminar, através de um processo artificial, as áreas anódicas do metal, fazendo com que toda a armadura adquira um comportamento catódico, conseqüentemente, o fluxo de corrente entre o anodo e o catodo deixa de existir e a corrosão na armadura é eliminada (GENTIL, 2007).

O mecanismo de proteção catódica possui dois métodos baseados na injeção de corrente elétrica na estrutura através do eletrólito: proteção catódica galvânica ou por anodos galvânicos ou de sacrifício e a proteção catódica por corrente impressa ou forçada.

No sistema de proteção catódica galvânica, o fluxo de corrente é originado da diferença de potencial existente entre o metal a proteger e o metal de sacrifício escolhido. O metal de sacrifício funcionará como o anodo da pilha eletroquímica, corroendo-se e mantendo a armadura protegida (GENTIL, 2007).

No processo de proteção catódica por corrente impressa, para se estabelecer o sistema de proteção, utiliza-se uma fonte geradora de corrente elétrica capaz de criar um fluxo constante e controlado de elétrons entre o metal a ser protegido e o anodo de sacrifício (GENTIL, 2007; HELENE *et al.*, 2008).

4. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO CORROÍDAS

Para garantir a durabilidade das construções em concreto armado, deve-se especificar um concreto de boa qualidade e com cobrimento adequado ao ambiente em que a estrutura está

inserida. Existem, porém, ambientes suficientemente agressivos em que, somente os critérios exigidos pelas normas, não são suficientes para garantir a durabilidade destas estruturas. Nesses casos, faz-se necessário a utilização dos métodos complementares de proteção.

Cada um dos métodos utilizados na recuperação de estruturas de concreto armado corroídas apresentam características, vantagens e desvantagens, que o tornam ideal para cada caso. Na escolha da técnica de recuperação a ser utilizada devem ser considerados o tipo de material metálico, a utilização da estrutura, o meio em que ela está inserida e o mecanismo de corrosão, bem como relação custo/benefício do reparo.

A proteção por realcalinização passiva é utilizada em estruturas que sofrem processo de carbonatação. Possui como principal vantagem ser um método não-destrutivo, podendo ser aplicado antes ou após a chegada da frente de carbonatação à armadura. Permite, portanto, que o tratamento da estrutura inicie antes mesmo de a armadura ser atingida. Alguns dos problemas identificados na aplicação deste método é a velocidade do processo e a profundidade realcalinizada, limitada a dois centímetros, na maioria dos casos (SÁ, 2006). O tempo de aplicação desta técnica é bastante longo, podendo chegar a até dois anos. Por estas razões, o método tornou-se praticamente obsoleto.

A realcalinização eletroquímica é também, um método não-destrutivo utilizado em estruturas carbonatadas, porém mais eficaz que a realcalinização passiva. O tempo de aplicação deste método é de aproximadamente uma semana, dependendo da profundidade de carbonatação, espessura de revestimento, qualidade do concreto, distribuição e densidade das armaduras e da distribuição da corrente (CABRAL, 2000). Alguns dos principais danos que este método pode causar à estrutura são: possível aumento da reação álcali-agregado; perda de aderência entre armadura e concreto; fragilização por hidrogênio, reduzindo as propriedades plásticas do aço. Além dos problemas anteriormente mencionados, em estruturas tratadas eletroquimicamente pode ocorrer o aparecimento de problemas como empolamento, fissuração e destacamento do revestimento após algumas semanas (SÁ, 2006). A aplicação deste método é ainda limitada graças à dificuldade de aplicação na obra e o alto custo do procedimento.

A remoção eletroquímica de cloretos é um método não-destrutivo utilizado em estruturas contaminadas por íons cloreto. O tempo de tratamento depende do tipo de contaminação (externa ou incorporada à massa de concreto), espessura de carbonatação, qualidade do concreto, temperatura, densidade de armadura e espessura do concreto de revestimento, podendo variar entre poucas semanas e alguns meses. Por ser um procedimento similar ao de realcalinização eletroquímica possui as mesmas complicações, sendo que o alto custo pode inviabilizar seu emprego em alguns casos.

Os inibidores de corrosão podem ser utilizados em estruturas imersas em ambientes onde haja contaminação por cloretos ou seja propício à carbonatação. A incorporação de aditivos inibidores de corrosão está sendo amplamente utilizada na proteção das armaduras de concreto, graças a algumas vantagens: facilidade de aplicação (são adicionadas à água de amassamento do concreto, por isso não exigem mão de obra especializada), pouca necessidade de manutenção, técnica não-destrutiva e custo relativamente baixo. Entretanto, algumas pesquisas realizadas com inibidores, entre elas podemos citar a de HELENE *et al.* (1996), mostram que estas substâncias podem modificar algumas características do concreto, como o tempo de pega, a resistência à compressão e a expansibilidade, dependendo do teor acrescido à massa de cimento. A correta aplicação destes produtos é importante, pois quando utilizado em concentração diferente da recomendada, pode gerar um efeito contrário, aumentando a taxa de corrosão.

A proteção catódica galvânica pode ser aplicada em qualquer estrutura de concreto que apresente corrosão de armaduras, independente da causa do fenômeno patológico. É um método não-destrutivo, de alta duração, com baixo custo de instalação e manutenção simples. Porém, a proteção catódica galvânica perde um pouco de sua eficiência, quando utilizada em estruturas de concreto armado, devido à elevada resistividade elétrica do concreto (GENTIL, 2007). Deve, portanto, ser aplicada em áreas pouco extensas. Existem no mercado, atualmente, diferentes produtos com o objetivo de proteger catodicamente as estruturas de concreto armado; dentre estas podemos citar: tela galvânica, fita protetora de zinco.

Como na proteção catódica por corrente impressa a fonte geradora pode ter a potência e a tensão de saída de acordo com a resistividade elétrica do eletrólito, a resistividade elétrica do concreto não é um problema como na proteção catódica galvânica, tornando-o, portanto, mais eficaz. É consenso entre os pesquisadores que, a melhor forma de se solucionar o problema de corrosão em armaduras em um meio altamente contaminado, é a proteção catódica por corrente impressa, principalmente em estruturas novas. Quando o método é aplicado em estruturas já existentes apresenta certas limitações, exigindo a recuperação de todas as peças estruturais deterioradas, restabelecendo assim, as características originais da estrutura (CASCUDO, 1997). As estruturas comumente protegidas catodicamente são construções de grande porte como tabuleiros e estruturas de pontes e viadutos; estruturas marítimas, estações de tratamento de efluentes, oleodutos, gasodutos, píers e plataformas de petróleo, pois o custo da aplicação desta técnica de recuperação é alto e exige pessoal qualificado em seu emprego.

5. CONCLUSÕES

A recuperação de estruturas de concreto com a presença de corrosão de armaduras objetiva a devolução do seu estado original, tanto em relação à capacidade portante da estrutura quanto em relação a sua durabilidade.

Existem diversas técnicas de recuperação e proteção de estruturas corroídas, sendo as mais comuns apresentadas neste trabalho. Estes sistemas de proteção deverão ser empregados em condições excepcionais, ou seja, quando os recursos oferecidos pelo concreto não são suficientes para evitar a corrosão.

Diante da grande variedade de sistemas de proteção existentes no mercado, cabe ao profissional atuante na área conhecer os mecanismos e formas de atuação destes, bem como os processos de deterioração das estruturas, visando especificar a melhor solução para cada situação.

REFERÊNCIAS

CABRAL, A. E. B. Avaliação dos sistemas de reparo utilizados em estruturas atacadas por cloretos através da resistência de polarização. Porto Alegre, 2000. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CASCUDO, O. O controle da corrosão de armaduras em concreto. São Paulo : Pini, 1997. 237p.

GENTIL, V. Corrosão. Rio de Janeiro, 2007. Editora LTC.

HELENE, P. R. L. Corrosão das armaduras para concreto armado. São Paulo, IPT, PINI, 1986.

HELENE, P. R. L.; GROCHOSKI, M. Sistemas de reparo para estruturas de concreto com corrosão de armaduras. São Paulo, 2008. Boletim Técnico - Série BT/PCC, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SÁ, R. R. Influência da realcalinização por meio da absorção/difusão de soluções alcalinas na resistência à compressão do concreto, na aderência de tintas e vernizes e na repassivação da armadura. Goiânia, 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás.