



MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA

METHODS OF RECOVERY, PROTECTION AND MONITORING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN CORROSION PROCESS: LITERATURE REVIEW

MÉTODOS DE RECUPERACIÓN, PROTECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO SOMETIDAS A CORROSIÓN: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Deybion Ribeiro Dourado¹, Emilyly Nascimento Mota Rodrigues², Gabriel Moraes da Silva³, Danielle de Cássia Santos de Viveiros⁴, Marinna Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra⁵, Ciguivon José de Oliveira Junior⁶, Alcineide Dutra Pessoa de Sousa⁷, Diogo Ramon do Nascimento Brito⁸

e391820

<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i9.1820>

PUBLICADO: 09/2022

RESUMO

A corrosão é uma manifestação patológica comum nas estruturas de concreto armado, definida como um processo de deterioração do material devido à ação química e/ou eletroquímica do meio ambiente. E o conhecimento acessível e prático na ação de restauração, proteção e acompanhamento do processo corrosivo, de forma a aplicar métodos para a resolução e/ou a estabilização dessa problemática, evidencia-se o objetivo deste estudo. Este projeto de pesquisa deságua em uma revisão de literatura narrativa, consistindo em um levantamento teórico amplo do processo de corrosão da estrutura de aço dentro do concreto armado, bem como em uma apresentação analítica exploratória, descritiva e bibliográfica das técnicas de recuperação, proteção e monitoramento desta manifestação patológica, juntamente com procedimentos de compilação e agrupamentos de dados. A fundamentação teórica, bem como os requisitos e as recomendações normativas, abordados neste trabalho, possibilitaram a constatação de métodos e técnicas eficazes e eficientes para o reestabelecimento das condições de segurança, funcionalidade e ampliação ou reposição dos elementos estruturais, garantido a vida útil das estruturas de concreto armado.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão. Concreto Armado. Métodos e Técnicas.

ABSTRACT

Corrosion is a common pathological manifestation in reinforced concrete structures, defined as a process of material deterioration due to the chemical and/or electrochemical action of the environment. And the accessible and practical knowledge in the action of restoration, protection and monitoring of the corrosive process, in order to apply methods for the resolution and/or stabilization of this problem, is evidenced by the objective of this study. This research project leads to a narrative literature review, consisting of a broad theoretical survey of the corrosion process of the steel structure inside reinforced concrete, as well as an exploratory, descriptive and bibliographic analytical presentation of recovery, protection and monitoring techniques. of this pathological manifestation, along with compilation procedures and data groupings. The theoretical foundation, as well as the requirements and normative recommendations, addressed in this work, enabled the verification of effective and efficient methods

¹ Egresso do curso de Engenharia Civil da Universidade CEUMA - Imperatriz, MA.

² Docente do curso de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo da Universidade CEUMA, Imperatriz - Maranhão

³ Docente do curso de Engenharia Civil da Universidade CEUMA, Imperatriz - Maranhão

⁴ Docente dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia de Produção na Universidade CEUMA, Imperatriz - Maranhão

⁵ Docente do curso de Engenharia Civil da Universidade CEUMA, Imperatriz - Maranhão

⁶ Docente do curso de Engenharia Civil da Universidade CEUMA - campus Imperatriz

⁷ Docente do curso de Engenharia Civil da Universidade CEUMA - campus Imperatriz

⁸ Docente dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia de Produção na Universidade CEUMA, Imperatriz - Maranhão



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emily Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva, Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior, Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

and techniques for the reestablishment of the safety conditions, functionality and expansion or replacement of structural elements, ensuring the service life of reinforced concrete structures.

KEYWORDS: *Corrosion. Reinforced Concrete. Methods and Techniques.*

RESUMEN

La corrosión es una manifestación patológica común en las estructuras de hormigón armado, definida como un proceso de deterioro del material debido a la acción química y/o electroquímica del medio ambiente. El conocimiento accesible y práctico en la acción de restauración, protección y acompañamiento del proceso corrosivo, de forma que se apliquen métodos para la resolución y/o estabilización de esta problemática, evidencia el objetivo de este estudio. Este proyecto de investigación desemboca en una revisión bibliográfica narrativa, consistente en un amplio estudio teórico del proceso de corrosión de la estructura de acero dentro del hormigón armado, así como en una presentación analítica exploratoria, descriptiva y bibliográfica de las técnicas de restauración, protección y seguimiento de esta manifestación patológica, junto con los procedimientos de recopilación y agrupación de datos. La fundamentación teórica, así como los requisitos y recomendaciones normativas, abordados en este trabajo, posibilitan la construcción de métodos y técnicas eficaces y eficientes para el restablecimiento de las condiciones de seguridad, funcionalidad y ampliación o reposición de los elementos estructurales, garantizando la vida útil de las estructuras de hormigón armado.

PALABRAS CLAVE: *Corrosión. Concreto Armado. Métodos y técnicas.*

1. INTRODUÇÃO

As manifestações patológicas em edificações são os problemas mais importantes do comprometimento e da vida útil das construções. E o concreto, que é um dos materiais mais usados nos desenhos de estruturas, por sua vez, mediante o projeto e o implemento, demarcarão o potencial aparecimento de patologias, bem como da magnitude delas. Quanto as essas patologias, inicia pelo empenho estético da estrutura, sendo o mais grave, contudo, a perda de sua capacidade portante. E o custo, para sanar ou amenizar tais danos, pode ser alto. E essas problemáticas podem levar a estrutura a um colapso parcial, em alguns casos, ou até mesmo, totalitário (HELENE, 2007).

A corrosão, que é uma manifestação patológica, não acontece no concreto, ela evidencia-se nas barras de aço que estão inseridas dentro do concreto. Logo, a prevenção tangente a essa corrosão ou oxidação, tem-se que em proteger a armadura inserida no concreto. A melhor proteção é a do próprio concreto, portanto, quanto mais qualidade apresentar o concreto que envolve a armadura, melhor será a proteção das barras. Conforme Grochoski (2008), para que se possa ter um concreto de melhor qualidade, pode-se aumentar a espessura de cobrimento dele, como também diminuir a chamada relação água-cimento, que é a proporção entre água e cimento presentes no concreto, resultando em uma maior resistência e durabilidade.

E sobre uma durabilidade inadequada, ela se manifesta por uma deterioração que pode ser originada por fatores extrínsecos ou por causas intrínsecas do próprio concreto, e as diferentes formas de ação podem ser físicas, químicas ou mecânicas (NEVILLE, 2016). Souza e Ripper (1998) reforçam



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emily Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva,
Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior,
Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

que as causas provenientes dos próprios materiais e dos seus elementos estruturais, advindas ao longo do prazo de implemento ou de utilização, ou por falha humana, ou por circunstâncias inerentes ao material concreto, e inclusive pela ação de fatores externos, como imprevistos, que propiciará para a ocorrência deste processo corrosivo.

A problemática do presente estudo investiga a sistematização da corrosão nos elementos estruturais, nos seus aspectos teóricos e conceituais. Também expõe métodos e técnicas para o tratamento de armadura de aço inseridas no concreto, em uma revisão bibliográfica, de forma a combater a perda da durabilidade e envelhecimento precoce das edificações existentes. Além disso, apresenta de forma sucinta os procedimentos vantajosos para o setor da construção civil.

A justificativa da pesquisa baseia-se em que a corrosão, uma manifestação patológica comum na armadura de aço do concreto armado exposto a agentes presentes ao meio ambiente, representa uma problemática nas edificações que embora contem com um acervo e desenvolvimento tecnológico e científico sobre o tema, ainda é necessário aprofundamento de estudos, a fim de propor estágio de anulação dos impactos da oxidação à estrutura de concreto armado.

E a corrosão pode ser entendida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, como resultado de reações deletérias de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de deterioração (HELENE, 2014). Além disso, nesse processo ocorre a perda de massa do material (SOUSA, 2014).

Toda corrosão do aço à temperatura ambiente em meio aquoso é de natureza eletroquímica, ou seja, pressupõe a existência de uma reação de óxido-redução e a circulação de íons num eletrólito. E nas armaduras de concreto a corrosão eletroquímica, segundo Helene (2014), conduz à formação de óxidos/hidróxidos de ferro, denominados de “produtos da corrosão” devido à complexidade e ao elevado número de compostos transitórios e definitivos passíveis de ocorrência, com volumes algumas vezes superiores ao volume do metal de origem, de cores variadas, sendo frequentemente de cor predominante amarronzada, com constituição gelatinosa ou porosa, denominados comumente de “ferrugem”. E os efeitos degenerativos de uma armadura em concreto ocorrem na forma de manchas superficiais causadas pelos produtos de corrosão, seguidas por fissuras, destacamento do concreto de cobertura, redução da secção resistente das armaduras com frequente seccionamento de estribos, redução e eventual perda de aderência das armaduras principais (HELENE, 2014).

A necessidade de conhecimento acessível e prático na ação de combate, proteção e monitoramento do processo corrosivo em pilares, vigas e lajes, instiga-se a procura de métodos e técnicas para a resolução e/ou a estabilização dessa patologia; em que, seguindo os requisitos e as recomendações normativas, o reestabelecimento das condições de segurança, funcionalidade e ampliação ou reposição da vida útil da estrutura de concreto armado, tornam-se serviços indispensáveis para a reabilitação da estrutura. Bem como o conhecimento das vantagens de cada método, considerando a mão de obra e impacto arquitetônico.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emily Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva,
Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior,
Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

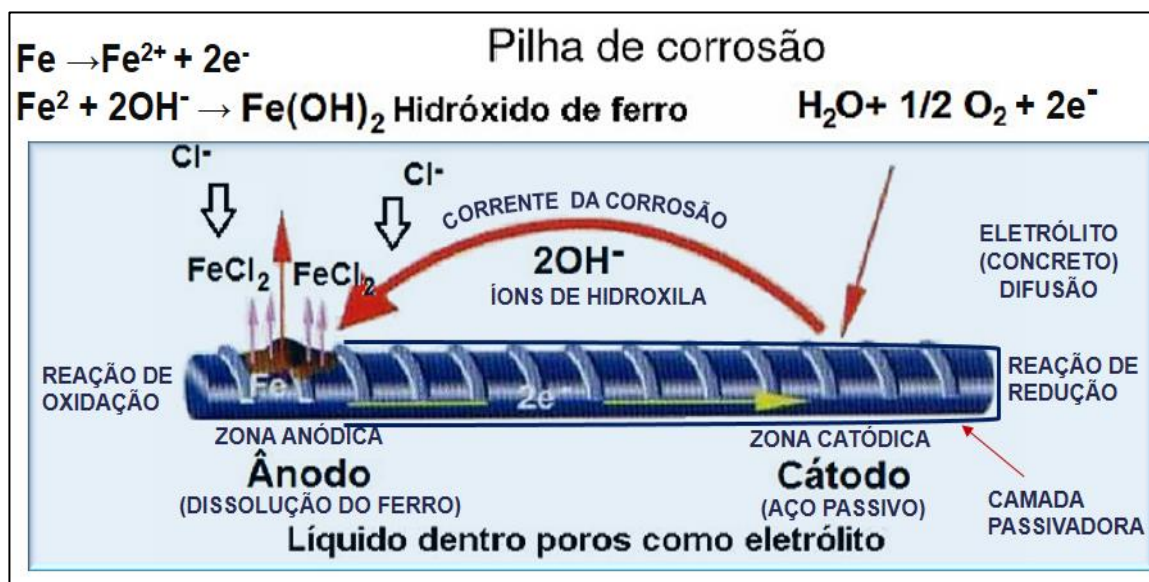
2.1 PROCESSO DA CORROSÃO

Segundo Ribeiro e Cunha (2014), o processo corrosivo no concreto armado é um fenômeno “camuflado”, em que os seus primeiros sintomas de corrosão só aparecem muito depois do processo se ter iniciado e propagado.

A condição de proteção do aço, quando ele sofre um decréscimo, é devido aos agentes agressivos presentes no meio ambiente que entram em ação direta ao concreto, conforme Polito (2006). Os íons cloretos e o dióxido de carbono (CO_2) são considerados as substâncias mais nocivas ao atacar o concreto, pois elevam a condutividade do concreto e, originam a carbonatação reduzindo o pH do material, respectivamente. E as partículas de água e oxigênio, juntamente com os íons cloreto (Cl^-) percorrem as porosidades do concreto até entrar em contato com a película passivadora das armaduras, provocando desestabilizações nesses pontos (Figueiredo e Meira, 2013).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a corrosão provocada por íons cloreto é proveniente de mecanismo de pites, que são pontos de corrosão na superfície da armadura. Além de contribuir para o sectionamento da barra, a corrosão gera manifestações patológicas graves como a perda de seção das armaduras, a coloração alaranjada do concreto e o deslocamento de material.

Figura 1 – Despassivação da armadura por cloretos.



Fonte: HADDAD (2008).

A corrosão eletroquímica que ocorre na armadura de aço é caracterizada pela transferência de elétrons e íons entre duas regiões distintas do metal, em que a corrosão pode ser tanto uniforme ao longo da superfície da armadura, como localizada, se concentrando em uma determinada área que



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emily Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva,
Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior,
Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

leva a geração de pequenos furos no metal. Esta última, sendo denominada corrosão por pite pode ser considerada o tipo mais grave de corrosão que ocorre na armadura de aço. E é causa principalmente pela presença dos íons cloreto, resulta na formação de uma cavidade que se propaga rapidamente e deteriora significativamente as propriedades mecânicas da armadura (SOUSA, 2014).

Feliu (1984) e Cascudo (1997) abordam que as armaduras podem sofrer formas de corrosão eletroquímica do tipo: corrosão generalizada, em que o ataque é produzido em uma grande superfície do metal, na qual existem inúmeros ânodos e cátodos, formando micropilhas que mudam a todo tempo, que nesse caso, a perda de seção pode ser uniforme ou irregular; corrosão localizada, em que o ataque se produz em zonas mais ou menos extensas do material, as quais, por diferentes razões, são anódicas em relação às demais, e que sua ocorrência pode ser a mudança ou heterogeneidade de composição química do material ou do eletrólito que o circunda; corrosão por pites, em que o ataque se produz em zonas discretas do material, desgastes localizados sob a forma de pequenas cavidades; corrosão intragranular, processada entre os grãos dos cristais do metal e quando os vergalhões sofrem, principalmente, tensões de tração, podendo fissurar ou fraturar, perdendo sua estabilidade; corrosão transgranular, que se realiza intragrãos da rede cristalina, podendo levar à fratura da estrutura, quando houver esforços mecânicos; e corrosão por fragilização pelo hidrogênio, em que a ação do hidrogênio atômico na sua difusão pelos vergalhões da armadura, propiciando a sua fragilização e, em consequência, a fratura, sendo, no entanto, bastante rara.

2.2 DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A durabilidade das estruturas, como apresenta Fernando do Couto Rosa Almeida e Almir Sales (2014), é dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do revestimento da armadura. Os parâmetros mínimos de qualidade do concreto a serem atendidos devem ser estabelecidos em ensaios comprobatórios do ambiente da durabilidade da estrutura, frente ao tipo e nível de agressividade ambiental previstos em projeto (Tabela 1). Na ausência desses ensaios e considerando a existência de uma forte correspondência entre a relação água/cimento, a resistência à compressão do concreto e a sua durabilidade (Tabela 2).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emily Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva,
Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior,
Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e a qualidade do concreto.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Mediante os estudos de Chust (2016),

Em relação à durabilidade, a ABNT NBR 6118:2014, no item 6.1, exige que as estruturas de concreto sejam projetadas e construídas de modo que, sob as influências ambientais previstas e quando utilizadas conforme estabelecido em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e comportamento adequado em serviço durante o período correspondente à sua vida útil de projeto. A durabilidade das estruturas de concreto requer, ainda, cooperação e esforços coordenados do proprietário, do usuário e dos responsáveis pelo projeto arquitetônico, pelo projeto estrutural, pela tecnologia do concreto e pela construção (CHUST, 2016, p. 65).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emily Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva,
Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior,
Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

2.3 DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O termo “deterioração” como o antônimo de “durabilidade”, sendo definida como a perda de capacidade do material em suportar as condições para as quais foi concebido ao longo de um determinado período, conforme trata Daniel Vêras Ribeiro (2014). E o concreto é considerado durável quando desempenha as funções que lhe foram atribuídas, mantendo a resistência e a utilidade esperada, durante um período previsto. Como qualquer tipo de material, a elevada durabilidade do concreto não implica em uma vida indefinida, nem em suportar tipo de ação, pois, com as interações como o meio ambiente, a microestrutura e as propriedades dos materiais mudam ao longo do tempo. E os diversos processos químicos (ácidos e sais), físicos (variações de temperatura), mecânicos (vibrações e erosão), e biológicos (bactérias) contribuem simultaneamente na deterioração dos elementos estruturais e podem até somatizar seus efeitos sobre o concreto e as armaduras.

Ribeiro e Cunha (2014) explicam que a degradação do concreto por carbonatação é a redução da alcalinidade do concreto, devido à lixiviação dos compostos cimentícios, que reagem com os componentes ácidos da atmosfera, principalmente do dióxido de carbono (CO_2), resultando na formação de carbonatos e H_2O_5 . Também, a falta de oxigênio dentro dos poros do concreto, como acontece quando há imersão em água, pode originar um processo de corrosivo ainda mais dramático que o habitual, não só pelo aumento da velocidade do processo corrosivo, mas também pela completa ausência de sinais exteriores de corrosão. Na ausência de oxigênio, corrosão negra, livre dentro dos poros, a espécie resultante da dissolução do aço na água, íons Fe^{2+} , permanecerá em solução, não se formando, por isso, nenhum óxido expansivo apesar de o fenômeno corrosivo estar a ocorrer.

As causas físicas e químicas da deterioração estão proximamente entrelaçadas e reforçando-se mutuamente, de forma que a separação entre a causa e efeito frequentemente torna-se praticamente impossível (VILASBOAS, 2004). E o processo de degradação do concreto, em sua classificação deve ser entendida com o propósito de explicação sistemática e individualmente os vários fenômenos envolvidos, observando a não negligência as interações possíveis quando vários fenômenos envolvidos ao mesmo tempo estão presentes.

2.4 TÉCNICAS AVALIATIVAS DA CORROSÃO EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

As técnicas eletroquímicas, como forma avaliativa, verificam a corrosão como um fenômeno eletroquímico, apresentam maior confiabilidade, não provocam danos à estrutura no momento da sua aplicação, e são realizadas tanto em laboratório quanto em campo (RIBEIRO; CUNHA, 2014). E os mecanismos eletroquímicos que envolve o processo de corrosão, segundo Luca Bertolini (2010), são a reação anódica de oxidação do metal, que propicia a formação de produtos de corrosão e torna disponíveis elétrons na rede cristalina do metal; a reação catódica, que reduz uma espécie química presente no ambiente agressivo e consome os elétrons produzidos pelo processo anódico; a circulação de corrente no metal, gerada pelo fluxo de elétrons na rede cristalina do metal; e, a circulação de



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emilly Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva, Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior, Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

corrente no ambiente, produzida pela migração elétrica dos íons dissolvidos na solução líquida em contato com a superfície do metal.

O potencial de corrosão é uma técnica que propõe uma medição do potencial de corrosão das barras de aço do concreto armado, em relação a um eletrodo de referência em contato com a superfície do concreto. Trata-se de um ensaio padronizado pela norma internacional ASTM C 876 (ASTM, 2009), cujas análises podem ser realizadas utilizando-se apenas um voltímetro de alta impedância conectado ao aço (terminal positivo) e a um eletrodo padrão cobre-sulfato de cobre. Este método de ensaio pode ser utilizado para a verificação qualitativa da probabilidade de corrosão de uma dada estrutura, sendo usual o registro de diversas medidas para o desenvolvimento de mapas de potencial de corrosão em uma edificação. Apesar da fácil aplicação e do baixo custo, a metodologia pode apresentar limitações em função do grau de umidade do concreto, do teor de oxigênio próximo à interface e da presença de microfissuras ou correntes parasitas, não sendo indicada para elementos muito secos, com barras revestidas, concretos carbonatados ou com cobertura superficial diferenciada (ASTM, 2009; GONZÁLEZ; MIRANDA; FELIU, 2004). O potencial de corrosão (E_{corr}) se baseia em uma técnica eletroquímica não destrutiva normalizada pela ASTM C-876-87 que mede a probabilidade de a armadura estar passando pelo processo de corrosão. A Tabela 3 exhibe os valores referência para avaliação da probabilidade de corrosão baseada no potencial medido (ASTM C-876-879, 1991 *apud* DURAR CYTED, 2000).

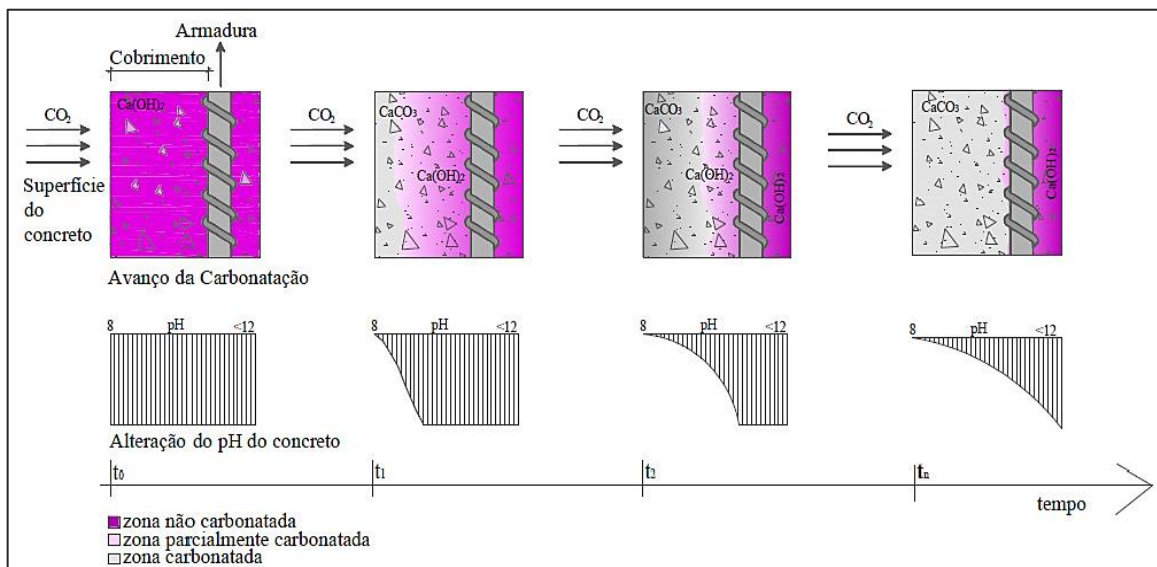
Tabela 3 – Critérios de avaliação do potencial de corrosão.

Potencial de Eletrodo (mV)	Probabilidade de Corrosão
$E > -200$	< 5%
$-200 > E > -350$	Incerta (50%)
$-350 > E$	> 95%

Fonte: ASTM C-876-879, 1991 (*apud* DURAR CYTED, 2000) Modificado por SILVA (2017).

O teste de verificação da profundidade de carbonatação é uma técnica que avalia fenômenos que podem favorecer a corrosão em concreto armado, por secções microscópicas, em que a dupla refração sofrida pelo carbonato de cálcio produz uma cor clara, podendo contrastar com a pasta de cimento endurecido, que aparece escura, como material isotrópico (RIBEIRO; CUNHA, 2014). Na Figura 2 é constatado que o início da carbonatação se dá na superfície em direção ao interior do concreto, mudando a alcalinidade e a estrutura porosa do concreto. Com o avanço da carbonatação identifica-se três zonas distintas: a primeira, mais próxima à superfície, carbonatada, a segunda parcialmente carbonatada, e a terceira não carbonatada, com o pH de aproximadamente 8,3, 10 e >12,5, respectivamente (POSSAN, 2010).

Figura 2 – Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo.



Fonte: POSSAN (2010).

A técnica da fenolftaleína ou timolftaleína como indicadores de pH, é considerado o método mais coerente para fins de consultoria. As áreas de ensaio são habitualmente as mais expostas ao meio ambiente e cujo grau de exposição é mais elevado. Estas zonas são por sua vez submetidas a um determinado número de ensaios que nos permitirá conhecer a real extensão da frente de carbonatação. O ensaio tem carácter semi-destrutivo, devido à execução de um furo ou “abertura” que deverá ter uma extensão superior ao recobrimento das armaduras. Inclusive, segundo Amorim (2010), deve-se haver uma atenção especial ao coletar a amostra para análise, pois não deve ser serrada ou molhada, a amostra ideal é obtida por quebra. A limpeza da zona de ensaio é outro ponto fundamental, visto que tem o objetivo de tentar remover as poeiras e o concreto solto.

Após a preparação da área de ensaio, utilizar-se-á um borrifador com a solução de fenolftaleína para molhar as superfícies. Após este procedimento, verificar-se-á a coloração local, que indica a profundidade de carbonatação. De acordo com Silva (1995), as regiões mais alcalinas apresentam cor violeta ou cor azul, quando é usado fenolftaleína ou timolftaleína, respectivamente.

Outra técnica bastante aplicada é a galvanoplastia ou eletrodeposição, também conhecida como “metais de sacrifício”, onde se utiliza um metal para ser oxidado no lugar do ferro (KÜCHLER, 2004). Nele, aplica-se um revestimento metálico, colocando-o como cátodo (pólo negativo) em um circuito de eletrólise. Esse metal perde elétrons para o ferro, mantendo-o protegido.

A técnica de ruídos eletroquímicos ou emissão acústica, avalia o estado de corrosão de estruturas de concreto armado no princípio do fato de que existem flutuações no potencial de corrosão ou na densidade de corrente ao longo do tempo que podem ser relacionadas com o início e o desenvolvimento do estado corrosivo, isso segundo Eden e Rothwell (1992). Durante o processo de aplicação desta técnica, os impulsos são gerados espontaneamente no processo corrosivo, e podem



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emilly Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva, Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior, Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

possibilitar a identificação do tipo de corrosão e, posteriormente, a fissuração do concreto adjacente (GOWERS; MILLIARD, 1999). E Cole e Watson (2005) apontam que há boa concordância entre o aumento da emissão de energia acústica e o início do processo corrosivo.

2.5 TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS DE REABILITAÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

O processo de reabilitação das estruturas de concreto armado torna-se uma atividade complexa que exige um conhecimento profundo do comportamento dos materiais e das técnicas executivas. A reabilitação de estruturas pode ser realizada através de métodos tradicionais ou eletroquímicos. As técnicas tradicionais entendem-se o método destrutivo que consistem na eliminação do concreto contaminado, substituindo-o por novos materiais especialmente formulados para reabilitação. E a reparação localizada e os métodos eletroquímicos são técnicas utilizadas, que devido à contaminação do concreto por íons cloreto (LOURENÇO, 2014), englobam a proteção catódica, a realcalinização e a extração de íons cloreto, na maioria das vezes sem necessidade de demolições e reconstituições de parte do elemento estrutural.

A proteção catódica é um método que utiliza a circulação de corrente contínua entre um eletrodo (ânodo) exposto ao ambiente e o metal a proteger (cátodo) para o controle da corrosão. Na forma de aplicação desta técnica por ânodo galvânicos, o metal a proteger é ligado diretamente a um metal mais ativo (ânodo de sacrifício), que se dissipa gradualmente libertando elétrons, gerando corrente elétrica entre os dois metais. Já a aplicação por corrente impressa, utiliza-se um ânodo inerte e uma fonte exterior de alimentação de corrente contínua. E a proteção catódica efetiva consiste na supressão das reações anódicas, através da aplicação de uma corrente oposta, forçando as zonas catódicas locais a serem polarizadas ao potencial das zonas anódicas, eliminando o fluxo de corrente entre as zonas anódicas e as catódicas, conforme Mears e Brown (1938). A termodinâmica diz que a aplicação da corrente de proteção reduz a velocidade de corrosão de um metal, baixando o potencial, para valores inferiores ao potencial de equilíbrio do metal no ambiente exposto.

A dessalinização ou extração eletroquímica de cloretos é um método eletroquímico que se aplica temporariamente em estruturas de concreto contaminadas por cloretos, com o objetivo de removê-los, que consiste na aplicação de corrente elétrica contínua, entre a armadura do concreto (cátodo) e um ânodo externo aplicado na superfície do concreto e embebido numa solução eletrolítica; envolvendo processos físico-químicos: eletrólise, eletromigração iônica e eletromose. Conforme a European Committee for Standardization (2011), os critérios de finalização de tratamento deste método estabelecem no teor de cloretos no concreto; na quantidade de carga por unidade de área; e, na razão Cl^-/OH^- .

A realcalinização, mediante os estudos de Lourenço (2014), consiste em uma técnica que aplica a corrente elétrica contínua, entre a armadura do concreto (cátodo, negativo) e uma malha metálica externa (ânodo, positivo), encapsulada num eletrólito. Além disso, esta técnica resulta de



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emily Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva, Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior, Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

vários processos físico-químicos que ocorrem simultaneamente, mas a velocidades diferentes. A medição regular do pH dos corpos de prova, utilizados nos testes, através de solução alcoólica de fenolftaleína é verificada, e o final do tratamento, o circuito elétrico é interrompido, o ânodo e suporte removidos, e a superfície limpa, e pronta para a aplicação de pintura ou revestimento final.

O procedimento de reabilitação por meio de colagem de chapas metálicas ao concreto reforça os elementos estruturais, conforme Souza e Ripper (1998), em que a utilização de resinas com altas capacidades de aderência e resistência mecânica, à estas peças confirmam o teste eficaz. Estas resinas epóxi são as que apresentam melhores resultados na adesão do perfil metálico à estrutura de concreto.

Segundo Souza e Ripper (1998), entre os principais processos de reabilitação (recuperação/reforço) estrutural em concreto armado destacam-se: o encamisamento, com a substituição do material danificado com ou sem aumento da seção transversal; utilização de compósitos reforçados com fibras de carbono (CFRP); perfis metálicos colados com resina epóxi com ou sem a introdução de conectores (pinos, chumbadores ou parafusos); entre outros. E esse encamisamento de elementos consiste na substituição do material danificado com ou sem ampliação da seção transversal, perfis em aço soldados com resina epóxi com ou sem conectivos (pinos de aço, chumbadores (mecânicos, químicos parafusos autofixantes).

2.6 MÉTODOS DE PROTEÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Segundo Daniel Vêras Ribeiro e Manuel Paulo Teixeira Cunha (2014), a proteção do aço pelo concreto é feita por barreira física, uma camada de recobrimento, e por ação química que resulta dos valores de pH característico do concreto que permitem o desenvolvimento de um filme de passivação sobre a armadura.

As principais medidas adicionais utilizadas para proteger a armadura do concreto armado contra a corrosão, segundo M. Zita Lourenço e Carlos Alberto Caldas de Souza (2014), são: utilização de aditivos inibidores de corrosão; proteção catódica da armadura; revestimento da armadura através de um depósito à base de zinco ou de uma camada polimérica; substituição da armadura de aço carbono por materiais resistentes à corrosão, tais como o aço inoxidável, e compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro, além do revestimento do concreto com recobrimentos protetores.

Os inibidores de corrosão têm como função agir para atrasar o processo corrosivo, prolongando a vida útil das estruturas, de forma a se difundir através do concreto até o local que se encontra a armadura, elevando assim a resistência à corrosão. Os inibidores também podem ser classificados conforme a sua característica de absorção (sejam anódicos, catódicos ou mistos), de formação de filme passivo (atuam bloqueando a superfície do metal), e de passivação (estabilidade do filme de passivação), segundo Elsener (2001). Os principais tipos usados em estruturas de concreto armado são os nitritos e as misturas de aminas e alcanolaminas; podendo ser orgânicos e/ou inorgânicos, compostos ou não.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emilly Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva, Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior, Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

As estruturas de concreto armado devido ao meio ambiente as quais estão expostas ou por problemas de qualidade na construção, sofrem deterioração na sua armadura de aço. E uma forma de controlar este processo de corrosão e restabelecer, com o tempo, as condições passivas é implementar a proteção catódica; e, bem como para impedir o início da corrosão, estabilizando o filme passivo, adota-se uma prevenção catódica. Esses dois métodos consistem na aplicação permanente de corrente elétrica contínua, de baixa intensidade, entre as armaduras do concreto e um ânodo externo. E a polarização do aço no estado passivo é mais propício do que no estado ativo, conforme Lazzari (2006).

A utilização de aço galvanizado em estruturas de concreto armado é uma forma de proteção da armadura de aço contra a corrosão. Este método consiste em revestir, em imergir a armadura em um banho de substrato de zinco fundido a uma temperatura entre 440°C a 480°C, em que a imersão a quente resulta na formação de uma camada externa de zinco (Zn), uma película de baixa permeabilidade sobre a superfície do depósito que reduz a corrente de corrosão a níveis desprezíveis. Segundo Souza e Lourenço (2014), os principais efeitos causados pela utilização da armadura de aço galvanizado na melhoria do desempenho de estruturas de concreto armado correspondem a formação de produto de corrosão com menor volume; maior resistência da armadura galvanizada à corrosão generalizada; e, maior resistência da armadura galvanizada à corrosão em ambiente marinho

Outro método é o revestimento de epóxi, que funciona como uma barreira física entre a superfície da armadura e os agentes corrosivos, cloreto e oxigênio, presentes no concreto. Além disso, esse tipo de revestimento apresenta uma elevada resistência elétrica, impedindo que o fluxo de elétrons possa contribuir para a corrosão eletroquímica. Este revestimento epóxi, que constitui em resina monômetro de epóxi e o catalisador, cobre barras de reforço de aço deformadas e simples com revestimento protetor de epóxi aplicado pelo método de pulverização eletrostática. A desvantagem da utilização deste método é a deterioração de revestimento em uma corrosão em frestas, proveniente da baixa aderência do revestimento com o concreto, diminuição da aderência do revestimento à superfície do aço, e presença de falhas no revestimento devido o processo de concretagem ou manuseio inadequado da armadura revestida (LOURENÇO; SOUZA, 2014).

2.7 DETERIORAÇÃO MONITORAMENTO DA CORROSÃO EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

A inspeção visual periódica é o método mais simples e econômico para o gestor de uma obra de concreto armado manter sobre controle as condições de conservação; mas este procedimento só permite a constatação da degradação no estágio mais avançado, quando já se manifestaram a fissuração ou o descolamento do cobrimento.

O monitoramento das estruturas de concreto armado possibilita que o risco de corrosão seja estimado ao longo dos anos de sua utilização. Com o conhecimento desse risco, intervenções de



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emily Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva, Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior, Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

prevenção da corrosão ou de controle da corrosão já estabelecida podem ser programadas e realizadas em períodos adequados.

Os sistemas integrados de monitorização da corrosão das armaduras são constituídos por vários tipos de sensores instalados nas estruturas. Estes sensores são do tipo de corrente galvânica, potencial de corrosão, resistividade do betão e por termómetros.

O acompanhamento e previsão da corrosão das armaduras pode ser feito por um monitoramento do potencial de corrosão que regista as mudanças no processo eletroquímico de corrosão, em que os valores indicam o balanço entre a reação anódica e a catódica, sem resultados referentes à velocidade de corrosão da armadura (RIBEIRO; CUNHA, 2014).

A corrente galvânica aparece quando, em um mesmo meio condutivo, se faz o contato elétrico entre dois metais distintos ou entre dois metais similares, porém em estados distintos (estado ativo ou passivo) decorrentes das alterações do meio junto a um dos metais (NACE 3T199: 1999). Esta corrente galvânica gerada no circuito formado por dois metais pode ser detectada por um amperímetro de resistência nula e analisada para se obter dados sobre a probabilidade de corrosão na armadura de reforço.

A velocidade de corrosão das armaduras e, portanto, a velocidade de degradação do concreto armado ou betão armado muito influenciada pela temperatura, pela humidade e pelo acesso de oxigénio, reconhece-se que uma adequada compreensão sobre o processo de deterioração e, portanto, do estado do betão, só pode ser alcançado através do estudo do histórico de alterações temporais e sazonais que ocorrem na zona do betão de recobrimento. A obtenção de informação relevante requer a realização de várias campanhas experimentais com periodicidades criteriosamente escolhidas. Outra abordagem que tem vindo a ser desenvolvida consiste na introdução de sensores embebidos no betão de recobrimento durante a fase de construção ou na sequência de trabalhos de reparação. Este tipo de sensores, desenhados de modo a medir os parâmetros relevantes para a durabilidade, são habitualmente ligados a sistemas de aquisição automática de dados, sendo assim possível obter informação com grande detalhe, em tempo real, sobre a evolução da degradação das estruturas por corrosão das armaduras (PEREIRA; SALTA, 2012).

3. METODOLOGIA

A abordagem utilizada neste projeto de pesquisa deságua em uma revisão bibliográfica narrativa, consistindo em levantamento teórico sistemático do processo de corrosão da estrutura de aço do concreto armado, bem como em uma apresentação analítica exploratória, descritiva e bibliográfica dos métodos e técnicas de recuperação, proteção e monitoramento desta manifestação patológica, juntamente com o procedimento de compilação e agrupamentos de dados.

A proposta deste presente estudo expõe conclusões importantes e conexas, com base em um problema de pesquisa específico, se faz necessário um procedimento metodológico guiado pela pesquisa qualitativa e pela análise das informações coletadas (MARCONI; LAKATOS, 2017).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emilly Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva, Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior, Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

Na etapa 1, Pesquisa Bibliográfica, executa o levantamento inicial teórico envolvendo as palavras-chaves “oxidação, concreto armado, patologias, métodos e técnica”. E mediante a fundamentação em artigos, livros e conteúdo de autores de reconhecimento científico, analisar e comparar as informações sobre a processo de oxidação da armadura de aço dos elementos estruturais de uma edificação.

Na etapa 2, Delimitação de Objeto de Estudo, estabelece a compreensão geral básica da corrosão nos elementos de concreto armado, de forma a proceder na recuperação, proteção e acompanhamento desses elementos estruturais em estágio de oxidação, de forma segura estruturalmente.

Na etapa 3, Coleta de Dados, realiza a compactação panorâmica bibliográfica sistematizada da corrosão nos elementos estruturais. Investigação das técnicas eletroquímicas que favorecem a apresentação avaliativa das causas e níveis de extensão de deterioração; como também, compilação dos métodos para proteção da armadura do concreto armado, pela utilização dos aditivos inibidores de corrosão; proteção catódica da armadura; revestimento da armadura através de um depósito à base de zinco ou de uma camada polimérica; substituição da armadura de aço carbono por aço inoxidável e compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro; de fato, contribuirá para e feito protetor esperado. Além disso, comparar de forma sucinta os procedimentos proveitosos para o ramo da construção civil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A sistematização da corrosão nos elementos estruturais, nos seus aspectos teóricos e conceituais possibilita a certificação e aprovação dos métodos e técnicas para tratamento de armadura em aço nas estruturas de concreto, no combate a perda da durabilidade e envelhecimento precoce das edificações existentes. E este estudo, conforme identificação do nível da patologia e meio exposto, há procedimentos vantajosos para o setor da construção civil.

As técnicas eletroquímicas, realizadas tanto em laboratório quanto em campo, favorecem para a apresentação avaliativa do estado de corrosão. E a veracidade dos métodos de aditivos inibidores de corrosão; proteção catódica da armadura; revestimento da armadura através de um depósito à base de zinco ou de uma camada polimérica; substituição da armadura de aço carbono por aço inoxidável e compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro; de fato, contribui para e feito protetor esperado.

Para López *et al.* (2007), a intervenção e manutenção asseguram o desempenho correto da estrutura e o cumprimento de sua vida útil de serviço Segundo a Lei de Evolução dos Custos, quanto mais cedo se realiza uma correção ou intervenção, menos oneroso é o custo.

Essa etapa deve basear-se no diagnóstico estipulado pelo Relatório Final para definir os procedimentos de proteção da estrutura, que são métodos capazes de controlar as causas da deterioração ou perda de desempenho da estrutura de concreto (FRANCO; REGGIARDO; PEREIRA, 2003).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emilly Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva, Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior, Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

O potencial de corrosão, por exemplo, apresenta a vantagem de ser sensível para identificar se a armadura passa do estado passivo para o ativo de corrosão (ou seja, mudanças no estado superficial da armadura), através da mudança dos valores de potencial ao longo do tempo; enquanto a técnica de resistência à polarização detecta a cinética do processo de corrosão, indicando a sua velocidade, além de ser possível identificar a perda de massa da ferragem. Assim, é possível notar que uma das diferenças entre essas duas técnicas é que enquanto a primeira coleta dados qualitativos (se há ou não corrosão), a segunda detecta dados quantitativos (sendo possível mensurar a corrosão). O potencial de corrosão, então, além de utilizar um equipamento de baixo custo, é um método útil na identificação de áreas com grande risco de corrosão, apresentando também a vantagem de detectar zonas passivas, ou seja, aquelas onde a probabilidade de ter corrosão é baixa. Essas zonas são dificilmente detectadas pela técnica de resistência à polarização. Segundo CASCUDO (1997), no entanto, o potencial de corrosão possui limitações na leitura correta de potencial em casos onde a espessura do revestimento da estrutura é alta, pontos em que há presença de umidade (locais mais úmidos tendem a apresentar valores mais negativos de potencial e locais mais secos, valores mais positivos) e regiões onde há presença de cloreto (tende a tornar os potenciais mais negativos) ou de carbonatação (tende a tornar os potenciais mais positivos), resultando em valores bastante distorcidos.

Figura 3 – Exemplos de instalação dos ânodos nos locais onde a corrosão já foi detectada pelas medições dos potenciais de corrosão, mas ainda não aflorou.

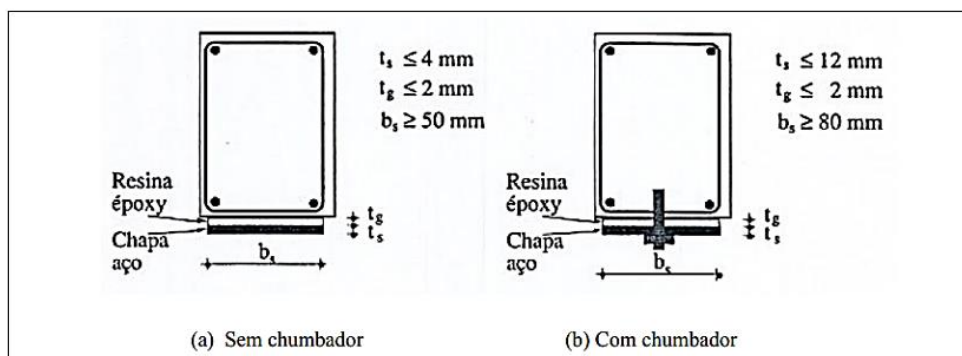


Fonte: IEC Engenharia.

Sobre o uso de perfis metálicos colados com resina epóxi sem ou com conectores, objetivando a real necessidade do uso de adesivo ou parafusos ou ainda da solução conjunta, Campagnolo, Campos Filho e Silva Filho (1997) observaram que a fixação somente com parafusos permitiu o deslizamento da chapa em relação ao elemento, concluindo que a resina é necessária para garantir

um bom desempenho, não recomendando a solução por fixação somente com parafusos, embora o uso destes, no aspecto operacional, é extremamente útil no quesito fixação da chapa e na redistribuição, tanto de tensões tangenciais como de cisalhamento.

Figura 4 – Reforço de viga à flexão com chapas metálicas.



Fonte: APPLENTON e GOMES (1997).

Sobre o encamisamento dos elementos, o sucesso da reabilitação depende da boa aderência entre o concreto novo e o velho e da capacidade de transferência de tensões entre eles, constituindo um único e solidário elemento. As características como resistência e módulo de elasticidade do concreto velho, devem ser consideradas ao se projetar o concreto novo, destacando-se que a preparação adequada das superfícies de ligação é primordial para o bom desempenho das peças reconstituídas (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 5 – Armadura do reforço por encamisamento.



Fonte: (M2P Engenharia (2021)).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emily Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva, Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior, Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

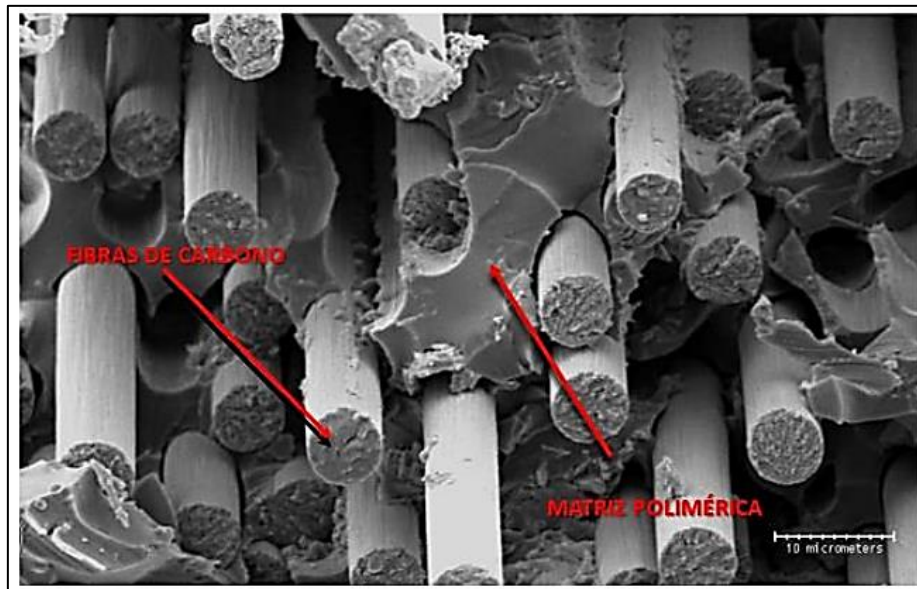
Para o caso de grandes estruturas, o sistema de proteção catódica mais indicada pode ser o sistema do tipo por corrente impressa, onde são utilizados ânodos inertes especiais alimentados por um ou mais retificadores de corrente. A definição do método mais indicado de proteção catódica (galvânica ou por corrente impressa) depende de um estudo criterioso, onde são analisadas as vantagens técnicas e econômicas de cada um deles, para cada caso em particular. A utilização de proteção catódica com o uso de ânodos galvânicos (proteção catódica galvânica) ou com ânodos inertes e retificadores de corrente (proteção catódica por corrente impressa) é a uma solução muito importante, que permite garantir resultados confiáveis ao longo dos anos, sendo uma ferramenta de fundamental importância na tarefa de prolongar a vida útil das estruturas de concreto Mears e Brown (1938).

Marcelli (2007) evidencia que as recuperações e os reforços estruturais sobre estruturas de concreto armado devem obedecer a uma criteriosa conduta durante a preparação e a limpeza do substrato, estes procedimentos iniciais são obrigatórios previamente à execução do reforço ou da restauração. De nada resulta a utilização de sistemas e materiais adequados sem a preparação suficiente do substrato, tal necessidade influencia o sucesso decorrente do serviço, de forma a comprometer substancialmente a própria restauração ou o reforço.

Os sistemas compostos estruturados com fibras de carbono ou compósitos de fibra de carbono apresentam uma série de características que são de interesse para um reforço estrutural, as quais destacar (MACHADO, 2011):

- Elevada resistência mecânica e rigidez (elevado módulo de elasticidade);
- Bom comportamento à fadiga e à atuação de cargas cíclicas;
- Resistência à ataques químicos;
- Impossibilidade de sofrerem corrosão, uma vez que são matérias inertes;
- Extremamente leve uma vez que possui massa específica em torno de 1,6 a 1,9 g/cm³, em torno de 5 vezes inferior se comparada ao aço. São tão leves que, para efeito de cálculos e verificações, possuem seu peso próprio desprezado;
- Estáveis termicamente e reologicamente;
- O valor da temperatura de transição vítrea situa-se na faixa de 80°C a 100°C.

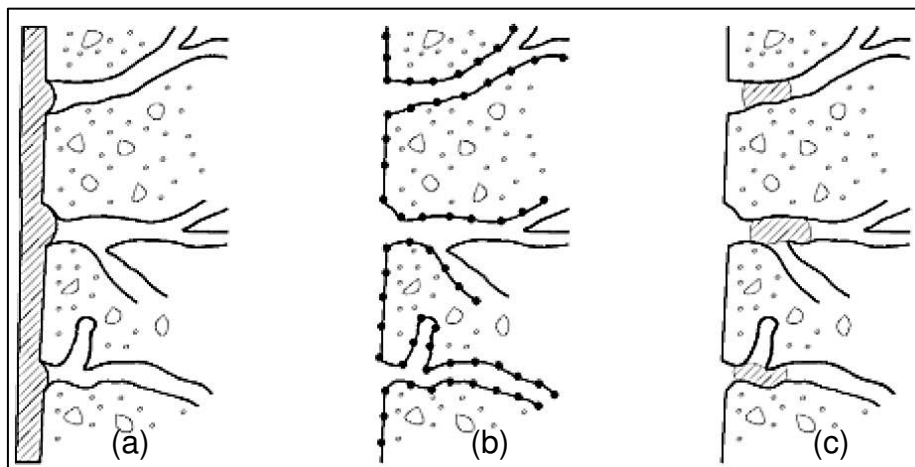
Figura 6 – Ampliação por microscópio eletrônico de composto estruturado de fibras de carbono.



Fonte: MACHADO (2009).

Segundo Meira (2017), os tratamentos superficiais sobre o concreto dificultam a entrada de agentes agressivos no seu interior, mas ainda permitindo que ocorra a saída de vapor de água; na Figura 7 é observado três tipos de tratamentos superficiais. E a utilização dos inibidores de corrosão, quando em concentração adequada em um sistema de corrosão, reduz a atividade de corrosão sem alterar a concentração do agente agressivo. Quando adicionados esses inibidores no concreto fresco, esses materiais atuam como prevenção à corrosão e, em geral, são utilizados em estruturas que são submetidas a ambientes de elevada agressividade ambiental. Já quando adicionados no concreto endurecido, esses inibidores atuam como um tratamento preventivo (caso ainda não haja corrosão) ou como tratamento corretivo, de forma a reduzir o processo de corrosão. Em ambos os casos, os inibidores são capazes de chegar até a armadura, em quantidade suficiente para protegê-la da corrosão ou auxiliar na redução da velocidade de corrosão de um processo corrosivo já em andamento.

Figura 7 – Tipos de tratamentos superficiais: (a) pinturas e selantes, (b) hidrofugantes, (c) bloqueadores de poros. **Fonte:** MEIRA (2017).



A corrosão é um processo eminentemente eletroquímico, desse modo as metodologias empregadas para avaliação dela devem contemplar os mecanismos de corrosão eletroquímica (eletrodo, eletrólito, diferença de potencial, condutor). E a técnica do potencial tem sido o mecanismo mais utilizado para avaliar o desempenho da corrosão em estruturas de concreto e tem apresentados resultados satisfatórios no monitoramento das estruturas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa possibilitou uma análise sobre as diversas técnicas e métodos de reabilitação, proteção e monitoramento da corrosão, com efeito eficiente e eficaz, conforme a necessidade em que se apresente a manifestação patológica na obra em questão. Além disso, ao se compreender as causas e origens dessa problemática, pode-se traçar critérios preventivos para garantir o desempenho das edificações, corroborando com a constante evolução do processo produtivo e o correto uso das edificações.

Os projetos de pesquisa futuros referentes ao tema, fortalecerão o estudo de roteirização das intervenções nas estruturas de concreto armado, bem como as estratégias de avaliação das estruturas, em sua reabilitação, para a formulação de guia que garanta a correta prescrição e execução. E, em toda edificação, é recomendável possuir um programa eficiente de inspeção e manutenção para assegurar a durabilidade da estrutura e a otimização dos recursos.

A necessidade de investimentos neste setor, com finalidade para que a ocorrência destas reações de oxirredução seja cada vez menor, acarretando ganho financeiro para o país e para indústria da construção civil, é indispensável, logo, o objetivo são obras mais seguras e duráveis.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emily Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva,
Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior,
Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. p. 238.
- ALMEIDA, Fernando do Couto Rosa. Efeitos da ação do meio ambiente sobre as estruturas. *In*: RIBEIRO, Daniel Vêras. (Org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado**: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Cap.4.
- AMORIM, A. A. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado Aparentes**. 2010. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2010.
- ASTM C 876-09. **Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete**. Estados Unidos: Standard Worldwide. 2009.
- BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção**: patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- CAMPAGNOLO, J. L.; CAMPOS FILHO, A.; SILVA FILHO, L. C. P. Alternativas para reforço de vigas de concreto armado: estudo teórico e experimental. *In*: JORNADAS SULAMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 28, 1997, São Carlos, SP. **Anais [...]**. 1997.
- CASCUDO, Oswaldo. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**. 2. ed. Goiânia: PINI e UFG, 1997. 237 p.
- CHUST, R. C.; FIGUEIREDO, F, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4. ed. São Carlos: EdUFScar, 2016.
- COLE, P.; WATSON, J. Acoustic Emission for Corrosion Detection. *In*: **3th MENDT-Middle East Nondestructive Testing Conference & Exhibition**, p. 27-30, Bahrain, Manama, 2005.
- CUNHA, Manuel Paulo Teixeira; RIBEIRO, Daniel Vêras. Deterioração das Estruturas de Concreto Armado. *In*: RIBEIRO, Daniel Vêras. (Org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: teoria, controle e métodos de análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Cap.6.
- CUNHA, Manuel Paulo Teixeira; RIBEIRO, Daniel Vêras. Técnicas de Avaliação e Monitoramento da Corrosão em Estrutura de Concreto Armado. *In*: RIBEIRO, Daniel Vêras. (Org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Cap. 8.
- EDEN, D. A.; ROTHWELL, A.N. Electrochemical Noise Data: Analysis, Interpretation and Presentation. *In*: **Conference on Corrosion 92, NACE International**, paper 292, Houston, TX, 1992.
- ELSENER, B. **Corrosion Inhibitors for Steel in Concrete-a State of the Art Report**. London: EFC Publ. N35, IOM Communications, 2001.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Electrochemical Re-alkalization and Chloride Extraction Treatments for Reinforced Concrete-Part 2: Chloride Extraction**. [S. l.]: European Committee for Standardization, 2011.
- FELIU, GONZÁLEZ, J. A.; MIRANDA, J. M.; FELIU, V. Possibilities and problems of in situ techniques for measuring steel corrosion rates in large reinforced concrete structures. **Corrosion Science**, p. 217-238. 2005



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emily Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva, Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior, Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

FELIU, S. Principios de corrosión electroquímica y tipos de ataque. *In*: FERNÁNDEZ, J. A. G. (Ed.). **Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión**. Madrid: CSIC, 1984. p. 10-44.

FIGUEIREDO, E. P.; MEIRA, G. **Boletim Técnico 6 – Corrosão das Armaduras das Estruturas de Concreto**. [S. l.]: Alconpat Brasil, 2013.

FRANCO, J.; REGGIARDO, C.; PEREIRA, F. Procedimento de Proteção e Manutenção das Estruturas. *In*: **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Multipla, 2003. p. 429–523.

GOWERS, K. R.; MILLIARD, S. G. Electrochemical technology for corrosion assessment of reinforced concrete structures, **Civil Engineering Structures and Buildings**, v. 134, p. 129-134, 1999.

GROCHOSKI, Maurício; HELENE, Paulo. **Sistemas de reparo para estruturas de concreto com corrosão de armaduras**. São Paulo: EPUSP, 2008. 21 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP).

HELENE, P. Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto. *In*: HELENE, P.; PEREIRA, F. (Eds.). **Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto**. São Paulo: Sika, 2007. p. 17–32.

HELENE, Paulo. Introdução. *In*: RIBEIRO, Daniel Véras. (Org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: teoria, controle e métodos de análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Cap.1.

KÜCHLER, M. M. **Avaliação da metalização de polímeros pelo processo de magnetron sputtering: um estudo preliminar**. 2004. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LAZZARI, L.; PEDEFERRI, P. **Cathodic Protection**. Milano: Polipress, 2006. p. 291.

LÓPEZ, C. A. *et al.* Protección y Mantenimiento de Estructuras. *In*: **Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto**. São Paulo: Sika, 2007. p. 501–536.

LOURENÇO, M. Zita. Técnicas eletroquímicas para a reabilitação de estruturas. *In*: RIBEIRO, Daniel Véras. (Org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: teoria, controle e métodos de análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Cap. 9.

LOURENÇO, M. Zita; SOUSA, Carlos Alberto Caldas. Métodos de proteção e aumento da durabilidade do concreto armado. *In*: RIBEIRO, Daniel Véras. (Org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: teoria, controle e métodos de análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Cap. 7.

MACHADO, A. de P. **Manual de reforço das estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. [S. l.: s. n.], 2011. 120 p.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Pini, 2007.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 256 p.

MEARS R. B.; BROWN, R. H. A Theory of Cathodic Protection, **Transactions of the Electrochemical Society**, v. 74, p. 519-531, 1938.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO, PROTEÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
EM PROCESSO DE CORROSÃO: REVISÃO DE LITERATURA
Deybion Ribeiro Dourado, Emily Nascimento Mota Rodrigues, Gabriel Moraes da Silva,
Danielle de Cássia Santos de Viveiros, Marina Rafaella de Carvalho Sousa Bezerra, Ciguivon José de Oliveira Junior,
Alcineide Dutra Pessoa de Sousa, Diogo Ramon do Nascimento Brito

MEIRA, G. R. **Corrosão em Armadura em Concreto Armado**: Fundamentos, diagnóstico e prevenção. João Pessoa: IFPB, 2017. 130p.

NACE 3T199. **Techniques For Monitoring Corrosion And Related Parameters In Field Applications**. [S. l.: s. n.], 1999.

NEVILLE, A. **Propriedades do concreto**. 5. ed. São Paulo: Pini, 2016.

PEREIRA, Elsa Vaz; SALTA, M. Manuela. **Encontro Nacional Betão Estrutural - BE2012 FEUP**, 24-26 de outubro de 2012.

POSSAN, E. **Modelagem da Carbonatação e Precisão de Vida Útil de Estruturas de Concreto em Ambiente Urbano**. 2010. 263f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2010.

RIBEIRO, Daniel Véras. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. *In*: RIBEIRO, Daniel Véras. (Org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado**: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Cap. 3.

SILVA, Paulo Fernando A. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. São Paulo: Pini, 1995. 152 p. ISBN 85-7266-043-7

SOUSA, Carlos Alverto Caldas. Princípios da corrosão eletroquímica. *In*: RIBEIRO, Daniel Véras. (Org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado**: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Cap. 2.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 255 p.

VILLASBOAS, J.M.L. **Durabilidade das Edificações de Concreto Armado em Salvador**: uma contribuição para a implantação de NBR 6118:2003. 2004. 229f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologia Ambientais no Processo Produtivo) - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.