

MÉTODOS DE PREVENÇÃO DA CORROSÃO NAS ARMADURAS DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

DARLANE FERNANDES DA COSTA¹, RAPHAELL CHRISTYAN GOMES DE LIMA², VICTOR HUGO LIRA PERES³

¹Graduanda do curso de Engenharia Civil na Universidade Paulista – UNIP, Campus Brasília-DF, fdarlanecosta@gmail.com;

²Graduando do curso de Engenharia Civil na Universidade Paulista – UNIP, Campus Brasília-DF, raphaellchristyan@gmail.com;

³Graduando do curso de Engenharia Civil na Universidade Paulista - UNIP, Campus Brasília-DF, victorhugoliraperes@gmail.com

RESUMO: Este estudo busca identificar métodos para aumentar a vida útil do aço no concreto armado com o uso do revestimento em epóxi, duplex (zinco + epóxi) e também com emprego do aço inoxidável com cromo. A vida útil do concreto armado tem diminuído expressivamente com a corrosão das barras de aço do concreto armado, sendo um obstáculo para a construção civil. A corrosão, na maioria das vezes acontece por conta da ação ofensiva dos íons cloreto (Cl⁻) e do dióxido de carbono (CO₂). Com isso, tem-se estudado exponencialmente métodos e mecanismos para o retardo do processo de corrosão das barras de aço de concreto armado nas construções. Aqui no Brasil, se esquece da proteção das armaduras e concentra-se apenas na contenção da corrosão nos atributos do concreto. Em outros países mais desenvolvidos, são adotadas práticas para proteção das armaduras, além de já utilizarem um concreto de qualidade superior. Apesar do revestimento do aço já ser consagrado na construção civil, estudos relacionados ao seu desempenho são escassos, principalmente em nosso país.

Palavras-chave: Aço; Concreto; Revestimento.

ABSTRACT: This study seeks to identify methods to increase the useful life of steel in reinforced concrete or epoxy and duplex coating and also with the use of stainless steel with chromium. The useful life of reinforced concrete has significantly decreased with the corrosion of steel bars in reinforced concrete, being an obstacle for civil construction. Corrosion, in most cases happens due to the offensive action of chloride ions (Cl⁻) and carbon dioxide (CO₂). Thus, methods and mechanisms for delaying the corrosion process of reinforced concrete steel bars in buildings have been exponentially studied. Here in Brazil, it forgets the protection of reinforcement and focuses only on containing corrosion in the attributes of concrete. In other more developed countries, practices are adopted to protect the reinforcement, in addition to already using superior quality concrete. Despite the fact that steel lining is already established in civil construction, studies related to its performance are scarce, especially in our country.

Keywords: Steel; Concrete; Coating.

INTRODUÇÃO

Percebe-se que a corrosão no aço é muito mais comum do que imaginamos, facilmente ocorre oxidação, o que acaba ocasionando na perda do metal. Infelizmente, isto ainda é muito comum na construção civil, gerando grandes perdas econômicas ao setor. A presença de água e oxigênio podem ser um de seus problemas, acarretando na aceleração do processo.

Para retardar a corrosão do metal e aumentar a vida útil do concreto armado, trouxemos soluções com revestimento para evitar o contato com o ar e a umidade atmosférica. Diante disso, apresentaremos três opções de revestimento: epóxi, duplex e aços inoxidáveis com cromo.

CORROSÃO DE ARMADURA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO.

O concreto é muito conhecido nas construções civis de pequeno e grande porte para fins estruturais, porém, é um material construtivo instável ao longo de sua vida útil, alterando suas propriedades e características por conta das condições do meio ambiente. Um dos problemas atuais é a corrosão nas armaduras, que tem afetado negativamente a construção civil, que é consequência de variáveis químicas e físicas que ocorrem nas barras de aço. Este problema acontece nas superfícies, se destacando no comprimento da ferragem, diminuindo a área de aço da armadura e resultando na redução de seção dos seus componentes. (SOUZA; VICENTE, 2009).

Os íons penetram o concreto até sua armadura, causando a deterioração da armadura e perdendo a estrutura do concreto. Em ambiente marinho, isto resulta em bilhões de reais por ano para reparos, o que nos últimos anos tem chamado a atenção devido aos grandes custos para a construção civil. Uns dos grandes casos são de pontes do Rio de Janeiro devido a várias corrosões e defeitos estruturais ocasionados pela maresia e pela falta de manutenção. Ao longo do tempo, ocorrem diversas alterações prejudiciais para as estruturas, tornando-as impróprias para uso e acarretando em desastres mortais. Em dezembro de 1967, ocorreu um acidente em Ohio (EUA) na ponte Silver Bridge em consequência da corrosão, provocando a morte de 46 pessoas. (GENTIL, 1982).

Nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na tabela 1 e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes. NBR 6118 (ABNT, 2003).

CARBONATAÇÃO DAS ESTRUTURAS

O fenômeno acontece através dos gases carbônicos (anidrido carbônico). Ocorre o transporte de gás por difusão do concreto, reagindo com os hidróxidos de cálcio (que estão na solução dos poros do concreto), então seu pH é reduzido de 12,5 para valores menores. A umidade relativa do ar de 60% a 98% sujeitas a ciclos de molhagem e secagem possibilita a corrosão. A carbonatação não reduz a resistência do concreto, apenas aumenta sua dureza, a mesma seria até benéfica ao concreto, pois aumentaria suas resistências mecânicas e químicas se ficasse restrita a uma espessura inferior à da camada de cobrimento das armaduras. O problema é que em função da concentração de CO₂ na atmosfera e da porosidade e nível de fissura do concreto, a armadura pode ser atingida pela carbonatação, arrebatando um filme de proteção de óxido que a protege, iniciando sua corrosão. A carbonatação não é possível se considerado volume de água nos poros do concreto de 0,5% a 1%. (SOUZA; VICENTE, 2009).

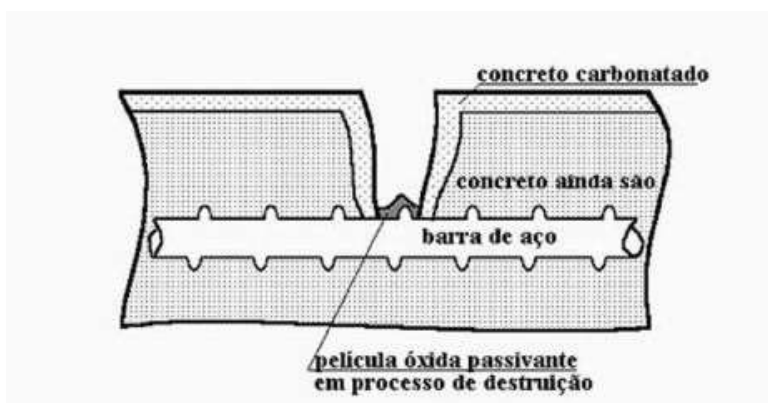


Figura 1. Propagação da carbonatação com o tempo. Fonte: Vicente (2009).

Além disto, entende-se que, em um concreto que sofreu carbonatação, o risco de corrosão por agentes agressores, como os cloretos, é bem maior. Por exemplo, em uma umidade relativa do ar de 85% a probabilidade de um processo de corrosão em uma barra de aço é imensa. (SOUZA; VICENTE, 2009).

INFILTRAÇÃO DOS ÍONS CLORETOS NA ESTRUTURA

Como afirma Cavalcante Filho (2010), íons de cloreto são os agentes causadores do maior problema das armaduras de concreto armado. A corrosão por pites, ou seja, a patologia na estrutura, se manifesta de forma puntiforme, danificando de forma centrada a película apassivante do aço mesmo em pH extremamente elevado. A incidência dessa ação se dá em localidades litorâneas, devido ao fato de que as regiões marítimas fazem com que a atmosfera contenha íons cloretos. Os aerossóis de sais dissolvidos, causados pelas partículas provenientes de água do mar, são levados pelo vento e se depositam nas estruturas circunvizinhas. O cloreto é capaz de penetrar no concreto através da absorção capilar da água em que se encontram dissolvidos, há também a possibilidade de vir a adentrar nos elementos estruturais de forma involuntária através de aditivos de pega que possuam em sua composição cloreto de cálcio ou agregados, águas e solos contaminados. Para tanto, devem ser observadas situações que podem favorecer a permeabilização do agente agressor, tais como, a localização geográfica do elemento estrutural, a qualidade do concreto que o reveste e suas variáveis durante a execução, composição do aglomerante, relação água/cimento e a condição da superfície do aço empregado, o clima do meio em que está exposto não deve ser subestimado, bem como a exposição à ânions, como o sulfato.

Porém, Cascudo e Helene (2001) concluem, com base em experimentos, que este *roll* de variáveis não é taxativo e nem é isolado, podendo ocorrer o aprazamento entre os fatores que possibilitam a contaminação por íons cloretos, e assim, alterarem de forma significativa o efeito da corrosão proporcionalmente à medida que interagem entre si.

PREVENÇÃO DA CORROSÃO

Grande parte dos estudos voltados à prevenção da corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado tem direcionado esforços para mitigar os efeitos da patologia através da melhoria da qualidade do concreto propriamente dito, conforme afirma Silva (2007), tratando de inibidores de corrosão.

Portanto o intuito deste trabalho é o estudo aprimorado através das revisões literárias, buscar formas de dirimir os efeitos de corrosão e conseqüentemente aumentar a vida útil das estruturas com a menor incidência de manutenção, com base na aplicação de materiais apassivadores diretamente nas armaduras metálicas. Serão apresentadas três opções de materiais e seus respectivos desempenhos conforme dispostos nas mais diversas literaturas.

AÇO COM REVESTIMENTO EPÓXI

Em 1970, deu-se início aos estudos em direção a utilização de revestimentos orgânicos em armaduras de aço-carbono, em seguida, o reconhecimento do agravamento prematuro dos tabuleiros das pontes na região norte dos Estados Unidos. Na Flórida, foram construídas em torno de 300 pontes empregando armaduras com revestimento epóxi em meio à década de 70 e à década de 90, tendo como finalidade principal, a tentativa de controlar a corrosão das subestruturas nas regiões de respingo das pontes em ambiente marinho. (PACHECO, M; ARAUJO, A; RIBEIRO, J; CARDOSO, J. 2017).

Observou-se em 1986 em Florida Keys, o início de corrosão séria nas armaduras revestidas de epóxi na subestrutura de cinco pontes grandes no decorrer da rodovia US 1, que foram construídas entre 1978 a 1983. Para os pesquisadores da Flórida, o principal motivo da corrosão refere-se à negligência na preparação das barras antes da inserção do revestimento e da danificação do revestimento antes ou no decorrer da instalação. (PACHECO, M; ARAUJO, A; RIBEIRO, J; CARDOSO, J. 2017).

Diante o exposto no que tange os inúmeros lapsos referidos, caiu em descrédito a utilização de barras com pintura epóxi, a qual foi necessário optar por alternativas mais confiantes e seguras. Uma das opções identificadas foi o emprego de revestimento múltiplo que associa a proteção verificada pelo zinco com a de uma pintura epóxi. O tipo de proteção citado, é mais conhecido como sistema duplex, tem efeito sinérgico de proteção: o tempo de proteção conferida pelo revestimento alcançado pela superposição da tinta a respeito do zinco é superior ao que o tempo de proteção verificada apenas pelo zinco adicionado ao período de proteção conferida exclusivamente pela camada de tinta. (PACHECO, M; ARAUJO, A; RIBEIRO, J; CARDOSO, 2017).

AÇO COM REVESTIMENTO DUPLEX

Na década de 30 na França, objetivando reduzir os danos de corrosão intergranular dos aços inoxidáveis austeníticos, criaram-se os aços inoxidáveis duplex (AID), que adquiriram grande relevância comercial. (NUNES; BATISTA; BARRETO, 2012).

São utilizados com muita frequência os aços inoxidáveis duplex em indústrias de óleo, químicas, de geração de energia nuclear, de papel e celulose, de alimentos e de construção naval. É composta por uma microestrutura de proporções semelhantes às iguais de ferrita e austenita, que marcam as propriedades de valia para as duas etapas como: ressalta o limite de resistência e fadiga, boa tenacidade mesmo com temperaturas baixas, credibilidade apropriada, soldabilidade e resistência elevada à corrosão sobre tensão, pitting e corrosão em geral. (CHEN; WENG; YANG, 2002; MUTHUPANDI et al., 2003; WENG; CHEN; YANG, 2004; ZHAO et al., 2001).

Os duplex mostram-se como uma opção para os aços inoxidáveis austeníticos, em especial onde acontece a corrosão sobre tensão em meios contendo cloretos ou sulfetos, tendo como exemplo, nas indústrias de óleo e gás, papel e polpa, além da petroquímica. (MUTHUPANDI et al., 2003).

No sentido de afirmar a junção apropriada de características dos aços duplex, é fundamental preservar a relação ferrita e austenita próxima a 50:50. A ferrita é responsável pela maior resistência mecânica (tensão, fadiga, dureza) enquanto a austenita assegura melhor tenacidade e resistência à corrosão. (NUNES; BATISTA; BARRETO, 2012; ZHAO et al., 2001).

AÇOS INOXIDÁVEIS

O pioneirismo nos trabalhos em que o aço inoxidável foi avaliado como estrutura, remete a década de 80, logo após a normatização do seu uso se deu quando na edição da norma inglesa BS6744:1986, incluiu em seu *roll* dois tipos do elemento com finalidade de emprego no concreto armado, os aço ABNT 304 e 306. Dez anos depois, a América do Norte tratou sobre o assunto quando formulou a norma ASTM A955-96. (TULA; HELENE, 2000).

O aço inoxidável traz em seu escopo uma série de vantagens, que compreende um ótimo desempenho mesmo quando exposto a situações severas de agressividade, isso por conta do seu processo de passivação e repassivação, tendo em vista sua composição de Ferro (Fr) com taxa de 65% a 70%; Cromo (Cr) entre 16% a 18% e o Níquel (Ni) entre 10% a 14%. Tais elementos permitem que a reação da oxidação crie uma camada em toda superfície do aço, esta responsável pela passivação da estrutura. Mesmo quando essa camada é perdida, os elementos voltam a reagir, criando assim, a repassivação. (TULA; HELENE, 2000).

Porém, mesmo tendo sua eficiência inquestionável, os aços inoxidáveis apresentam custos iniciais elevados, chegando a até 13 vezes maior do que o custo do aço carbono convencional. Entretanto, visando a solução patológica, esse custo traz valor agregado no sentido de que ao final do ciclo essa solução terá alcançado seu objetivo e compensado o investimento através da baixa manutenção a médio-longo prazo.

CONCLUSÃO

Conclui-se que, dentre os estudos aqui apresentados, os materiais apassivadores que mostraram maior desempenho foram o aço com revestimento duplex e o aço inoxidável. Porém, ainda não é possível conferir fielmente o descrédito ao aço com revestimento epóxi, conforme foi visto seu último uso prático em massa, que ocorreu entre as décadas de 70 e 90, o que torna seu experimento obsoleto, basta ver a constante evolução dos materiais, a capacitação técnica e a organização enxuta, que são cada vez mais exigidas nos canteiros de obra. Podemos afirmar que se faz necessário o aprofundamento dos estudos através de experimento e ensaios em laboratório, visando atualizar as variáveis aqui descritas, uma vez que esta técnica de apassivação aparenta trazer vantagens relativas ao custo de implementação ao sistema construtivo tradicional, considerando a possibilidade de ser executada no próprio canteiro.

Vale ressaltar que as outras duas opções de prevenção evidenciam vantagens de elevada significância no aumento da vida útil, bem como na redução drástica da manutenção das estruturas oriundas da corrosão, porém, a fim de consolidar o estudo em questão e proporcionar uma comparação do desempenho de eficiência da apassivação nas armaduras das estruturas de concreto armado, é ideal que se integre e submeta às três opções aqui apresentadas ao mesmo ensaio

laboratorial com simulação de tempo de exposição ao meio corrosivo, juntamente com uma pesquisa de custo e disponibilidade dos materiais, sendo assim possível contextualizar os resultados do presente estudo por meio de uma proposta de um projeto futuro.

REFERÊNCIAS

- CASCUDO, O.; HELENE, P.R.L. Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2001.
- Cavalcanti Filho, A. N. Contribuição ao controle tecnológico de concretos estruturais de cimento Portland em ambientes marítimos. São Paulo: USP. 2010. 334p. Dissertação Mestrado.
- CHEN, T.; WENG, K.; YANG, J. The effect of high-temperature exposure on the microstructural stability and toughness property in a 2205 duplex stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, v. 338, n. 1-2, p. 259–270, 2002.
- GENTIL, V. Corrosão: 3. ed. Rio de Janeiro: Editora S.A. 1982.
- MUTHUPANDI, V. et al. Effect of weld metal chemistry and heat input on the structure and properties of duplex stainless-steel welds. *Materials Science and Engineering: A*, v. 358, n. 1-2, p. 9–16, 2003.
- Norma Brasileira. NBR 5601: aços inoxidáveis: Classificação por composição química. Rio de Janeiro: ABNT; 2011.
- Norma Brasileira NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento ABNT; 2004.
- NUNES, E.; BATISTA, H.; BARRETO, A. Influência da Energia de Soldagem na Microestrutura e na Microdureza de Revestimentos de Aço Inoxidável Duplex. *SciELO Brasil*, 2012.
- PACHECO, M; ARAUJO, A; RIBEIRO, J; CARDOSO, J. Armaduras de aço com revestimento dúplex (zinco + epóxi) para o prolongamento de vida útil de armaduras de concreto armado. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321038114_armaduras_de_aco_com_revestimento_duplex_zinco_epoxi_para_o_prolongamento_de_vida_util_de_armaduras_de_concreto_armado. Acesso em: 19 abril 2020.
- SILVA, A.; ROBERTO, P.; Aços e ligas especiais: 2. Ed. Rio de Janeiro: Edgard blucher, 2006
- SILVA, V. M. Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala real e reduzida. 2007. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Carlos. São Paulo, 2007.
- SOUZA, V.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estrutura de concreto: 1. Ed. São Paulo: Pini ltda, 2009.
- TULA, L.; HELENE, P. Contribuição ao estudo da resistência à corrosão de armaduras de aço inoxidável, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000.
- WENG, K.; CHEN, H.; YANG, J. The low-temperature aging embrittlement in a 2205 duplex stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, v. 379, n. 1-2, p. 119–132, 2004.
- ZHAO, L. et al. Thermal spraying of a high nitrogen duplex austenitic–ferritic steel. *Surface and Coatings Technology*, v. 141, n. 2–3, p. 208–215, 2001.