

Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Civil 4



Marcia Regina Werner Schneider Abdala

(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Civil 4

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
134	Impactos das tecnologias na engenharia civil 4 [recurso eletrônico] / Organizadora Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Civil; v. 4) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-543-3 DOI 10.22533/at.ed.433192008 1. Construção civil. 2. Engenharia civil. 3. Tecnologia. I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série CDD 690
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A construção civil é um setor extremamente importante para um país, e como tal é responsável pela geração de milhões de empregos, contribuindo decisivamente para os avanços da sociedade.

A tecnologia na construção civil vem evoluindo a cada dia e é o diferencial na busca da eficiência e produtividade do setor. A tecnologia permite o uso mais racional de tempo, material e mão de obra, pois agiliza e auxilia na gestão das várias frentes de uma obra, tanto nas fases de projeto e orçamento quanto na execução.

A tecnologia possibilita uma mudança de perspectiva de todo o setor produtivo e estar atualizado quanto às modernas práticas e ferramentas é uma exigência.

Neste contexto, este e-book, dividido em dois volumes apresenta uma coletânea de trabalhos científicos desenvolvidos visando apresentar as diferentes tecnologias e os benefícios que sua utilização apresenta para o setor de construção civil e também para a arquitetura.

Aproveite a leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
DURABILIDADE E DEGRADAÇÃO DE ADESIVOS ESTRUTURAIS UTILIZADOS EM SISTEMAS DE REFORÇO COM FRP DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	
Amanda Duarte Escobal Mazzú Mariana Corrêa Posterli Gláucia Maria Dalfré	
DOI 10.22533/at.ed.4331920081	
CAPÍTULO 2	14
INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE PRODUTO DE CURA QUÍMICA FORMADOR DE MEMBRANA NA PROFUNDIDADE CARBONATADA DO CONCRETO	
Alisson Rodrigues de Oliveira Dias Daniel Mendes Pinheiro Wilton Luís Leal Filho João Mateus Reis Melo	
DOI 10.22533/at.ed.4331920082	
CAPÍTULO 3	26
ESTUDO DE CASO DE PATOLOGIAS OBSERVADAS EM REVESTIMENTO EXTERNO DE FACHADA COM MANIFESTAÇÕES EM PINTURA DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL	
Amanda Fernandes Pereira da Silva Hildegard Elias Barbosa Barros Diego Silva Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.4331920083	
CAPÍTULO 4	39
ESTUDO DAS PRINCIPAIS PATOLOGIAS NA ESTRUTURA DA PONTE DO BRAGUETO EM BRASÍLIA - DF	
Erick Costa Sousa Juliano Rodrigues da Silva Marcelle Eloi Rodrigues Maysa Batista Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.4331920084	
CAPÍTULO 5	54
AÇÕES MITIGADORAS DA REAÇÃO ÁLCALIS AGREGADO COM EMPRESAS ATUANTES NO MERCADO IMOBILIÁRIO DO RECIFE	
Cristiane Santana da Silva Amâncio da Cruz Filgueira Filho Roberto de Castro Aguiar Klayne Kattiley dos Santos Silva Manueli Sueni da Costa Santos	
DOI 10.22533/at.ed.4331920085	

CAPÍTULO 6	66
CORROSÃO: MECANISMOS E TÉCNICAS PARA PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO	
Ariane da Silva Cardoso Thayse Dayse Delmiro Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani Eliana Cristina Barreto Monteiro Tiago Manoel da Silva Agra	
DOI 10.22533/at.ed.4331920086	
CAPÍTULO 7	87
ANÁLISE DE UMA CONSTRUÇÃO VERTICAL PÚBLICA EM ALVENARIA ESTRUTURAL NA CIDADE DO RECIFE-PE	
Amâncio da Cruz Filgueira Filho Iago Santos Calábria Bruno de Sousa Teti Lucas Rodrigues Cavalcanti Amanda de Moraes Alves Figueira Walter de Moarais Calábria Junior	
DOI 10.22533/at.ed.4331920087	
CAPÍTULO 8	97
INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS PRESENTES EM UMA PONTE NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE	
Romildo Alves Berenguer Yane Coutinho Lira Fernanda Cavalcanti Ferreira Thaís Marques da Silva Bráulio Silva Barros Joanna Elzbieta Kulesza	
DOI 10.22533/at.ed.4331920088	
CAPÍTULO 9	110
AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES TÉRREAS NA CIDADE DE TERESINA-PI	
Wendel Melo Prudêncio de Araújo Diego Silva Ferreira Hudson Chagas dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.4331920089	
CAPÍTULO 10	122
POLUIÇÃO VISUAL: ESTUDO DA QUALIDADE VISUAL DA CIDADE DE SINOP – MT	
Cristiane Rossatto Candido Renata Mansuelo Alves Domingos João Carlos Machado Sanches	
DOI 10.22533/at.ed.43319200810	

CAPÍTULO 11 134

LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: ESTUDO DE CASO NUMA EDIFICAÇÃO EM SALGUEIRO-PE

Rafael Filgueira Amaral
Amâncio da Cruz Filgueira Filho
Lucíolo Victor Magalhães e Silva
Bruno de Sousa Teti
Iago Santos Calábria
Walter de Moarais Calábria Junior

DOI 10.22533/at.ed.43319200811

CAPÍTULO 12 147

IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA E RECUPERAÇÃO DE FUNDAÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO EM RECIFE-PE

Bruno de Sousa Teti
Iago Santos Calábria
Amâncio da Cruz Filgueira Filho
Camila Fernanda da Silva Siqueira
Walter de Moarais Calábria Junior
Lucas Rodrigues Cavalcanti

DOI 10.22533/at.ed.43319200812

CAPÍTULO 13 159

ERROS CONSTRUTIVOS COMO ORIGEM DE PATOLOGIAS NO CONCRETO ARMADO EM OBRAS NA CIDADE DE SÃO JOÃO DO RIO DO PEIXE-PB

Kleber de Sousa Batista
Maria Aparecida Bezerra Oliveira
Rafael Wandson Rocha Sena

DOI 10.22533/at.ed.43319200813

CAPÍTULO 14 171

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DEVIDO A FALHAS NO PROCESSO PRODUTIVO DE ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO ARMADO

Pablo Luiz Oliveira Aguiar
Gabriel Diógenes Oliveira Aguiar
Danilo Teixeira Mascarenhas de Andrade

DOI 10.22533/at.ed.43319200814

CAPÍTULO 15 185

INSPEÇÃO PRELIMINAR E MONITORAMENTO DE EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA

Matheus Nunes Reis

DOI 10.22533/at.ed.43319200815

CAPÍTULO 16 199

INVESTIGAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM UM MURO DE CONDOMÍNIO RESIDENCIAL LOCALIZADO NA CIDADE DO RECIFE-PE

Bruno de Sousa Teti
Iago Santos Calábria
Amâncio da Cruz Filgueira Filho
Lucas Rodrigues Cavalcanti
Amanda de Moraes Alves Figueira
Walter de Moarais Calábria Junior

DOI 10.22533/at.ed.43319200816

CAPÍTULO 17 213

MÉTODOS E ENSAIOS UTILIZADOS PARA VALIDAÇÃO DE PATOLOGIA ESTRUTURAL EM PILARES DE CONCRETO ARMADO COM BAIXA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Robson Viera da Cunha
Itallo Mahatan Danôa Lima
Delio Leal e Silva
Flavio César Fernandes
Danilo Lima da Silva
José de França Filho

DOI 10.22533/at.ed.43319200817

CAPÍTULO 18 228

PATOLOGIA EM PAVIMENTOS INTERTRAVADOS: FABRICAÇÃO E ASSENTAMENTO

Gabriel Diógenes Oliveira Aguiar
Pablo Luiz Oliveira Aguiar
Danilo Teixeira Mascarenhas de Andrade

DOI 10.22533/at.ed.43319200818

CAPÍTULO 19 241

PATOLOGIAS NA ESTRUTURA DA ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL ARLINDO FERREIRA DOS SANTOS

Hosana Emilia Abrantes Sarmiento Leite
Edjanissa Kettilan Barbosa da Silva
Adri Duarte Lucena

DOI 10.22533/at.ed.43319200819

CAPÍTULO 20 257

REFORÇO ESTRUTURAL, MONOLITIZAÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO EM BLOCOS DE FUNDAÇÃO

Carlos Fernando Gomes do Nascimento
José Carlos Juvenal da Silva
Thaís Marques da Silva
Felipe Figueirôa de Lima Câmara
Manueli Suêni da Costa Santos
Dandara Vitória Santana de Souza
Cristiane Santana da Silva
Esdras José Tenório Saturnino
Igor Albuquerque da Rosa Teixeira
Marília Gabriela Silva e Souza
Carlos Eduardo Gomes de Sá Filho
Eliana Cristina Barreto Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.43319200820

CAPÍTULO 21	271
ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE RCD COMO AGREGADO GRAÚDO	
<ul style="list-style-type: none"> Brenno Tércio da S. Miranda Cícero Jefferson R. dos Santos Danylo de Andrade Lima Edmilson Roque da Silva Júnior Larissa Santana Batista Marcelo Laédson M. Ferreira Marco Antônio Assis de Oliveira 	
DOI 10.22533/at.ed.43319200821	
CAPÍTULO 22	288
ESTUDO SOBRE INSERÇÃO DE RASPAS DE PNEUS NO TIJOLO ECOLÓGICO FABRICADO NA REGIÃO DE TERESINA-PI	
<ul style="list-style-type: none"> Francisca das Chagas Oliveira Francisco Arlon de Oliveira Chaves Linarydy de Moura Sousa Marcelo Henrique Dias Sousa 	
DOI 10.22533/at.ed.43319200822	
CAPÍTULO 23	297
PROJETO SEPTICA – EXPERIÊNCIAS EM EXTENSÃO PARA O SANEAMENTO RURAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DA CACHOEIRA DO BRUMADO (MARIANA – MG)	
<ul style="list-style-type: none"> André de Oliveira Faria Aníbal da Fonseca Santiago Jefferson de Oliveira Barbosa Lívia de Andrade Ribeiro Thainá Suzanne Alves Souza Thaissa Jucá Jardim Oliveira 	
DOI 10.22533/at.ed.43319200823	
CAPÍTULO 24	310
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSAS	
<ul style="list-style-type: none"> Romildo Alves Berenguer Yane Coutinho Lira Fernanda Cavalcanti Ferreira Thais Marques da Silva Bráulio Silva Barros Joanna Elzbieta Kulesza 	
DOI 10.22533/at.ed.43319200824	
CAPÍTULO 25	322
CAUSAS PATOLÓGICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO EM UMA CONSTRUTORA DO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE	
<ul style="list-style-type: none"> Victor Nogueira Lima Gabriela Linhares Landim Larissa de Moraes Rocha 	
DOI 10.22533/at.ed.43319200825	
SOBRE A ORGANIZADORA.....	336
ÍNDICE REMISSIVO.....	337

CORROSÃO: MECANISMOS E TÉCNICAS PARA PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Ariane da Silva Cardoso

Universidade de Pernambuco – UPE
Recife – Pernambuco

Thayse Dayse Delmiro

Universidade de Pernambuco – UPE
Recife – Pernambuco

Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani

Universidade de Pernambuco – UPE
Recife – Pernambuco

Eliana Cristina Barreto Monteiro

Universidade de Pernambuco – UPE
Recife – Pernambuco

Tiago Manoel da Silva Agra

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Recife – Pernambuco

RESUMO: A corrosão de armaduras é uma das principais e mais onerosas manifestações patológicas relacionadas às estruturas de concreto armado, principalmente oriundas das ações dos íons cloretos e dos efeitos da carbonatação. Este capítulo aborda os mecanismos que levam a corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado, bem como elenca as principais técnicas de proteção e recuperação existentes. São discutidas quatro maneiras de combater ou prevenir a corrosão: substituição do material por outro mais resistente, modificação do meio

de exposição, revestimentos e através de técnicas eletroquímicas. Tais métodos podem prolongar a vida útil das estruturas, porém, deve-se conhecer os mecanismos e suas formas de aplicação, bem como os processos de deterioração das estruturas, visando especificar a melhor solução para cada situação.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto. Corrosão. Recuperação.

CORROSION: MECHANISMS AND TECHNIQUES FOR PROTECTION AND RECOVERY OF REINFORCEMENT IN CONCRETE STRUCTURES

ABSTRACT: Reinforcement corrosion is one of the main and most costly pathological manifestations related to reinforced concrete structures, mainly arising from the actions of chloride ions and the effects of carbonation. This chapter approaches the mechanisms that lead to the corrosion of reinforcements in reinforced concrete structures, as well as the main techniques of protection and recovery exist. Four ways of combating or preventing corrosion are discussed by replacing the material with a more resistant one, modifying the exposure environment, coatings and through electrochemical techniques. Such methods can extend the useful life of the structures, however, it is necessary to know the mechanisms and

their forms of application, as well as the processes of deterioration of the structures, aiming to specify the best solution for each situation.

KEYWORDS: Concrete. Corrosion. Recovery.

1 | INTRODUÇÃO

O concreto é parte integrante de praticamente todas as construções, de edificações residenciais a grandes obras de infraestrutura, como pontes e estradas. E ainda que existam outras opções, como estruturas em madeira ou metálica, o concreto armado é a técnica mais comumente utilizada para a construção de estruturas. De acordo com Mehta e Monteiro (2014), embora não se apresente tão resistente quanto o aço, o concreto possui resistência a agressões físicas e químicas do ambiente, mostra-se de fácil execução e adaptabilidade a qualquer forma de construção, possui menor custo e é mais facilmente produzido no canteiro de obra. Devido sua versatilidade, tornou-se o segundo material mais consumido no mundo, perdendo apenas para água (PEDROSO, 2009).

As armaduras inseridas em componentes estruturais de concreto estão, em condições normais, protegidas e passivadas contra o risco de corrosão. Esta proteção é possível tanto devido à espessura de cobrimento de concreto, que forma uma barreira física a entrada de agentes externos, quanto à proteção química conferida pela alta alcalinidade da solução aquosa presente nos poros do concreto (HELENE e RIBEIRO, 2014).

Entretanto, o concreto poderá apresentar inúmeras manifestações patológicas que são causadas por diversos fatores. Diversos pesquisadores como Barbosa *et al.* (2012), Helene e Ribeiro (2014), Mehta e Monteiro (2014), dentre outros, destacam que a corrosão de armaduras tem se mostrado um dos mais graves e frequentes problemas associados à durabilidade do concreto armado, comprometendo as estruturas tanto do ponto de vista estético, quanto do ponto de vista da segurança.

O problema da corrosão consome direta ou indiretamente cerca de 5% do PIB de uma nação industrializada, além de envolver grandes catástrofes quando não corretamente tratado (HELENE e RIBEIRO, 2014). Diante disto, faz-se necessário estudar não só as formas de prevenir o problema, como a forma correta de solucioná-lo, uma vez ocorrida a corrosão.

Esse capítulo aborda sobre os mecanismos que levam a corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado e elenca as principais técnicas de proteção e recuperação existentes.

2 | CORROSÃO DAS ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

“Corrosão pode ser entendida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, nas temperaturas usuais, acima de 5 °C e abaixo de 65 °C, como resultado de reações deletérias de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de deterioração” (RIBEIRO, 2018).

A corrosão do concreto armado pode estar associada a fatores físicos, biológicos, químicos ou mecânicos. Na pasta de cimento e no agregado, a deterioração predominante é por ação química, enquanto na armadura a corrosão ocorre por ação eletroquímica (MOTA, 2011). Ela ainda pode manifestar-se de diferentes formas, sendo a corrosão generalizada e a puntiforme os casos mais comuns. A primeira, em geral não provoca danos muito graves por afetar toda a extensão da armadura. A segunda, por se concentrar em pontos específicos, acaba sendo mais danosa causando a perda do desempenho estrutural, podendo acarretar uma ruptura frágil em seção definida sem aviso.

Os efeitos degenerativos provenientes da corrosão levam a um comprometimento da segurança estrutural ao longo do tempo, e manifestam-se na forma de manchas superficiais, seguidas por fissuras, destacamento do concreto de cobertura, redução da seção das armaduras com frequente seccionamento de estribos e redução e eventual perda de aderência das armaduras principais (RIBEIRO, 2018).

As armaduras de aço do concreto armado são protegidas contra a corrosão pelo fenômeno da passivação do aço, devido a grande alcalinidade do concreto, onde o pH da água existente nos poros atinge valores superiores a 12.5, formando na superfície das barras de aço uma camada microscópica impermeável de óxido de ferro, que constitui a chamada película passivadora (FUSCO, 2012).

A corrosão das armaduras dentro do concreto somente poderá ocorrer se a película passivadora for destruída, o que pode acontecer de forma generalizada em consequência das seguintes causas:

- redução do pH abaixo de 9, por consequência da carbonatação da camada de cobertura da armadura;
- presença de íons cloretos ou de poluição atmosférica acima de um valor crítico;
- lixiviação do concreto na presença de fluxos de água que percolem através de sua massa (FUSCO, 2012).

2.1 Mecanismos da corrosão de armaduras

Para que as armaduras de aço do concreto sofram corrosão, é preciso a presença de umidade e oxigênio. Portanto, não haverá corrosão se o concreto estiver totalmente seco ou totalmente saturado. Além desses fatores, para que se inicie a corrosão, é preciso que haja a despassivação da armadura, o que ocorre, segundo Cascudo

(2005), frente a pelo menos uma das duas condições básicas seguintes:

- presença de cloretos em quantidade suficiente;
- diminuição da alcalinidade do concreto, que ocorre principalmente pelas reações de carbonatação.

A corrosão eletroquímica ou aquosa é a que traz problemas às obras civis, segundo Cascudo (1997). “Trata-se de um ataque de natureza eletroquímica, que ocorre em meio aquoso, como resultado da formação de uma pilha ou célula de corrosão, com eletrólito e diferença de potencial entre trechos da superfície do aço.” O eletrólito que se constitui de uma solução carregada ionicamente, forma-se a partir da presença de umidade no concreto.

Diferentes intensidades de adensamento do concreto, diferenças de aerações, de umidade ou de concentrações salinas ocasionam a diferença de potencial (SILVA, 2006).

Essas pilhas se caracterizam pela existência de uma área anódica, onde se tem a redução de seção devido à reação de oxidação, e pela presença de uma área catódica, onde ocorre a reação de redução de oxigênio. Ambas as reações eletroquímicas (reações red-oxi) ocorrem simultaneamente e não ocorre uma sem a existência da outra (CASCUDO, 2005).

Em síntese, para que ocorra a corrosão eletroquímica há necessidade de 4 elementos:

- Condutor: que é a própria barra de aço que integra a armadura;
- Água: para constituir o eletrólito e conduzir os íons;
- Oxigênio: para a formação dos produtos de corrosão; e
- Diferença de potencial entre dois pontos: para formar duas regiões distintas, ou seja, uma região anódica e outra catódica, conforme mostra a Figura 1.

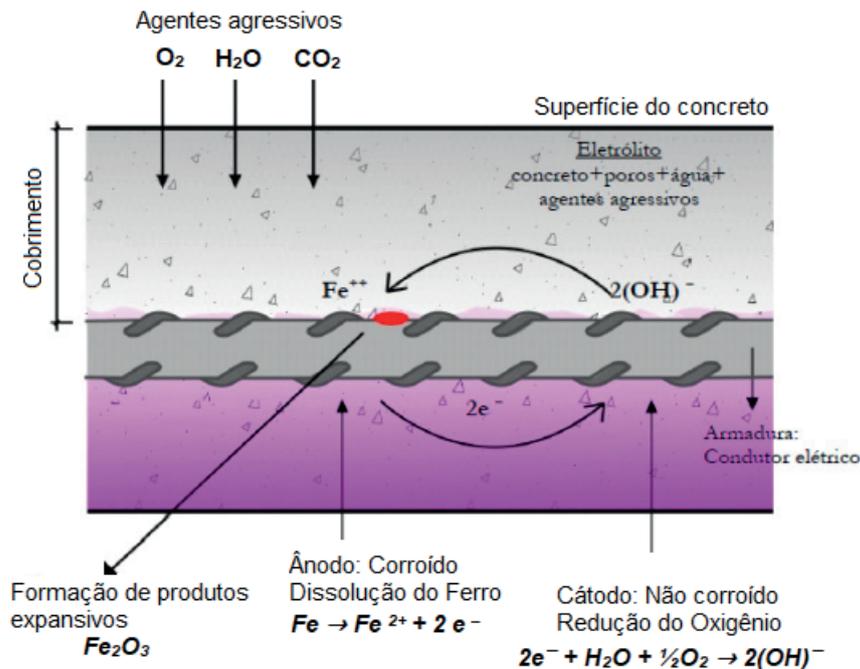
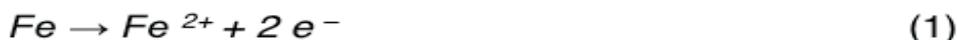


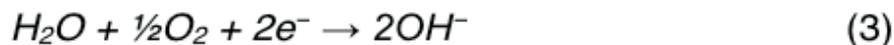
Figura 1 - Esquema simplificado da pilha de corrosão do concreto

Fonte: CEB 152 (1984) apud Possan (2010).

A reação anódica (na zona corroída) ocasiona a dissolução do ferro (oxidação) pela passagem dos íons Fe^{2+} ou íons Cl^- para a solução e pode ser expressa por:



Já na reação catódica (na zona não corroída) o ferro funciona como simples eletrodo, junto do qual os elétrons liberados pelo ânodo passam para a solução fechando-se um circuito elétrico e então ocorrem as reações de redução de oxigênio, expressas por:

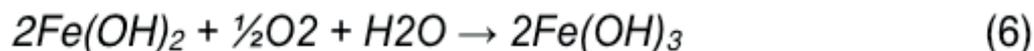


(Reação de redução em meio aerado)



(Reação de redução em meio não-aerado)

Segundo Cascudo (2005), a partir daí os íons hidroxila (OH^-) migram pelo eletrólito em direção ao ânodo e os íons Fe^{2+} migram em direção ao cátodo, onde se encontram em uma região intermediária e reagem entre si formando produtos insolúveis e expansivos, o hidróxido ferroso (produto da corrosão, comumente chamado de ferrugem), conforme as Equações 5 e 6 e pode ser formado inclusive em regiões próximas do cátodo pois o OH^- apresenta menor mobilidade iônica do que o íon de ferro.



(Produto da corrosão em meio aerado)

2.2 Fatores que influenciam no processo de corrosão

Alguns fatores, características e propriedades do concreto estão relacionados à maior ou menor intensidade do fenômeno da corrosão de armaduras em seu interior. Segundo Cascudo (1997), são eles:

- **Cobrimento:** Considera-se o cobrimento um elemento de grande importância, pois além de representar uma barreira física contra os agentes agressivos, oxigênio e umidade, o cobrimento adequado garante o meio alcalino para proteção química das armaduras. Nos projetos de estruturas, o cobrimento é calculado de acordo com a agressividade do meio em que a estrutura estará inserida, mas também deve ser considerado a qualidade do concreto (relação água/cimento).
- **Temperatura:** A temperatura apresenta um duplo papel nos processos de deterioração das estruturas. Por um lado, o aumento de temperatura promove um incremento da velocidade de corrosão e da mobilidade das moléculas, favorecendo seu transporte através da microestrutura do concreto em contrapartida, a diminuição da temperatura pode dar lugar à condensações, as quais podem aumentar o teor de umidade em determinados pontos do material.
- **Tipo de cimento e adições:** Em geral, concretos com determinadas adições minerais apresentam estruturas menos porosas, aumentando seu desempenho quanto à penetração de líquidos, íons e gases. Porém alguns estudos relatam que tais adições podem piorar o comportamento dos concretos em relação à frente de carbonatação. O autor acredita, no entanto, que os benefícios propiciados pelos cimentos com adições são maiores que os eventuais prejuízos obtidos.
- **Tipo de aço:** Barras de aço sem proteção, em um mesmo ambiente podem ter velocidades de corrosão diferenciadas pelo tipo de aço. Aços mais processados durante a fabricação e com maiores teores de carbono são mais susceptíveis a desenvolver corrosão quando comparados com aços de menor dureza e de resistência mecânica mais baixa.
- **Fissuras no concreto de cobrimento:** Segundo Cascudo (1997), existe uma linha de pensamento onde as fissuras não apresentam grandes influências na intensidade de corrosão a ponto de afetarem a vida útil das estruturas, no entanto, agem no sentido de anteciparem o início da manifestação patológica.
- **Relação água/cimento:** A relação água/cimento determina a qualidade do concreto, definindo características de compactidade ou porosidade da pasta de cimento endurecida, tornando um dos parâmetros mais importantes no contexto da corrosão. Quanto menor a relação água/cimento, menor a per-

meabilidade, o que dificultará a penetração de agentes agressivos para o interior do concreto.

- **Permeabilidade e absorção:** São características importantíssimas que refletem a qualidade do concreto. Quanto maiores os índices de permeabilidade e absorção, menor é a qualidade do concreto e conseqüentemente menor a proteção à corrosão. A Tabela 1 apresenta os critérios de avaliação da permeabilidade e da absorção do concreto, segundo o CEB – 192 (1984).

Permeabilidade (m/s)	Permeabilidade do concreto	Qualidade do concreto	Absorção (%)	Absorção do concreto	Qualidade do concreto
$< 10^{-12}$	Baixa	Boa	$< 3,0$	Baixa	Boa
10^{-12} a 10^{-10}	Média	Média	3,0 a 5,0	Média	Média
$> 10^{-10}$	Alta	Pobre	$> 5,0$	Alta	Pobre

Tabela 1 - Critérios de avaliação da permeabilidade à água e da absorção de água do concreto

Fonte: Cascudo (1997).

- **Resistividade elétrica do concreto:** A resistividade é um parâmetro dependente do teor de umidade, da permeabilidade e do grau de ionização do eletrólito do concreto. Sua importância é explicada pelo fato de estar relacionada à durabilidade da estrutura, pois atua como retardador ou acelerador de processos corrosivos. Assim, valores altos de resistividade significam baixa mobilidade iônica e valores baixos caracterizam fácil mobilidade iônica e maior probabilidade de corrosão.

2.3 Cloretos

Estudos relacionados à durabilidade das estruturas apontam que a corrosão das armaduras provocadas pela ação de íons cloreto é um dos problemas mais sérios que pode ocorrer em uma estrutura (ANDRADE, 1997; NEVILLE, 2015).

Cascudo (1997) destaca que os íons cloreto podem ser introduzidos intencionalmente no concreto ou pode-se dar a contaminação por impregnação da superfície de concreto por agentes agressivos externos, tais como agentes aceleradores de pega e endurecimento que contém CaCl_2 (cloreto de cálcio), contaminação dos materiais constituintes do concreto (água e agregados), penetração por sais anticongelantes, contaminação através de salmouras industriais, contaminação por maresia ou névoa de ambiente marinho e contato direto com a água do mar (estruturas marinhas).

Ainda pode ocorrer a contaminação no processo de limpeza das fachadas dos edifícios com a utilização do chamado ácido muriático, que não passa do ácido clorídrico diluído. Ao entrar em contato com a argamassa de revestimento do concreto, penetra por capilaridade até a massa de concreto e somente se percebe sua ação quando as armaduras já entraram em processo de corrosão.

Esses íons tem a capacidade de dissolver a película passivadora que reveste as armaduras de aço dentro do concreto, provocando desta forma o início da reação

anódica de solubilização do Fe^{++} (FUSCO, 2012).

Os cloretos podem estar presentes no concreto na forma de cloretos fixos, que são os quimicamente ligados ao aluminato tricálcico (C_3A) na forma de sal de Friedel – cloroaluminatos; fisicamente absorvido na superfície dos poros; quimicamente absorvidos às paredes dos poros através do C-S-H; e sob a forma de íons – livres dissolvidos na fase aquosa do concreto, que são os que causam preocupação, pois são teoricamente os únicos que podem despassivar e provocar corrosão as armaduras (CASCUDO, 1997; SILVA, 2006).

A consequência da presença desses íons livres é de baixar o pH em pequenos pontos da película passivadora, destruindo-a totalmente e formando nesses pontos pequenas zonas anódicas como pode ser visualizado na Figura 2, fazendo com que o restante da armadura constitua uma enorme zona catódica, ocorrendo desta forma uma intensa corrosão nos pontos anódicos (FUSCO, 2012).

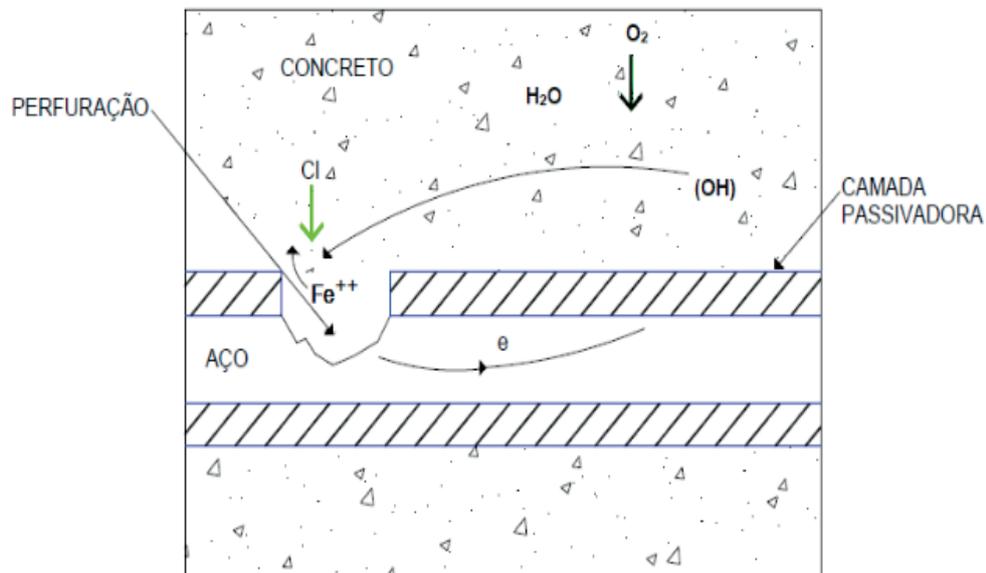


Figura 2 - Representação esquemática da corrosão eletroquímica na presença de cloretos

Fonte: Neville (2015).

Os cloretos agem de forma localizada produzindo um ataque na superfície da armadura, que, segundo Gemelli (2001), manifesta-se sob a forma de pequenas cavidades, de alguns micrômetros a alguns milímetros, os “pites”. Em consequência, ocorre a diminuição da seção da estrutura metálica e, conforme a concepção estrutural pode levar ao colapso da estrutura.

Embora os cloretos livres solúveis em água sendo teoricamente os únicos capazes de provocar corrosão, deve-se determinar o teor de cloretos totais, uma vez que parte dos cloretos combinados pode ficar disponível devido à carbonatação ou elevação da temperatura.

A norma NBR 7211 (ABNT, 2009), estipula um limite máximo de teor de cloretos presentes nos agregados, e também especifica limites para o teor total de cloretos trazidos ao concreto por todos os seus constituintes, para determinadas situações

em que a estrutura de concreto armado foi projetada. Sendo os seguintes valores em porcentagens sobre a massa de cimento:

- Concreto protendido $\leq 0,06\%$;
- Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura $\leq 0,15\%$;
- Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura $\leq 0,40\%$);
- Outros tipos de construção com concreto armado $\leq 0,30\%$.

Alguns parâmetros influenciam na penetração dos cloretos, tais como a porosidade, a relação a/c, o tipo de cimento, a compactação, cura, temperatura e fissuras.

2.4 Carbonatação

Em geral, a carbonatação é uma essencial condição para o início da corrosão das armaduras no do concreto.

Figueiredo (2005) define carbonatação como “um processo físico-químico de neutralização da fase líquida intersticial do concreto, saturada de hidróxido de cálcio e de outros compostos alcalinos hidratados” (FIGUEIREDO, 2005, p. 829).

O excesso de cálcio existente nos silicatos anidros constituintes dos cimentos é liberado na forma de hidróxido Ca(OH)_2 , que após o endurecimento, parte fica em forma de cristais e parte dissolvido na água contida nos poros; este por sua vez garante a elevada alcalinidade no interior do concreto, com pH superior a 12.5. No entanto, os gases ácidos encontrados na atmosfera, tais como o gás sulfídrico (H_2S), o dióxido de enxofre (SO_2) e principalmente o gás carbônico (CO_2), podem produzir reações de neutralização do concreto causando a redução do pH a valores inferiores a 9 e tornando-se possível a dissolução da película passivadora de óxido de ferro que reveste as armaduras do concreto (GENTIL, 2012; FIGUEIREDO, 2005).

A carbonatação ocorre então, quando o CO_2 , do ar ou contido em água agressivas, penetra na superfície exposta da peça de concreto, e por difusão através do ar chega até os poros úmidos se combinando com o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , formando o carbonato de cálcio, CaCO_3 , insolúvel. Esta transformação do hidróxido em carbonato é acompanhada pela redução do pH do meio úmido interno.

Na Figura 3 pode-se observar o processo do avanço da frente de carbonatação.

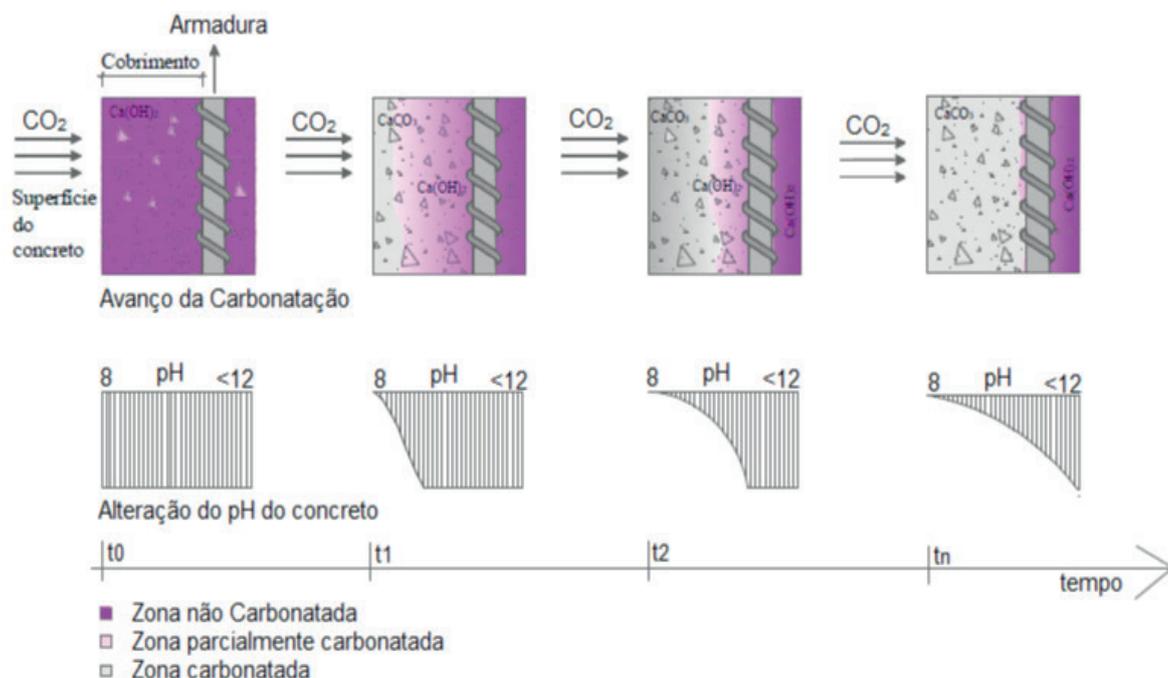


Figura 3 - Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo

Fonte: Adaptado de Possan (2010).

Felizmente a carbonatação é um processo lento. Inicialmente a profundidade de carbonatação aumenta com grande rapidez, atenuando-se com o tempo, devido a hidratação crescente do cimento e também do próprio carbonato de cálcio (CaCO₃) que preenche os poros superficiais, dificultando o acesso do CO₂ ao interior do concreto (CASCUDO, 1997).

Segundo Cascudo (1997), o processo ocorre em várias etapas envolvendo diversas reações secundárias, embora o carbonato de cálcio seja sempre um dos produtos finais. O avanço do processo de carbonatação pode ser melhor compreendido através da Figura 4.

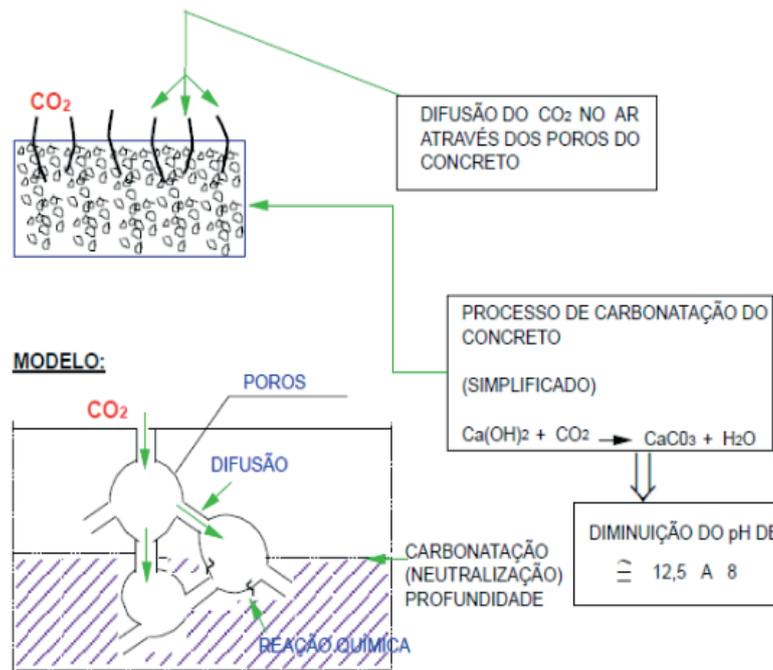


Figura 4 - Avanço do processo de carbonatação

Fonte: CEB (1984) apud Figueiredo (2005).

Com base na literatura, Possan (2010) apresenta um quadro resumo das consequências positivas e negativas da carbonatação no concreto (Quadro 1).

Efeito	Consequência	Autores
Consumo de CO_2 no tempo	Negativa – redução do pH do concreto o que deixa a armadura suscetível à corrosão.	Parrot (1987), Isaia (1999)
	Positiva – reabsorção do CO_2 da atmosfera.	Pade e Guimarães (2007)
Refinamento dos poros	Positiva – reduz a porosidade através da densificação da matriz devido à precipitação do CaCO_3 nos poros da matriz cimentante.	Rigo da Silva et al. (2002)
Aumento da massa	Positiva – aumenta a densidade do material.	Neville (1997)
Aumento da resistência	Positiva – redução da porosidade do concreto.	Rigo da Silva et al. (2002)
Melhora (eleva) da dureza superficial	Positiva – aumento a resistência do material.	Helene (1993)
Redução do pH	Negativa - deixa o aço imerso no concreto suscetível à corrosão (em condições de corrosão).	Parrot (1987)
Retração	Negativa – causa fissuras.	Helene (1993)
Decréscimo na resistividade elétrica	- redução na probabilidade de corrosão não é significativa	Abreu (2004)

Quadro 1 - Quadro resumo das consequências da carbonatação

Fonte: Possan (2010)

Quanto aos fatores que influenciam a frente de carbonatação, para Neville (2015), o fator fundamental é a difusibilidade da pasta de cimento hidratada, ou seja, a função do sistema de poros da pasta de cimento durante o período em que ocorre a difusão do CO_2 . Sendo assim, torna-se importante a relação água/cimento, o tipo de cimento e o grau de hidratação.

A profundidade de carbonatação e sua velocidade dependem também de fatores relacionados com o meio ambiente, conforme ilustrado no Quadro 2.

	Fatores condicionantes	Características influentes
Condições de exposição	Concentração de CO ₂	Mecanismo físico-químico
		Velocidade de carbonatação
	Umidade relativa do ar	Grau de saturação dos poros
		Velocidade de carbonatação
Temperatura	Velocidade de carbonatação	
Características do concreto	Composição química do cimento	Porosidade da pasta carbonatada
	Características do clínquer	Reserva alcalina
	Teor de adições	Porosidade
	Traço	Porosidade
	Qualidade de execução	
	Defeitos	Grau de hidratação
Qualidade da cura		

Quadro 2 - Fatores condicionantes e características influenciadas pela carbonatação

Fonte: Adaptado de Karamierczak (1995) apud Figueiredo (2005).

2.5 Principais interferências da corrosão de armaduras

Dentre as principais propriedades afetadas pela corrosão de armaduras do concreto, pode-se citar:

- Aderência entre o aço e o concreto;
- Aumento da deformabilidade;
- Desenvolvimento de tensões de tração que levam a fissuração;
- Redução da área da seção transversal das barras de armadura;
- Redução da resistência à tração do aço.

3 | MECANISMOS DE TRANSPORTES DE FLUIDOS NO CONCRETO

A degradação das estruturas de concreto armado se dá pela penetração através da rede de poros e fissuras, de substâncias líquidas ou na forma de gases e vapores. Entre essas substâncias, destacam-se a água, pura ou com íons dissolvidos, principalmente íons cloretos e íons sulfatos, o CO₂ e o oxigênio. Portanto, a consideração da durabilidade exige um entendimento dos mecanismos de transportes envolvidos nestes processos. A velocidade da interação entre o meio ambiente e o concreto é de extrema importância para determinação do período de tempo em que a estrutura manterá suas características mínimas de segurança, estética e funcionalidade estabelecidos no projeto.

O transporte dos fluidos e materiais no concreto depende de um grande número de fatores que estes, por sua vez, dependem da fração volumétrica de cada material, dos detalhes da hidratação do cimento e do processo de produção do concreto, tais como a porosidade, distribuição do tamanho dos poros, conectividade e tortuosidade (NEPOMUCENO, 2005) Também deve-se levar em consideração a fase aquosa que preenche os poros do concreto, cuja características dependem do tipo de cimento, do teor de umidade, e se essa umidade apresenta-se em forma de vapor ou forma líquida.

Possan (2010) apresenta um resumo dos principais mecanismos de transportes que pode ser verificado no Quadro 3.

Mecanismo	Parâmetro (indicador de durabilidade)	Definição	Esquema	Fatores de influência	Relevância
Permeabilidade	Coefficiente de Permeabilidade a água - k (mm/s)	Fluxo de um fluido através do concreto devido a um gradiente de pressão ($P_1 > P_2$)		Depende do tamanho dos e continuidade dos poros, podendo ser descrita pela lei de Darcy.	Relacionada à conectividade dos poros do concreto.
Difusão	Coefficiente de Difusão - D (cm ² /s)	Ingresso Cl^- ou CO_2 através do concreto devido a um gradiente de concentração dos agentes agressivos ($C_1 > C_2$).		Depende da composição e estrutura dos poros do concreto, da temperatura e do teor de umidade, sendo representado pela 1ª e 2ª leis de Fick.	Importante para estudos e modelos de previsão de vida útil de estruturas de concreto armado.
Sucção capilar	Coefficiente de Absorção de água - A (g/cm ² .h ⁻¹)	Ingresso de agentes agressivos e água através do concreto devido à pressão capilar (P_c).		Depende do diâmetro dos poros, da tensão superficial do líquido e da sua viscosidade.	Determinação da velocidade de penetração de água através do concreto, o que está diretamente relacionado à durabilidade.
Migração iônica	Resistividade elétrica - ρ (ohm.cm)	Movimento de ions através dos poros do concreto devido a um potencial elétrico (E_1 e E_2).		Depende do teor de umidade, da temperatura e da tensão aplicada.	Monitoramento do desenvolvimento da corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado (no período da propagação).

Quadro 3 - Resumo dos principais mecanismos de transportes de gases

Fonte: Possan (2010)

3.1 Absorção ou sucção capilar

A absorção capilar é um dos mecanismos que mais afeta a durabilidade das estruturas, principalmente em ciclos de umedecimento e secagem, e geralmente representa o primeiro passo para a contaminação por impregnação externa de peças de concreto.

A absorção capilar depende além do diâmetro dos poros, que essa porosidade seja aberta, ou seja, que os poros capilares sejam interconectados entre si, permitindo assim o acesso das substâncias líquidas contaminadas para o interior do concreto. Quanto menores forem os diâmetros dos poros, mais intensa será a sucção capilar. (CASCUDO, 1997)

Algumas características do líquido, tais como a viscosidade, a densidade e a tensão superficial também influenciam na absorção. A equação para ascensão capilar se dá pela Lei de Jurin (HELENE, 1993):

$$h = 2\gamma / r\gamma \quad (7)$$

onde:

h = altura ou penetração de água no capilar, em metros;

v = tensão superficial da água, em kg/m;

r = raio do capilar, em metros;

γ = massa específica da água, em kg/m³.

3.2 Difusão

A difusão pode ser definida como o movimento aleatório de partículas de regiões de alta concentração para regiões de baixa concentração de forma a diminuir o gradiente de concentração de partículas no meio. Isto pode ocorrer tanto para substâncias presentes em meio líquido como para aquelas em meio gasoso, estando assim controlados por este fenômeno, os dois principais agentes agressivos que comprometem as armaduras, os íons cloreto e o CO₂.

A difusão iônica acontece quando essas substâncias ultrapassam a camada superficial e alcançam o interior do concreto (região mais úmida). Ocorre então à busca de equilíbrio através da diferença de concentração entre o elemento que difunde e o meio difusor (entre o exterior e interior do concreto), promovendo a movimentação dos íons. Não menos importante, tem-se também a difusão de oxigênio e de vapor de água presente na atmosfera para o interior do concreto.

A difusão de oxigênio varia em função das diferenças dos materiais constituintes, do teor de umidade interna do concreto, das técnicas de medidas e do volume de agregados, devido à possibilidade de se alterar a conectividade da zona de transição. As adições afetam a difusão de O₂ na medida em que reduzem a porosidade, seja pelo efeito filler ou pelas reações pozolânicas.

A difusão do vapor de água controla alguns fenômenos tais como a carbonatação que precisa de um teor de umidade mínimo para ocorrer, sendo assim responsável pela corrosão de armaduras (NEPOMUCENO, 2005).

3.3 Permeabilidade

É o fluxo de um fluido submetido à ação de um gradiente de pressão. A permeabilidade é um dos principais parâmetros de qualidade do concreto e esta relacionada com a interconexão dos seus poros. É uma característica ligada ao fator água/cimento. Quanto menor for esta relação, menos permeável será o concreto. Segundo Cascudo (1997), quanto maior for o diâmetro dos poros capilares e a comunicação entre si, mais acentuada será a permeabilidade a líquidos sob pressão.

3.4 Migração de íons

Ocorre quando há a presença de um campo elétrico, que no concreto pode ser

gerado pela corrente elétrica do processo eletroquímico ou pelo emprego da técnica de proteção catódica para o controle da corrosão (CASCUDO, 1997).

4 | TECNOLOGIAS PARA RECUPERAÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO DE ARMADURAS

Segundo Panossian (2010), há quatro maneiras de combater ou prevenir a corrosão na visão clássica: substituição do material por outro mais resistente, modificação do meio de exposição, através de barreiras entre o aço e o meio (revestimentos) e através de técnicas eletroquímicas.

4.1 Seleção de materiais

Uma alternativa como prevenção da corrosão é a utilização do aço inoxidável. De acordo com Moreira (2015), a utilização do aço inoxidável em concreto armado teve início com o aço austenítico e o uso de armaduras de aços inoxidáveis dúplex vem aumentando. A autora relata que pesquisas recentes têm mostrado que a resistência à corrosão do aço inoxidável dúplex é semelhante ou ainda superior ao dos aços austeníticos.

4.2 Mudança do meio

Trata-se de recuperação (onde há a remoção do concreto deteriorado e sua posterior reconstrução com outro de boa qualidade que se assemelhe o máximo possível com o concreto base), ou utilização de inibidores de corrosão, bem como por meio de técnicas eletroquímicas de realcalinização e extração de cloretos que serão abordadas mais adiante.

Os inibidores de corrosão são substâncias que se adicionadas a matriz cimentícia reduzem a velocidade de corrosão sem causar grandes alterações nas propriedades do concreto. Podem ser utilizados no concreto em seu estado fresco (inorgânicos-nitritos) ou na superfície do concreto em seu estado endurecido (líquidos, inibidores fase vapor, inibidores voláteis), o que não é muito usual no Brasil.

Os nitritos são mais comumente utilizados no Brasil e considera-se um método eficiente, pois eles favorecem a passivação, até mesmo na presença de cloreto desde que a razão nitrito/cloreto seja maior que pelo menos 1.8. (PANOSSIAN, 2010). O MFP (monofluor fosfato) é utilizado na forma líquida aplicada sobre a superfície do concreto endurecido, onde atravessa a camada de revestimento por capilaridade. Os inibidores fase vapor difundem-se na fase vapor através dos poros e fissuras do concreto atingindo as armaduras e os inibidores voláteis de corrosão são eficientes para concretos com contaminação com cloretos segundo Panossian (2010). São aplicados geralmente como revestimentos, mas também podem ser incorporados na argamassa de reparo e recuperação ou colocados em forma de plugues.

4.3 Revestimentos

Consistem em fazer uma barreira física para restringir a penetração de agentes agressivos. Segundo Panossian (2010), é a forma mais econômica e prática para garantir e até aumentar a durabilidade das estruturas de concreto armado. Esta barreira pode ser realizada pela aplicação de tintas, silicones hidrofugantes e vernizes ou revestimentos que aumentem a durabilidade.

De acordo com Campos (2016), podem ser classificados em formadores de película, bloqueadores de poros ou hidrofugantes de superfície. A Figura 5 apresenta um resumo das principais características de cada tipo de revestimento.

Os bloqueadores de poros reduzem a penetração de água e aumentam a dureza do concreto, sendo os silicatos os mais utilizados.

Dentre os formadores de películas podem-se citar as tintas e vernizes, sendo os mais utilizados o Látex PVA, látex acrílico, poliuretano e epóxi (CAMPOS, 2016).

Os hidrofugantes de superfície penetram nos poros capilares da superfície de concreto e alteram o ângulo de contato entre as paredes desses poros e a água. Os mais utilizados são os silicones – silanos e siloxanos (CAMPOS, 2016).

Há também a possibilidade de revestir a armadura. Araujo (2015) explica que o revestimento das armaduras de aço-carbono das estruturas de concreto é uma técnica de proteção contra corrosão bastante difundida em muitos países e que normalmente, a proteção por barreira é obtida na indústria, revestindo a armadura com pintura epoxídica ou mediante sua zincagem.



Figura 5 – Classificação dos revestimentos

Fonte: Campos (2016).

4.4 Técnicas eletroquímicas

Proteção catódica

Segundo Cascudo (2015), proteger catodicamente uma estrutura metálica significa eliminar as áreas anódicas da superfície do metal, fazendo com que toda a estrutura adquira um comportamento catódico. Isto pode ser feito através da imposição de uma corrente contínua que pode ser fornecida por uma fonte externa de alimentação, denominada de Proteção por corrente impressa ou então por um metal de potencial mais negativo, chamada de proteção por ânodo de sacrifício.

Corrente impressa

A corrente impressa consiste em instalar um leito de ânodos na superfície do concreto, proteger este leito com uma camada de revestimento, em geral cimentício, e por meio de uma fonte externa aplicar uma corrente catódica (polo positivo conectado ao ânodo e o ânodo negativo à armadura), tornando a armadura catódica (PANOSSIAN, 2010). A Figura 6 apresenta um sistema de proteção catódica de corrente impressa.

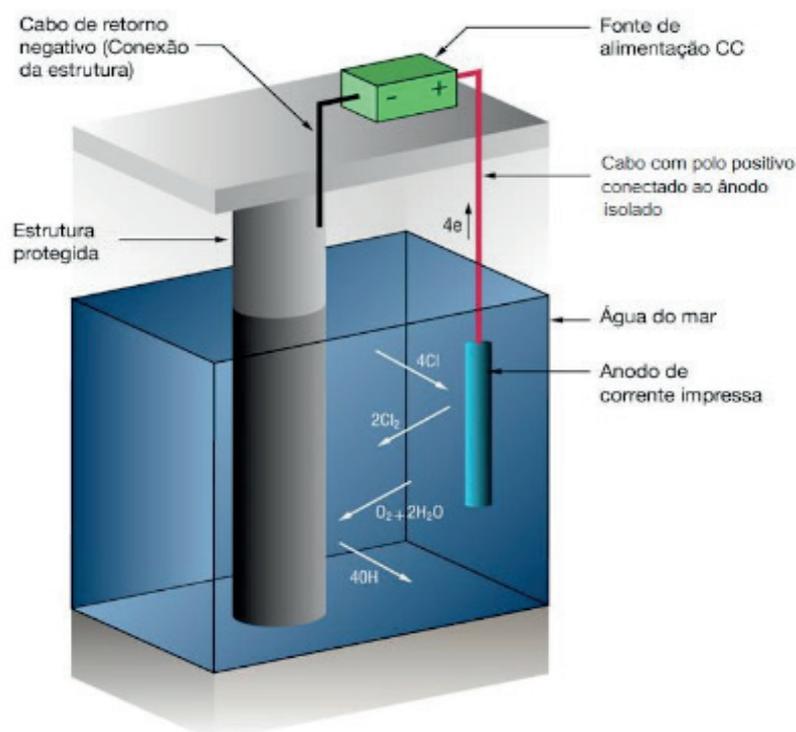


Figura 6 – Sistema de proteção catódica de corrente impressa

Fonte: Adaptado de Baxter e Britton (2011).

Ânodo de sacrifício

O sistema usual de proteção por ânodo de sacrifício envolve a aplicação de um campo elétrico por meio da diferença de potencial entre as armaduras presentes no interior do concreto e um eletrodo externo constituído por uma malha metálica menos nobre que o aço-carbono, imersa em um reservatório de eletrólito.

Desta forma, os íons cloreto tendem a migrar pela ação do campo elétrico formado, da armadura (cátodo), até a malha externa (ânodo) e após algumas semanas, o eletrólito colocado junto ao ânodo é removido juntamente com o ânodo e os íons cloreto que migraram para essa região (CAMPOS, 2016). Durante o processo, ocorre também a produção de íons hidroxila (OH⁻) na superfície da armadura, havendo um aumento do pH (CASCUDO, 1997).

Os principais ânodos de sacrifício são ligas metálicas ou a pura forma de zinco, alumínio ou magnésio (CASCUDO, 2015).

A Figura 7 esquematiza a aplicação do ânodo de sacrifício.



Figura 7 - Ânodo de sacrifício

Fonte: Panossian (2010).

Para o autor, a aplicação da proteção catódica é mais utilizada em estruturas expostas ao ataque de cloretos e reconhecida como a única técnica capaz de interromper o processo corrosivo em estruturas de concreto. Pode ser aplicada tanto para prevenir a corrosão e prolongar a vida útil de estruturas novas, como para diminuir a taxa de corrosão em estruturas que já apresentam certo grau de deterioração.

Realcalinização eletroquímica

A realcalinização eletroquímica consiste na aplicação de uma corrente elétrica e é realizada através de uma malha metálica que funciona como um ânodo, em geral de titânio ou aço inoxidável, imersa em um eletrólito e depositada sobre o concreto, conectada ao pólo positivo de uma fonte de corrente contínua, onde a armadura do concreto é conectada ao pólo negativo.

Quando aplica-se uma corrente elétrica no sistema através da fonte, a solução alcalina é transportada para o interior do concreto através de um mecanismo eletrosmótico, promovendo sua realcalinização. (GENTIL, 2012). A Figura 8 esquematiza este processo.

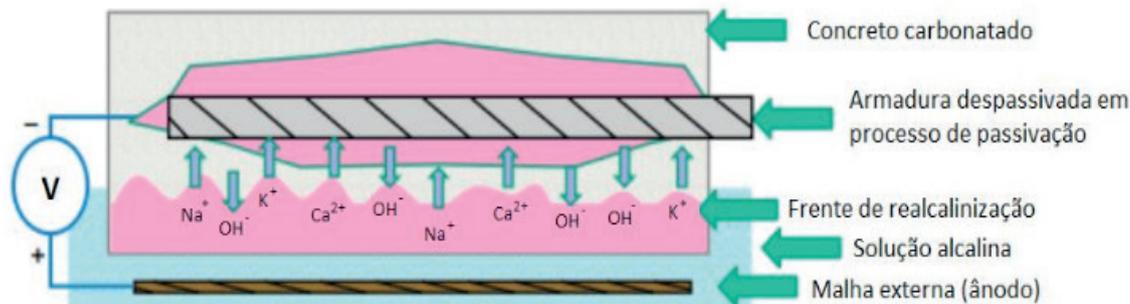


Figura 8 – Realcalinização eletroquímica

Fonte: Adaptado de Campos (2016).

5 | CONCLUSÕES

A corrosão das armaduras é o fenômeno mais frequente de degradação das estruturas de concreto armado podendo se tornar muito oneroso o seu reparo ou recuperação se não houver inspeções e manutenções periódicas, além de comprometer as estruturas tanto do ponto de vista estético como estrutural. Este fenômeno só ocorre quando as condições de proteção proporcionadas pelo cobrimento de concreto não são suficientes, o que pode ser acarretada por diversos fatores, sendo de extrema importância identificá-los para que se possa determinar qual a melhor forma de executar uma proteção efetiva e duradoura.

Existem tecnologias disponíveis no mercado que, se adequadamente aplicadas, podem prolongar a vida útil das estruturas, além é claro de sua concepção desde a etapa de projeto, observando os cobrimentos mínimos estipulados em norma de acordo com a agressividade do ambiente em que a construção estará inserida, a qualidade do concreto e a uniformidade de execução. Como a corrosão é um fenômeno expansivo é possível que seja visualizada e identificada na maioria das vezes em tempo hábil de se tomar medidas de reparos e proteção, que devem obrigatoriamente eliminar as causas desse fenômeno objetivando aumento da vida útil da edificação.

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

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado: Análises das Manifestações Patológicas nas Estruturas no Estado de Pernambuco**. 1997. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - UFRGS, Porto Alegre, 1997.

ARAUJO, A. Estruturas zincadas por imersão a quente em concreto armado. **Corrosão & Proteção**. Rio de Janeiro, ano 12, n. 55, Fev./Mar. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211: Agregados para concreto** –

Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

BAXTER,R., BRITTON, J. **Proteção Catódica Offshore: o que é e como funciona**. 2011. Disponível em: < <http://www.cathodicprotection101.com/protECAO-catodica.htm>>. Acesso em: 24 jun 2017.

CAMPOS, H. F. **Materiais e Técnicas para Reparo de Estruturas de Concreto**. 2016. Notas de aula. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/2/25/Heloisa_Campos_e_T%C3%A9cnicas_para_reparo.pdf>. Acesso em: 24 jun 2017.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. 237 f. 1ª Edição. Goiânia: Ed. UFG, 1997.

_____. (Org.) **Inspeção e diagnóstico de estrutura de concreto com problemas de corrosão da armadura**. Vol. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

_____. Proteção Catódica. **Corrosão & Proteção**. Rio de Janeiro, ano 12, n. 55, Fev./Mar. 2015.

CEB. (1984). **Durability of concrete structures**. Report of CEB-RILEM International workshop. Copenhagen, Mai, 1983; CEB Bulletin D'Information, N 152.

FIGUEIREDO, E. P. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto**. Vol. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 199 f. 2ª Edição. São Paulo: Ed. Pini, 2012.

GEMELLI, E. **Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5ª Edição, Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012.

HELENE, P.R.L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo. Tese de Livre Docência - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.

HELENE, P. R. L., RIBEIRO, D. V. (Org.). **Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e métodos de análise**. 1ª Edição, Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

MEHTA. P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. 2ª ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MOREIRA, A. R. Corrosão e manutenção do concreto e suas armaduras. **Corrosão & Proteção**. Rio de Janeiro, ano 12, n. 55, Fev./Mar. 2015.

MOTA, A. C. M. **Avaliação da presença de cloretos livres em argamassas através do método colorimétrico de aspersão da solução de nitrato de prata**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2011.

NEPOMUCENO, A. A. **Mecanismo de transporte de fluidos no concreto**. Vol. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 912 f. 5ª Edição. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2015.

PANOSSIAN, Z. **Novas Tecnologias para Reparo e Proteção contra Corrosão de Concreto Armado**. Apresentação INTERCORR – ABRACO, 2010.

PEDROSO, F.L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto e construções**. Ano XXXVII, n. 53, jan., fev., mar. São Paulo: IBRACON, 2009. Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2018.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. 2010. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RIBEIRO, Daniel Vêras (org.). **Corrosão e degradação em estruturas de concreto**: teoria, controle e técnicas de análise e intervenção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

SILVA, F. G. **Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos**. 2006. 236 f. Tese (Doutorado) - Interunidades em Ciência e Engenharia dos Materiais IFSC – IQSC – EESC, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alvenaria Estrutural 87, 332

Análise Estrutural 185

B

Bragueto 6, 39, 40, 44, 49, 51, 52

C

Carbonatação 13, 14, 15, 16, 18, 19, 23, 66, 68, 69, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 85, 86, 99, 104, 107, 108

Cidade limpa 122

Comportamento a longo prazo 1

Concreto 14, 24, 38, 40, 53, 54, 59, 60, 64, 65, 66, 74, 84, 85, 86, 108, 109, 146, 155, 157, 158, 169, 184, 185, 198, 211, 212, 213, 227, 240, 245, 261, 268, 270, 274, 280, 286, 287, 321

Concreto Armado 84, 86, 108, 109, 169, 185, 198, 212, 227, 245

Construção 19, 38, 40, 109, 113, 122, 147, 184, 211, 240, 241, 273, 287, 321, 322

Corrosão 45, 50, 66, 68, 84, 85, 86, 102, 109, 110, 115, 117, 167, 212, 270

Cura química 14, 15, 17, 18, 23, 25, 176

D

Degradação 1, 2, 3, 4, 5, 7, 12, 13, 26, 27, 28, 77, 84, 86, 100, 106, 107, 111, 112, 134, 135, 138, 142, 146, 159, 166, 167, 169, 200, 289

Diagnóstico de Manifestações Patológicas 97

Durabilidade 1, 52, 84, 96, 109, 157, 212

E

Edificações 87, 88, 96, 110, 113, 212, 241, 255, 256

Edifício 26, 65, 258

Ensaio e pilares 213

Estrutura 6, 32, 39, 43, 85, 87, 159, 199, 255, 321

F

Fachada 26, 32, 33, 128, 187, 194

Fiscalização 87, 96

Fissura 47, 110, 116, 250, 252

Fundações 54, 64, 65

G

GDE/UNB 39, 40, 41, 42, 49, 52

I

Inspeção 42, 52, 85, 97, 99, 100, 106, 109, 115, 116, 117, 118, 185, 211, 212
Inspeção de Estruturas 97

M

Manifestações patológicas 27, 32, 34, 66, 67, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 106, 108, 110, 111, 114, 115, 116, 119, 120, 134, 135, 136, 137, 143, 144, 145, 171, 172, 173, 174, 183, 184, 186, 188, 189, 197, 201, 211, 214, 228, 229, 231, 241, 242, 243, 244, 245, 252, 255, 257, 259, 324, 329
Monitoramento 185, 192, 193, 300, 301

P

Patologia 34, 35, 38, 87, 109, 110, 113, 121, 146, 147, 158, 199, 201, 212, 227, 236, 241, 243, 252, 255, 256, 334
Poluição visual 122, 123, 124, 125, 126, 130, 131, 132
Ponte 6, 39, 40, 49, 51, 52, 55, 56, 97, 212
Pré-fabricado 171, 173
Prevenção 65, 146, 147, 199

Q

Qualidade visual 7, 122, 123, 124, 126, 127, 131, 132, 133

R

Reação Álcali-Agregado 54, 64
Recuperação 54, 66, 146, 147, 158, 199, 212, 227, 262, 274
Reforço com FRP 1
Resinas epoxídicas 1
Revestimento 26, 38, 141, 187, 188, 321, 332

T

Terapia 135, 137, 202, 258, 330

U

Umidade 50, 77, 110, 118, 140

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-543-3



9 788572 475433