

# PATOLOGIA NAS ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO



[www.freepik.com](http://www.freepik.com)

## Principais causas da corrosão do aço estrutural e seus efeitos à estabilidade de uma estrutura de concreto armado

A corrosão é uma reação química de oxirredução, que pode ocorrer no aço presente nas estruturas de concreto armado, assim como, nos costados dos navios da Marinha, cujos efeitos podem causar diversos problemas à edificação, como, por exemplo, o deslocamento do concreto, a redução da seção transversal das barras e, conseqüentemente, a perda de capacidade portante (resistente), caso a problemática não seja identificada e tratada adequadamente. O tratamento errôneo, superficial, centrado apenas na estética da edificação, é nocivo à saúde da construção, pois, dessa forma, a ação corretiva empregada torna-se ineficaz e pode aumentar a degradação interna da estrutura, trazendo conseqüências mais graves a médio e longo prazo. Em face do exposto, o dimensionamento correto na fase de projeto e as ações de manutenção preventivas e corretivas adequadas garantirão a segurança da edificação em toda a sua vida útil.

O concreto é um elemento estrutural que apresenta resistência alta à compressão e limitada à tração, esta desconsiderada nos projetos estruturais (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2014). Para compensar, são projetadas barras de aço que garantem a resistência à tração, compensando a limitação do concreto.

A degradação do concreto é uma problemática de proporções mundiais, que atinge

sobremaneira a economia de uma nação industrializada, além de impor ao ser humano consequências gravíssimas, devido a acidentes ocasionados pela perda da capacidade portante da estrutura ou de parte dela, pelos processos degradativos que ocorrem devido a fatores como a carbonatação (Figura 1), o ataque por sulfatos e ácidos, muito comuns nas regiões costeiras, entre outros (RIBEIRO, 2018).



Figura 1 – Carbonatação no concreto.  
Fonte: Tecnosil BR

Dessa forma, faz-se mister garantir a correta proteção dos elementos de aço aos riscos ambientais da região; para isso, deve-se conhecer as causas da corrosão, seus efeitos e como evitá-la, para que a edificação tenha plena capacidade de suportar as cargas normais e de utilização para as quais fora projetada.

Fazendo uso de revisão bibliográfica, objetiva-se definir corrosão, explicitar suas principais causas e conceituar os níveis de agressividade que o meio ambiente pode impor à estrutura, visando corroborar para o correto dimensionamento do cobrimento da armadura e apresentar os procedimentos necessários para evitar que ocorra a corrosão nas estruturas de concreto armado.

## A CORROSÃO

A corrosão é um processo eletroquímico de oxirredução, pelo contato do aço com o ar atmosférico e a umidade, mas ocorre também por um processo químico formado pela ação de ácidos derivados da poluição do meio. A corrosão atmosférica, de ocorrência mais ampla, tem como principal agente causador o oxigênio, que tem um grande potencial de receber elétrons, enquanto os metais têm maior capacidade de cedê-los (Figura 2). (MERÇON et al, 2011).

O aço estrutural, diferente do ferro fundido, é formado por uma liga metálica composta por carbono e outros materiais, como o cobre, magnésio, zircônio, cromo, vanádio e tungstênio, resultando em um





Figura 2 – Reação de corrosão.

material dúctil que pode ser deformável por processo de laminação, forja ou extrusão (MAINIER e LETA, 2001). Esse material, em contato com o ar ou com a umidade, torna-se um excelente eletrólito, o anodo, que nesse processo sofre a semirreação de oxidação, ou seja, cede elétrons com facilidade de sua estrutura atômica em um meio aquoso, úmido. Já o oxigênio, presente no ar atmosférico e na água, se comporta como um excelente catodo, material capaz de receber elétrons, compondo a semirreação de redução (GONZALEZ e TICIANELLI, 2005).

GURGEL, at all (2017) verificou que, na estrutura de concreto armado, a corrosão se desenvolve em dois períodos distintos, a iniciação e a propagação:

A **iniciação** caracteriza-se pelo início do processo corrosivo, quando a reação atinge o concreto e se aprofunda até a armadura; nessa fase, percebe-se visualmente a mudança da coloração na superfície do elemento estrutural, com a cor característica da “ferrugem” (Figura 3).

A **propagação** é a fase em que a corrosão já está presente no aço e espalhada no elemento estrutural, produzindo o óxido de ferro (a ferrugem); nesse estágio, ocorre o deslocamento do concreto adjacente (Figura 4). Em nível mais avançado de propagação na estrutura, sem a adequada manutenção, a seção transversal do aço perde dimensão e, conseqüentemente, a capacidade de resistir aos esforços de tração, comprometendo a estabilidade da edificação (Figura 5).



Figura 3 – Fase iniciação da corrosão. Fonte: axfiber.com.br



Figura 4 – Deslocamento do concreto adjacente. Fonte: gazetaonline.com.br



Figura 5 – Seção transversão da armadura longitudinal de um pilar. Fonte: fernandesgrossi.com.br





## O MEIO AMBIENTE DA EDIFICAÇÃO

O conhecimento do ambiente em que a edificação será instalada é de suma importância para se desenvolver um projeto com o dimensionamento adequado dos elementos estruturais, além de identificar e mitigar os riscos oferecidos pelas condições impostas à estrutura.

A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) identifica as Classes de Agressividade do Meio Ambiente que devem ser consideradas para os projetos estruturais, de acordo com as características do meio ambiente no qual será executado o projeto, considerando a umidade do ambiente, a quantidade de chuvas, se integra uma zona

urbana ou rural ou se tem parques industriais instalados, além da proximidade com o mar (zona costeira), esta, característica comum à maioria das edificações da Marinha.

A Tabela 6.1 da citada Norma, transcrita na Tabela 1, lista a classificação geral do tipo de ambiente e correlaciona com o grau de agressividade que o meio pode apresentar, além dos riscos de deterioração da estrutura. O Projetista deve conhecer esses riscos e dimensionar os elementos estruturais para resistir às intempéries e mitigar as ações de degradação impostas.

Tabela 1: Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Sumersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana <sup>a,b</sup> Marinha <sup>a</sup>	Pequeno
III	Forte	Industrial <sup>a,b</sup>	Grande
IV	Muito Forte	Industrial <sup>a,c</sup> Respingo de maré	Elevado

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: ABNT ( 2014)

## CAUSAS DA CORROSÃO NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A corrosão atmosférica, suscetível a ocorrer nas estruturas de concreto armado, é a degradação do aço exposto ao ar. Isso ocorre, apesar de ser um processo natural do cotidiano, por falhas no processo construtivo, no dimensionamento dos elementos estruturais ou durante a cura e acabamentos finais da estrutura, bem como devido à utilização de materiais de baixa qualidade e inadequados na composição do concreto. Esse processo pode ser agravado por agentes poluentes presentes

no ar atmosférico, como o Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>); este, em contato com o concreto, produz a reação de carbonatação que, ao atingir o aço da estrutura, acelera o processo corrosivo.

A carbonatação é um processo físico-químico que provoca alterações no concreto, devido ao ingresso do CO<sub>2</sub>, que reage com seus elementos, reduzindo o Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) presente no cimento e provoca alterações no PH, fazendo-o passar de 13 para

8, facilitando o processo de corrosão nas armaduras (CARRAZEDO, FÉLIX e POSSAN, 2017).

Cabe salientar que quanto maior a presença de água no interior da estrutura, devido a fissuras ou porosidade do concreto, mais acelerado é o processo corrosivo, o que ratifica a afirmação de que “a presença de água na superfície metálica exerce um papel importante e é a qualidade e a quantidade dela que controlam a velocidade de corrosão.” (CHIQUITO, 2013, p. 7).

Além da presença de água, outro fator preocupante é o exponencial crescimento e desenvolvimento das cidades, porque esse fato acarreta o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, o que traz consequências diretas às estruturas de concreto em ambiente urbano. Isso porque a velocidade de carbonatação aumenta com a elevação do CO<sub>2</sub> no meio ambiente, afetando o ciclo de vida das estruturas e reduzindo a durabilidade das mesmas (CARRAZEDO, FÉLIX e POSSAN, 2017).

Segundo NEVILLE (1997), o fenômeno da carbonatação se aprofunda no concreto em função do tempo de utilização da estrutura, e inversamente proporcional a sua resistência. Esse resultado deve ser considerado como um alerta à necessidade de optar por um projeto

mais conservador, no que tange ao cobrimento das armaduras e à definição da resistência característica (fck) que será empregada no concreto (BRASIL, 2014).

No trabalho de CARRAZEDO, FÉLIX e POSSAN (2017), em seu experimento utilizando modelo de previsão da carbonatação via Redes Neurais Artificiais (RNA), ficou evidenciado que o tipo de cimento empregado e o fck do concreto produzido influenciam diretamente no aprofundamento da carbonatação na estrutura, conforme apresentado no Gráfico 1.

Numa rápida leitura dos resultados obtidos, percebe-se que a penetração da carbonatação é inversamente proporcional à resistência característica do concreto nas diversas classes de cimento empregadas.

Por fim, algumas características do meio ambiente influenciam no processo corrosivo e devem ter a total atenção do projetista, são elas: a umidade relativa do ar, por atuar como excelente agente redutor; a temperatura, que é um fator multiplicador do fenômeno da corrosão atmosférica; a radiação solar; as chuvas; o vento; e a presença de partículas sedimentáveis na atmosfera e dos gases, como o oxigênio e o Dióxido de Carbono (CHIQUITO, 2013).

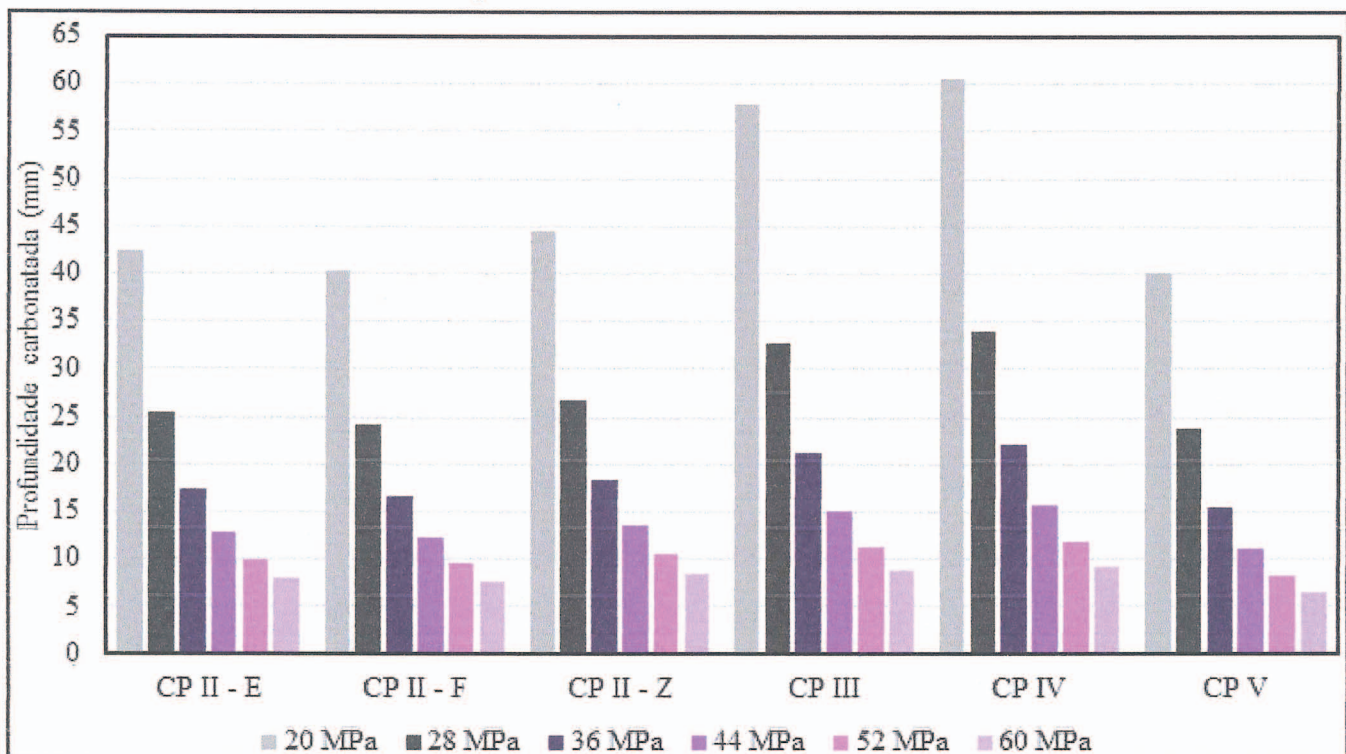


Gráfico 1 – Profundidade de carbonatação do concreto (aos 50 anos) variando o tipo de cimento e a resistência à compressão. Fonte: CARRAZEDO, FÉLIX E POSSAN (2017, p. 12)



## COMO EVITAR A CORROSÃO?

Além das cargas permanentes e acidentais que estarão solicitando a estrutura durante sua construção e vida útil, as características do meio ambiente e os fatores que podem causar patologias, vistos neste artigo, que comprometem a durabilidade e a vida útil da estrutura, devem ser delineados de forma a serem mitigados já no advento do projeto estrutural.

Fonte: [archdaily.com.br](http://archdaily.com.br)



Alguns autores desenvolveram estudos para aplicar materiais e técnicas, a fim de garantir aos elementos estruturais maior resistência à corrosão; como exemplo, tem-se a utilização de aço de baixa liga, aços-carbono acrescidos de elementos que melhoram algumas propriedades mecânicas, dentre eles, cobre, manganês, níquel, fósforo, vanádio e zircônio. A adição desses elementos de liga produz aumento da resistência mecânica do aço através da modificação da microestrutura para grãos finos (PFEIL,1995), além de proporcionar o aumento da resistência à corrosão atmosférica de duas a quatro vezes, obtida por variações mínimas na composição química do aço com a adição de componentes, como o cromo, cobre, níquel, alumínio e o fósforo (BELLEI, 2004).

Outra técnica diferenciada aplicada é a Proteção Catódica Anticorrosiva, que é baseada nos princípios da eletroquímica, fazendo com que a estrutura metálica se comporte como uma pilha artificial, evitando, assim, que a estrutura se deteriore. Essa técnica já é empregada, com bastante êxito, na proteção dos navios, das tubulações enterradas para o transporte de água, petróleo, gás e produtos

químicos, além das grandes estruturas portuárias e plataformas marítimas de produção de petróleo e tanques enterrados, que operam com segurança, por estarem protegidos da corrosão (MANIER e LETA, 2001).

Detalhes mais específicos da construção civil, aplicados às estruturas de concreto armado, que são eficientes e já compõem o escopo normativo para a proteção das armaduras contra a corrosão, são: o cobrimento, espessura do concreto compreendida entre estribo e a borda do elemento estrutural da seção transversal; a resistência característica apropriada, de acordo com as particularidades do meio ambiente em que a estrutura será executada; a impermeabilização; e o acabamento da edificação. Esses processos, aplicados adequadamente, evitam que a umidade e o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) atinjam o aço da estrutura, dificultando, assim, o início do processo corrosivo. Para isso, o Projetista Estrutural deve conhecer a região e o entorno do local onde será executada a construção, devendo sempre levar em consideração as definições da norma NBR 6118 (ABNT, 2014), quanto ao cobrimento e à classe do concreto

a serem empregados. Essa norma estabelece que “a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do cobrimento da armadura”, além de definir requisitos mínimos que devem ser observados nos projetos para a execução dos elementos estruturais, e aconselha a realização de ensaios comprobatórios de desempenho e durabilidade da estrutura. Contudo, para algumas obras, seria totalmente

antieconômico a realização desses ensaios. Por isso, torna-se imprescindível conhecer o arcabouço normativo.

A correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto está detalhada na Tabela 2, e os valores mínimos do cobrimento necessário para a correta proteção das armaduras contra os efeitos nocivos do meio ambiente estão na Tabela 3.

Tabela 2: Correspondência entre a classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	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

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.  
<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: BRASIL (2014)

Tabela 3: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para Δc = 10mm

Tipo de Estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento Nominal mm			
Concreto Armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto Protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/Pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.  
<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15mm.  
<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.  
<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45mm

Fonte: BRASIL (2014)

A manutenção adequada é o meio para se mitigar os efeitos e evitar que os processos corrosivos levem as edificações já executadas ao colapso. Nesse contexto, existem vários trabalhos que demonstram a importância, inclusive econômica, de uma manutenção periódica e preventiva, cujo custo é até cinco vezes menor do que a manutenção corretiva, realizada para a correção de problemáticas

já instaladas no sistema, como a corrosão já propagada nas armaduras (BOLINA, TUTIKIAN e HELENE, 2019).

A NBR 14037 (ABNT, 1998) diz que é de suma importância a atividade de manutenção de uma edificação como forma de assegurar a durabilidade e preservação de suas condições de utilização durante a sua vida útil estabelecida em projeto (Gráfico 2).

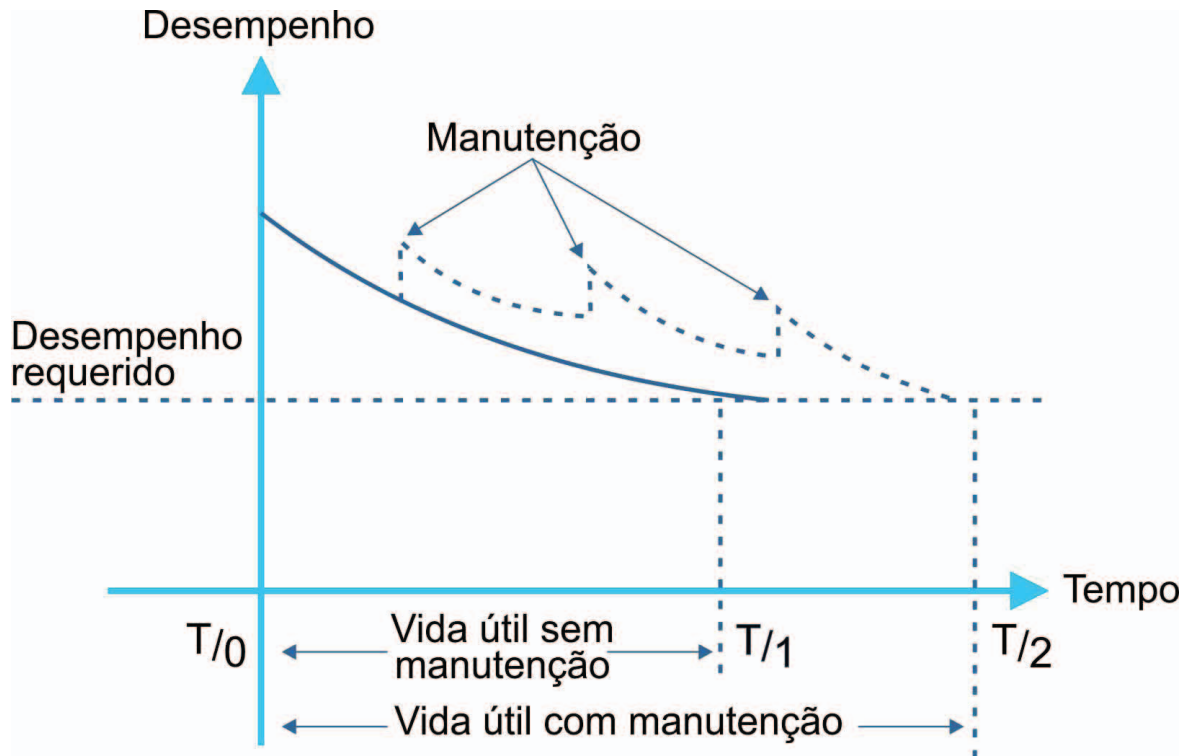


Gráfico 2 – comparativo da vida útil da edificação em função da manutenção.  
Fonte: lawtonparente.blogspot.com

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se constatar que a durabilidade da estrutura depende tanto da qualidade do material e das características do meio em que estará inserida a construção quanto da manutenção adequada que será aplicada à edificação.

A corrosão é uma problemática de consequências graves no Brasil, com capacidade para atingir entre 14% e 64% das edificações, dependendo da região e das peculiaridades do meio ambiente. Por isso, as seguintes observações são úteis para se evitar esse processo:

- O cobrimento do concreto funciona como uma película apassivadora, que protege a armadura da corrosão, por isso é importante observar os valores mínimos estabelecidos em norma, com o objetivo de evitar a carbonatação, que é um agente agressivo para as armaduras, pois acelera o processo corrosivo, facilitando o processo de oxirredução; e



b) O bom senso no cuidado e aplicação de material de qualidade adequada, complementado pela correta execução das especificações definidas em projeto, observando as normas em vigor, vão corroborar para a durabilidade desejada da estrutura e garantirão sua utilização de forma eficiente durante toda a vida útil para a qual fora projetada.

É nítido concluir que os profissionais de Engenharia e Arquitetura devem conhecer os processos patológicos que estão sujeitos a ocorrer em uma edificação, em especial o processo de corrosão nas armaduras dos elementos estruturais, uma vez que atingem diretamente os responsáveis pela sustentação da edificação, quais sejam, os pilares, vigas e lajes, além daqueles que integram a fundação.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-6118: Execução de Estruturas de Concreto Armado: Procedimentos. Rio de Janeiro. 2014.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14037: Manual de operação, uso e manutenção das edificações - Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro. 1998.
3. BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. Patologia de Estruturas. São Paulo, SP. Oficina de Textos, 2019.
4. CARRAZEDO, R.; FÉLIX, E.F.; POSSAN, E. Análise paramétrica da carbonatação em estruturas de concreto armado via Redes Neurais Artificiais. São Paulo. 2017. Revista ALCONPAT. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352>. Acesso em 15/01/2022.
5. CHIQUITO, Milriane Aires. Comparação de desempenho de aços de baixa liga frente à corrosão atmosférica e corrosão eletroquímica. Minas Gerais. UFMG, 2013.
6. GURGEL, B.; NASCIMENTO, J.; SILVA, R.; SILVA, E. Análise das Manifestações Patológicas causadas por corrosão nas Estruturas de Concreto Armado do Setor III da UFRN. Recife/PE. COMPAR. 2017
7. MAINIER, F. B.; LETA, F. R. O ensino de corrosão e de técnicas anticorrosivas compatíveis com o meio ambiente. Rio de Janeiro. UFF, 2001.
8. MERÇON F.; guimarães, P. I. C.; MAINIER, F. B. Experimentação no Ensino da Química. Sistemas Experimentais para Estudo da Corrosão em Metais. Rio de Janeiro, jan. 2011. Seção Artigos. Disponível em: [http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc33\\_1/08-EEQ6810.pdf](http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc33_1/08-EEQ6810.pdf). Acesso em: 07FEV2021.
9. NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. São Paulo. PINI, 1997.
10. RIBEIRO, Daniel Vêras. Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto: Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção. 2ª ed. São Paulo. LTC, 2018.
11. TICIANELLI, E. A.; GONZALES, E. R. Eletroquímica Princípios e Aplicações. 2ª Ed. São Paulo. USP, 2005.

#### Autor

**2ºSG-ES George dos Reis Santiago**

*Engenheiro Civil formado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Pós-Graduado em Engenharia de Estruturas de Concreto Armado pela Universidade Candido Mendes.*