

## ESTUDO DOS MÉTODOS DE PREVENÇÃO DA CORROSÃO NAS ARMADURAS

ÉBERTO ROQUE DOS SANTOS NASCIMENTO  
ENGENHARIA CIVIL  
[tec.eber@hotmail.com](mailto:tec.eber@hotmail.com)

MICHEL DIEGO DE SANTANA FONTES  
ENGENHEIRO CIVIL  
[michel.dsfontes@hotmail.com](mailto:michel.dsfontes@hotmail.com)

### RESUMO

A corrosão de armaduras é uma manifestação patológica que compromete o desempenho e a durabilidade da edificação. Este artigo procura analisar o mecanismo da corrosão de armaduras no concreto armado. Procedeu-se a análise dos elementos que permitem a iniciação do processo, sua propagação, efeitos e sintomas, relacionando-os com as características e propriedades do concreto. Posteriormente apresentamos as formas de inspeção, identificação e alternativas de recuperação e controle do processo. Sendo assim o presente trabalho tem por objetivo identificar as possíveis causas da corrosão de armaduras e apresentar métodos de prevenção que podem ser adotados durante a fase construtiva. Trazendo assim alguns resultados que apontam falhas no desenvolvimento dos projetos estruturais e na execução da obra, que ocasionaram a corrosão de armaduras, ainda em fase de construção do edifício, desta forma vale apenas ressaltar a importância em realizar adequadamente as fases do processo construtivo, adotando medidas preventivas para minimizar esse problema, e assim, proporcionar estruturas com maior durabilidade e segurança.

**Palavras-chaves:** Concreto armado; Manifestações patológicas; Corrosão das armaduras; Métodos preventivos.

## ABSTRACT

Reinforcement corrosion is a pathological manifestation that compromises the performance and durability of the building. This article seeks to analyze the mechanism of reinforcement corrosion in reinforced concrete. The elements that allow the initiation of the process, its propagation, effects and symptoms were analyzed, relating them to the characteristics and properties of the concrete. Subsequently, we present the inspection, identification, and recovery and control alternatives for the process. Thus, this work aims to identify the possible causes of corrosion of reinforcement and present prevention methods that can be adopted during the construction phase. Thus, bringing some results that point out flaws in the development of structural projects and in the execution of the work, which caused the corrosion of reinforcements, still in the construction phase of the building, thus it is worth emphasizing the importance of properly carrying out the phases of the construction process, adopting preventive measures to minimize this problem, and thus provide structures with greater durability and safety.

**Keywords:** Reinforced concrete; Pathological manifestations; Corrosion of armor; preventive methods.

## **INTRODUÇÃO**

O concreto chegou a ser considerado durante muito tempo como um material praticamente eterno. Entretanto, com os avanços tecnológicos no ramo da construção civil nos meados do século XX, começou a apresentar manifestações patológicas de significativa intensidade, sempre acompanhada de elevados custos de recuperação. Sendo assim o emprego do concreto armado no mundo contemporâneo procede de uma ampla disponibilidade do material a ser utilizado que é o aço e concreto. Tornando-se uma técnica extremamente versátil, e por isso, vastamente executada na construção. O maior inconveniente é que o aço utilizado nas armaduras está propenso a corrosão (GRANATO, 2012).

Dentre as manifestações patológicas encontradas no concreto armado, a corrosão de armadura se mostra como uma das mais frequentes e a que envolve maiores riscos à segurança. O processo de corrosão das armaduras é um processo de deterioração da fase metálica existente, que implica em crescente perda de seção de barras e a formação de produtos expansivos que invariavelmente fissuram o concreto. Este processo é evolutivo e tende a ser agravado com o tempo.

O desenvolvimento em ritmo acelerado da construção civil para atender uma demanda crescente por edificações sejam elas laborais, industriais ou habitacionais, impulsionado pela própria modernização da sociedade, promoveu um grande salto científico e tecnológico (AMBROSIO, 2004).

Tais avanços foram um dos fatores que contribuíram para o declínio da qualidade na construção civil, e do aumento do número das patologias nas construções. Deixando assim suscetíveis a diversas manifestações patológicas.

Segundo o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), uma das patologias que ocorrem com maior frequência nos edifícios é a corrosão das armaduras, principalmente quando expostas a ambientes agressivos.

A corrosão consiste na degradação de um material metálico por ação química ou eletroquímica, sendo um processo de oxirredução que pode estar ou não associada a esforços mecânicos. A corrosão eletroquímica pressupõe a formação de uma pilha eletroquímica de corrosão, onde existem regiões anódicas: com a passagem do material do estado metálico para o estado iônico; caracterizando o processo de oxidação, e regiões catódicas: onde os elétrons gerados na região do anodo são consumidos, evidenciando um processo de redução (FIGUEREDO; MEIRA, 2012)

O estudo patológico vem com finalidade de explanar tais manifestações com base em evidências, identificações das causas e efeitos vigentes nas edificações, elaborando assim seus diagnósticos e correções.

Segundo Lapa (2008), no artigo Patologia das Estruturas de Concreto, afirma que após concluir a fase de diagnóstico e prognóstico, o especialista passará para a fase de escolha das possíveis intervenções ao problema. Essas intervenções podem ser concluídas sob três diferentes causas, que são elas: o reparo - que consiste em corrigir pequenos danos da estrutura; recuperação - que visa devolver à estrutura o desempenho original perdido; e o reforço - que tem por finalidade aumentar o desempenho da estrutura.

Para obras civis, a corrosão eletroquímica é a mais preocupante, já que ocorre quando há contato da estrutura com meio aquoso, como: água ou ambientes úmidos. Este tipo de corrosão pode causar danos expressivos à armadura (ANDRADE, 1988).

Portanto, esta pesquisa bibliográfica com foco na corrosão nas armaduras de concreto armado, como também, a pesquisa de campo, vem de modo a fazer nós atentarmos sobre as ocorrências de tal manifestação patológica vigente nas estruturas. Tais pesquisas têm como objetivo adquirir mais conhecimento sobre o tema ilustrando as suas causas, métodos de prevenção e soluções para problemas patológicos. Pois a escolha deste tema vem da necessidade de inibir a ocorrência desta manifestação patológica presente nas estruturas de concreto armado que vem ocorrendo cada vez com mais frequência no dia a dia da construção civil.

## METODOLOGIA

O método da elaboração deste artigo científico, foi em uma revisão bibliográfica buscando entender as variáveis que influenciam neste processo e quais mecanismos controlam sua velocidade e intensidade, de modo ilustrar técnicas que venham a inibir esta manifestação patológica, abordando as principais causas e possíveis soluções, dando ênfase aos tipos patológicos mais ocorrentes.

O estudo de caso se dar por meio de técnicas da engenharia diagnóstica, bem como, a perícia técnica em campo de modo a aprofundar mais o conhecimento sobre a corrosão e, assim, oferecer subsídios para novas investigações sobre a mesma temática. O levantamento de dados se originou por meio de pesquisa eletrônica via internet, leitura de livros dos autores mais reconhecidos no ramo da engenharia civil, bem como, dissertações, publicações de revistas, boletins técnicos, monografias e congressos.

Para contextualizar o tema de modo adequado e suficiente, desde o ponto de vista dos limites da pesquisa, procedeu-se ao método de cruzamento das palavras-chaves associadas à pesquisa e que já foram demonstradas no resumo.

O levantamento da bibliografia teve início no primeiro semestre do ano de 2022, onde o mesmo se baseou em critérios de exclusão sistemática, os mesmos foram submetidos a uma síntese com a finalidade de caberem na orientação das análises ao desenvolvimento da produção autoral deste trabalho. Assim, em um primeiro momento, no que tange a seleção das produções literárias, se realizou a leitura analítica de trabalhos e artigos científicos encontrados na literatura, bem como participação de congressos sobre patologias, de acordo com o que fora enunciado.

## MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As manifestações patológicas e toda manifestação de problemas existentes nas estruturas, ou seja, todos sintomas indicando algum mecanismo de degradação (doença), onde eles precisam de um diagnóstico para detectar o que

ocasionou a patologia.

Souza e Ripper (1998) afirmam que o processo de sistematização do estudo da patologia das construções nos últimos tempos, e em específico no que diz respeito à patologia das estruturas (mas que pode também ser entendido perfeitamente às demais áreas ou sistemas das edificações), conduz ao estabelecimento de uma classificação preliminar dos problemas ou manifestações patológicas em dois grandes segmentos: os simples e complexos.

As estruturas de concreto armado apresentam, ao longo de suas vidas úteis, sinais de que algo não está a ocorrer como deveria e que essas estruturas precisam de intervenção. A sintomatologia é o estudo e interpretação do conjunto de sinais/sintomas observados que indicam os estados doentes. Na construção civil, trata-se do processo de identificação dos efeitos produzidos pelos agentes agressivos. As manifestações patológicas, salvo exceções, apresentam características em forma de sintomas com base nos quais é possível definir a sua origem, a causa, o mecanismo de ação e também estimar quais as consequências que a não regularização do problema pode acarretar.

Neste caso, as manifestações patológicas simples se remetem àquelas que podem ser analisadas e resolvidas através de uma padronização, sendo mais evidentes tanto o diagnóstico quanto o tratamento das mesmas e não demandando que o profissional responsável obrigatoriamente possua conhecimentos elevados sobre o tema.

## CORROSÃO DAS ARMADURAS

A corrosão de armaduras é um dos processos degradantes com maior incidência nas estruturas do concreto armado, pois é nele que ocorre a deterioração da estrutura metálica, que conseqüentemente provoca a perda de seção das barras de aço. Processo este onde o aço inserido no concreto armado retorna ao seu estado natural, ou seja, como foi encontrado e retirado

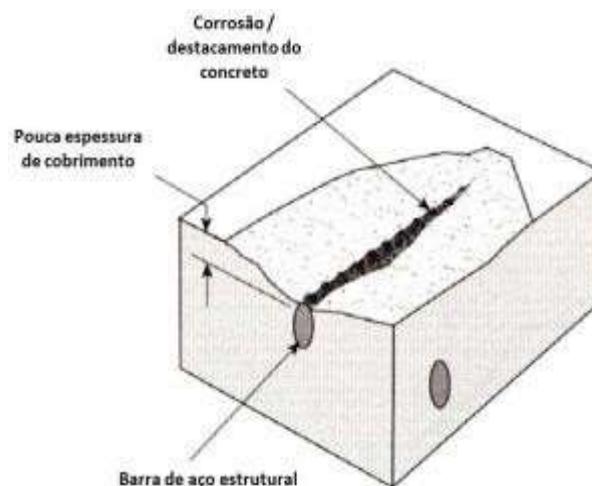
da natureza.

As estruturas de concreto armado estão suscetíveis à corrosão de armaduras, que é um dos principais problemas que comprometem a durabilidade e o desempenho dos edifícios. A corrosão de armaduras pode ser provocada por fatores físicos, químicos e biológicos (GIONGO, 2015).

A corrosão dos aços tem sido uma das principais manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado, trazendo grandes danos e prejuízos. Devido a isso, entende-se que este processo, por completo, de modo a impedir a sua ocorrência, ou restaurar elementos estruturais atacados, evitar que depois de curados, não sofram novamente esta anomalia.

Souza e Ripper (1998) caracterizam a corrosão das armaduras como sendo a deterioração da camada passivante localizada ao redor da superfície das barras. Sendo esta película formada pelo impedimento da dissolução do ferro, devido à alta alcalinidade da solução aquosa existente no concreto.

**Figura 1** – Corrosão das armaduras



Fonte: Risos Engenharia (2018)

A ISO 8044/2015 define corrosão como interação físico-química entre o metal e o meio, resultando em mudanças nas propriedades do metal, sendo prejudiciais a sua função ou ao sistema onde ocorra.

Entre os diversos tipos de reações químicas, tem-se o processo de

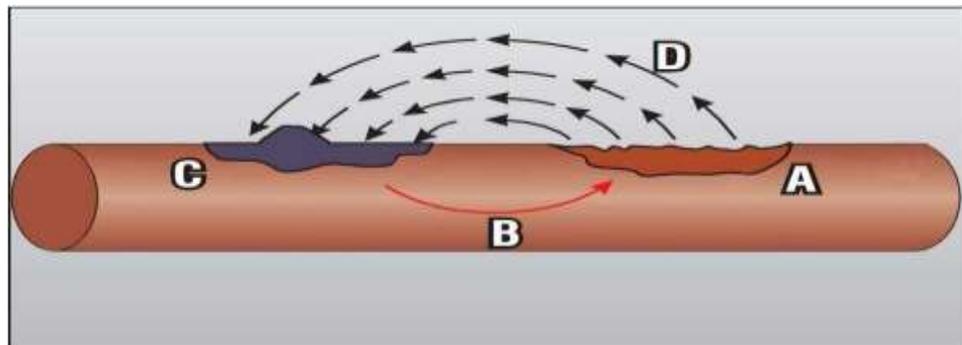
oxirredução que consiste em uma troca recíproca de elétrons, com formação de cátodos e ânodos.

Anodo:  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

Catodo:  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

Percebe-se que, pelo processo descrito, quando houver a formação de uma pilha eletroquímica ou eletrolítica, a corrosão do ânodo ocorrerá em estruturas de concreto armado, devemos evitar a formação de região anódica ou catódica, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Esquema de formação de região anodo e catodo em barra de aço.



Fonte: Inspeção equipto (2013).

A partir da Figura 2, entende-se que a formação de uma pilha eletroquímica, processo espontâneo, em que surge o aparecimento de uma corrente elétrica na região B, do catodo (C) para o anodo (A), o solo por exemplo ilustrado (D) serve como meio eletrólito, conduzindo íons do anodo para o catodo, ocorrendo a oxidação na região do anodo. Portanto, para impedir o problema de corrosão deve-se evitar a formação de região anódica e catódica.

A corrosão conduz à formação de óxidos e hidróxidos de ferro, produtos de avermelhados, pulverulentos e porosos, denominada ferrugem (ALMEIDA, 2013) Andrade (2001), explica que o mecanismo de corrosão eletroquímica é baseado na existência de um desequilíbrio elétrico entre metais diferentes ou entre distintas partes do mesmo metal, configurando o que se chama de pilha decorrosão ou célula de corrosão.

## CLASSES DE AGRESSIVIDADE

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a agressividade do meio ambiente independe das ações mecânicas, variações volumétricas devido a temperatura ou retração hidráulica, estando assim, relacionada apenas com ações físicas e químicas atuante na estrutura de concreto. Nesta NBR 6118 existem tabelas que expõe graus de agressividades ambientais (CAA) – ABNT NBR 6118/2014. Na tabela 1, a estrutura estará classificada dependendo da sua exposição ao ambiente. O projetista poderá se basear pela CAA, pois na mesma norma encontra informações que definirão a qualidade do concreto através da sua relação água/cimento (a/c) e da sua classe de resistência. Já a critério de cobrimento de uma peça estrutural pode se consultar através da tabela 2, onde pode ser avaliada simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

**Tabela 1** – Classes de Agressividade Ambiental (CAA) – ABNT NBR 6118/2014.

Quadro I - 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 <sup>1), 2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1), 3)</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>1)</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível 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).

<sup>2)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

<sup>3)</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT NBR 6118:2003. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Disponível em: <ccet.uema.br/Normas/NBR6118\_2003Corr%20-%20Projeto%20de%20estruturas%20de%20concreto-20Procedimentos.pdf>. Acesso em: 09 set. 2011

Fonte: ABNT (2014).

**Tabela 2** – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal

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  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canalizações 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  $\geq 45$  mm.

Fonte: ABNT (2014).

Percebe-se que a tabela de cobrimento aumenta na medida em que há aumento na CAA. Além disso, quanto maior for a classe, menor será o fator a/c, assim como maior a classe de resistência mínima para o concreto inserido no CAA. Tal fator remete diretamente à diminuição da porosidade dos concretos à medida que piora a CAA.

## CAUSAS DA CORROSÃO

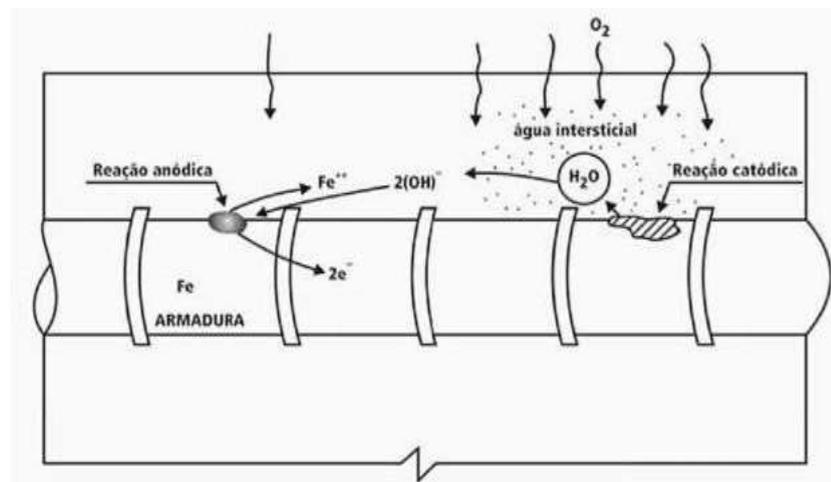
Na ocorrência de corrosão, é preciso de um conjunto de fatores que tornam o ambiente propício, são eles: a presença de moléculas H<sub>2</sub>O, de O<sub>2</sub>, área anódica, área catódica onde ficará os íons Fe, um condutor de transferência de cargas no caso seria a armadura e um eletrólito, sendo a solução aquosa existente no concreto.

Na atmosfera urbana, geralmente encontramos diversas impurezas, sendo os principais agentes agressivos: o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e a fuligem (BEVILAQUA, 2013).

O principal mecanismo de corrosão do aço no concreto se dá por meio eletroquímico, podendo ser corrosão localizada (conhecida como pites ou cavidades), onde geralmente ocorre em ambientes em contato com íons agressivos (cloretos) e sua formação se torna favorável na presença de O<sub>2</sub> e umidade, formando assim um ciclo fechado e localizado; já a corrosão generalizada, ocorre em função da redução de pH do concreto para valores menores que 9. O concreto fornece à armadura uma proteção alcalina, desde que seja homogêneo e compacto, pois possui um pH aproximado entre 12,5 e 13,5.

Conforme Fusco (2008), ocorrem duas reações, uma anódica e outra catódica. Na reação anódica, o ferro fica carregado positivamente de modo que ocorre a dissolução dos íons  $Fe^{++}$ , que passam para a solução. Na solução anódica, o Ferro irá atuar como eletrodo, junto do qual os elétrons liberados pelo anodo passam à solução, formando-se desta maneira o circuito elétrico, não havendo consumo do ferro no cátodo.

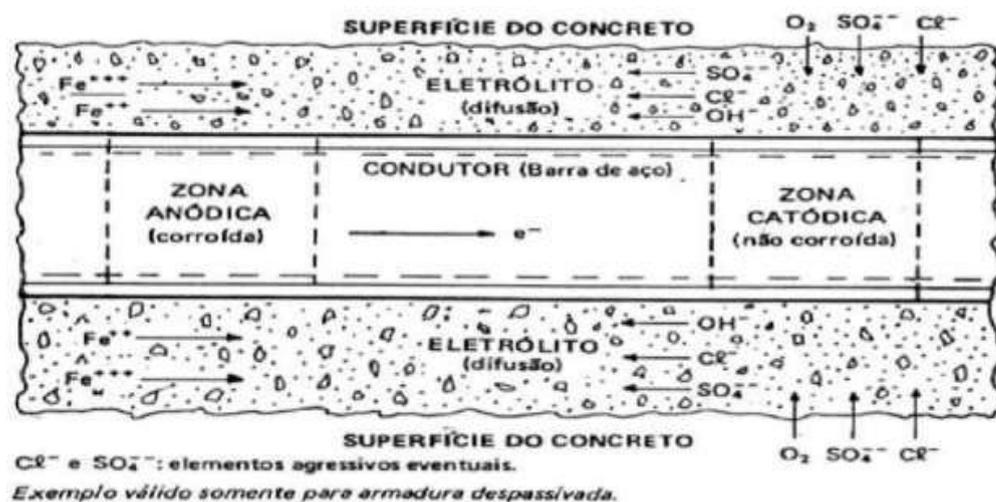
**Figura 2** – Mecanismo de corrosão na barra de aço.



Fonte: FUSCO (2008).

Na figura a seguir podemos perceber que em uma barra de aço que são alternadas, formando um efeito de pilha; a área de menor concentração de  $O_2$ , onde apresenta corrosão nas armaduras é a área anódica.

**Figura 3** – Célula de corrosão no concreto armado



Fonte: Helene (1986)

HELENE (1986) informa que para a ocorrência corrosão nas armaduras no interior do concreto são necessárias as seguintes condições:

Deve existir um eletrólito que permite a dissolução e movimento de íons ao longo das regiões anódicas e catódicas, gerando uma corrente de natureza iônica e, também, para dissolver o oxigênio. No concreto, podem ser eletrólitos: a água presente no concreto em grandes quantidades; alguns produtos da hidratação do cimento como portlandita e hidróxido de cálcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Deve existir diferença de potencial (ddp) - entre dois pontos aleatórios da armadura, seja pela diferença de umidade, aeração, concentração salina, 51 tensão do concreto e/ou no aço, impurezas no metal, heterogeneidades inerentes ao concreto, pela carbonatação ou pela presença de íons.

Deve existir oxigênio - Que regulará todas as reações de corrosão, dissolvido na água presente nos poros do concreto.

Há, ainda, a presença de agentes agressivos no eletrólito que podem acelerar a corrosão, como, por exemplo, os íons sulfetos ( $\text{S}^-$ ), os íons cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (CUNHA; HELENE, 2001).

Com base nesta análise a corrosão vem avançando da superfície do concreto até o interior na estrutura onde se encontra a armadura. Tendo dito isto, podemos definir que o revestimento do concreto é de tamanho eficaz com a proteção física, criando assim uma barreira impedindo a entrada de agentes agressivos para que não entre em contato com a armadura.

Segundo Adriana Araújo, pesquisadora do Laboratório de Corrosão e Proteção do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) a corrosão em edifícios é mais comum que começa na base dos pilares, que é a área mais exposta a agentes químicos e água durante as lavagens do piso das garagens. Em outro local que comumente ocorre o problema é nas juntas de dilatação, devido às infiltrações.

- **UMIDADE**

A umidade do ambiente influencia na presença de água nos poros do concreto e conseqüentemente contribui para o desenvolvimento da corrosão. Segundo Andrade (1988), quando a umidade relativa está entre 50% e 80% temos as condições ideais para o avanço da carbonatação.

Desse modo, podemos considerar que quando atingimos valores de umidade mais baixos ou mais altos, temos condições menos favoráveis para o início da

corrosão (MEIRA, 2017).

- **POROSIDADE DO CONCRETO**

A porosidade pode ser definida como o índice de vazios de um material, ou seja, o percentual do volume total ocupado pelos poros. O concreto é considerado um material poroso, devido à impossibilidade de preencher totalmente os vazios presentes em sua configuração, tais vazios ou poros eles apresentam em variadas dimensões onde as mesmas estão interconectadas e comunicantes entre a superfície do material vigente.

No caso do concreto, estes vazios permitem o transporte de água, gases e substâncias agressivas para o interior do concreto. O grau de porosidade está associado à granulometria, quantidade de cimento, fator água/cimento e quantidade de vazios (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007).

## **EXPOSIÇÃO A INTEMPERIE**

A exposição do concreto armado a intempéries gera a penetração dos agentes agressivos no concreto, e conseqüentemente chegando até as armaduras quando a proteção é insuficiente em relação à agressividade de um ambiente, as manifestações patológicas vão surgindo em poucos anos, levando assim ao deslocamento do revestimento, à fissuração intensa, ao desaparecimento das armaduras e, em último grau, à deformação e ao colapso da estrutura.

Os metais possuem uma proteção (passivação) feita por uma fina camada protetora na superfície do mesmo devido a presença da base  $\text{Ca(OH)}_2$  de  $\text{pH} = 13$ . Se o  $\text{pH}$  da camada passivadora cair para abaixo de 11, há formação de compostos ferrosos expansivos, resultando em um aumento no volume do aço problema. A passivação da estrutura deve estar garantida pela vida útil do concreto. O revestimento de cada estrutura deve ser pensado, buscando atingir esta lei, e sempre levando em consideração o ambiente e as condições de exposição às quais o concreto armado está submetido.

## **FISSURAS**

As fissuras são os primeiros sintomas a aparecerem em uma estrutura de concreto e podem se manifestar desde a concretagem até anos após ela.

Comumente falando as fissuras são aberturas que afetam a superfície do elemento estrutural tornando-se um caminho mais rápido para a entrada de agentes agressivos à estrutura, como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e os íons cloretos ( $\text{Cl}^-$ ), acelerando o processo de corrosão de armaduras e a degradação do concreto, as fissuras em si é

um tipo comum de manifestação patológica elas são diagnósticos prévios para decifrar algumas causas e danos que as estruturas vem sofrendo, elas interferem diretamente na estética, na durabilidade e nas características estruturais da obra.

Todas as construções, que tem sua estrutura executada em concreto, fissuras podem surgir depois de anos, dias ou mesmo em horas. As causas destas fissuras são várias e de diagnóstico difícil. O termo fissura é utilizado para designar a ruptura ocorrida no concreto sob ações mecânicas ou físico-químicas (FIGUEIREDO, 1989). É de suma importância diagnosticar a origem e o que está causando a fissura, pois se as causas não forem solucionadas, apenas cobrirá uma abertura. A sua configuração, sua abertura, posição, espaçamento e trajetória podem indicar como foi causada.

**Figura 4 – Fissuras**



Fonte: Mapa da Obra

## **CARBONATAÇÃO**

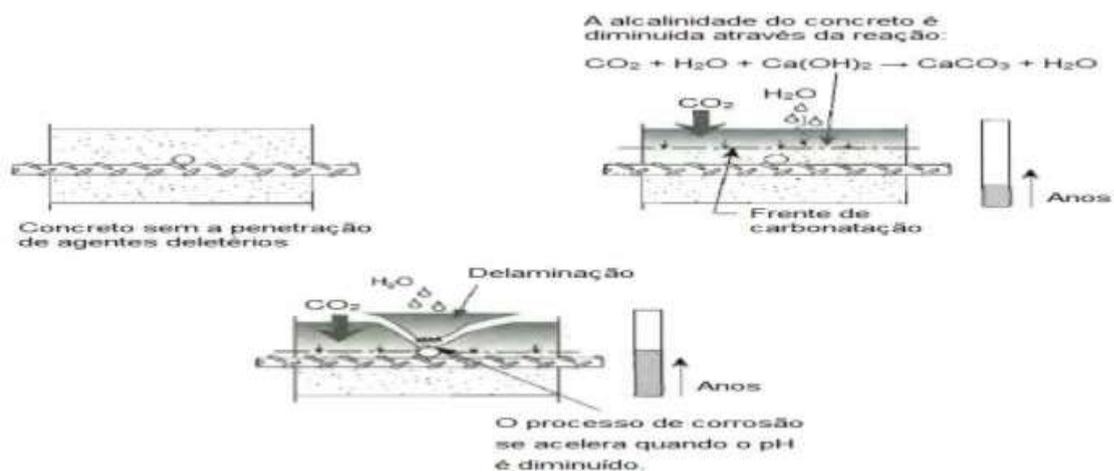
A carbonatação do concreto comumente é uma reação entre o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente na atmosfera e os produtos gerados durante a hidratação do cimento. O dióxido de carbono penetra nos poros do concreto através de difusão e reage com o hidróxido de cálcio no interior do concreto. Resulta na reação carbonato de cálcio, que afeta diretamente o pH do concreto causando a redução dele trazendo valores inferiores a 9 e à consequente perda da película passivante que protege as armaduras. Com a perda dessa proteção as armaduras estarão sujeitas à ocorrência de oxidação ou corrosão das armaduras caso haja a presença de oxigênio e água.

A carbonatação tem como ponto inicial a superfície e avança progressivamente para o interior do concreto formando uma “frente de carbonatação”; onde o processo

ainda não se perfectibilizou, o pH é próximo a 13, já nos pontos percorridos pela carbonatação, o pH é próximo a 8 (HELENE, 1986).

A despassivação da armadura ocorre justamente quando a frente de carbonatação atravessa o concreto de cobrimento e atinge a armadura, causando a perda da camada passivadora do aço, camada que protege a barra de corrosões. Desta forma, tem-se que a carbonatação do concreto proporciona o início do processo de corrosão da armadura (CASCUDO, 1997).

Figura 5 – Processo de carbonatação no concreto armado.



Fonte: Emmons, 1994 – (adaptado).

Segundo Silva referido por Lapa (2008, p.19), a velocidade do processo de carbonatação, em concretos de qualidade mediana, varia entre 1 a 3 mm por ano. Então, as armaduras protegidas por uma menor camada de cobrimento serão atingidas mais rapidamente pela corrosão. Desta forma, a espessura do cobrimento influencia diretamente o processo de corrosão por carbonatação.

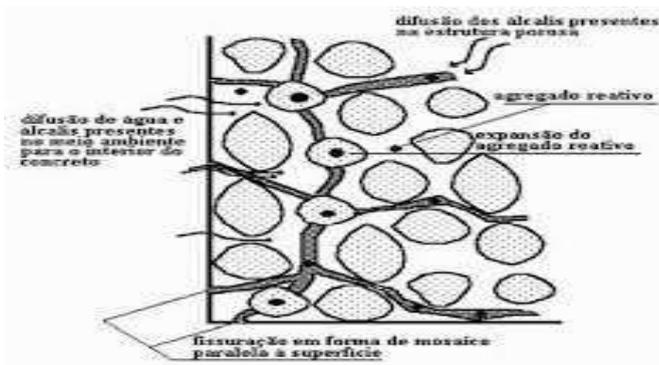
## REAÇÃO ALCALI- AGREGADO

Sabe-se que alguns agregados reagem com o potássio, sódio e hidróxido de cálcio no cimento, formando um gel que envolve esses agregados, esta reação é chamada álcali - agregado. Apesar de não haver ainda uma compreensão acerca dos seus mecanismos de causa, sabe-se que, quando este gel é exposto à umidade, ele se expande gerando tensões internas capazes de fissurar o concreto em torno dos agregados (ANDRADE,

2005).

É definido como reação álcali – agregado a formação de produtos gelatinosos acompanhada de uma grande expansão de volume pela combinação dos álcalis do cimento e com a sílica ativa finamente dividida, eventualmente presente nos agregados. Esta reação álcali – agregado é uma manifestação patológica que ocorre devido a interação entre os compostos hidratados do cimento com os minerais ativos do agregado, formando compostos que, na presença de umidade, podem levar a degradação e fissuração do concreto como ilustra na figura 06 e 07. Comumente este processo ocorre com agregados que contenham certos tipos de sílica amorfa (reação álcali – sílica) e com agregados de natureza dolomítica (reação álcali – carbonato). Desenvolvendo a abertura da camada passivadora do concreto, expondo as armaduras e estando suscetível a corrosão.

**Figura 6**– Desenvolvimento da reação álcali agregado



Fonte: CT – UFSM

**Figura 7** – Reação Álcali-Agregado



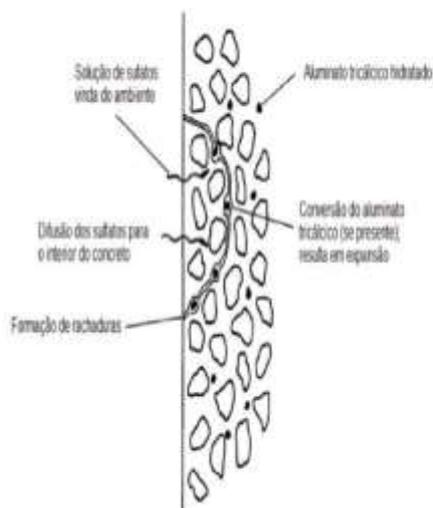
Fonte: Doc Player

## ATAQUE DE SULFATOS

Os sulfatos reagem facilmente com dois componentes da pasta de cimento: com o hidróxido de cálcio, formando a gipsita; e com o aluminato tricálcio, formando a etringita (ou também conhecida como “sal de Candlot”). Os dois produtos formados são expansivos e, portanto, capazes de gerar pressões internas suficientes para fissurar e romper a estrutura de concreto (SOUZA; RIPPER, 2009).

A reação dos sulfatos com o aluminato presente no interior do concreto causa sua expansão levando à formação de fissuras generalizadas.

**Figura 8** - Efeitos do ataque de sulfatos. **Figura 9** - Fissuras causadas pelo ataque de sulfatos.



Fonte: CEB, 1989 – adaptado



Fonte: CEB, 1989.

Essa fissuração facilita ainda mais o acesso dos sulfatos e agentes agressivos, levando assim à completa desagregação do concreto e abertura para corrosão.

Segundo Silva referido por Lapa (2008), assim como os cloretos, os sulfatos podem estar presentes na água de amassamento, nos agregados e até no próprio cimento. Nos casos de agentes externos, os sulfatos podem penetrar o concreto por difusão iônica ou por sucção capilar. O ataque dos sulfatos é caracterizado pela ação expansiva que gera altas tensões capazes de fissurar o concreto. Os principais sulfatos solúveis são comumente encontrados em minas e áreas de indústrias químicas. Os sulfatos de magnésio são os mais perigosos, contudo são os mais raros, ao contrário dos de sódio e cálcio que são facilmente encontrados nos solos águas e processos industriais.

Estas reações presentes no cimento, produzem a etringita, que se expande devido à água, exercendo fortes pressões e tensões internas fazendo a desintegração da pasta de cimento, como também a deterioração da matriz cimentícia causando um efeito danoso. Apesar de não atacar a armadura diretamente, a ação dos sulfatos favorece a penetração de  $\text{CO}_2$  e íons de cloreto, acelerando o processo de corrosão da armadura.

## **AÇÃO DE CLORETOS**

A ação de íons de cloretos no concreto pode ocasionar diversas manifestações patológicas no concreto, sendo uma delas ação de forma severa que provoca a despassivação do aço muito mais rápida, bem como uma corrosão localizada, tendo em vista que, ocorre trincas, fissuras, deslocamento do concreto e até mesmo eflorescência.

O motivo dessas manifestações patológicas se deve pelo fato de que o cloreto conserva umidade, o que vai favorecer a corrosão do aço da armadura. A intensidade do problema vai depender da concentração de cloretos, e de características como uso de aditivos, porosidade e permeabilidade do concreto (METHA; MONTEIRO, 1994).

Esses íons têm a capacidade de despassivar o aço mesmo diante do alto valor de pH extremamente alcalino, e ainda participam do processo de corrosão. Os parâmetros que influenciam o processo de carbonatação são basicamente os mesmos para a penetração de  $\text{Cl}^-$ . Também a relação água/cimento, cura e adensamento são fatores agravantes que diretamente influenciam na qualidade do concreto, tendo em vista a relação direta da ação dos cloretos, através da porosidade e fissuração do concreto. O pH do concreto afeta a concentração necessária de cloretos para que a corrosão possa ocorrer, onde eles ficam livres para reagir com o ferro presente no aço. Dessa forma, pode-se relacionar o processo de carbonatação e ataque dos cloretos: quando essas ações interagem, os efeitos são acelerados quando comparados aos efeitos das ações independentes como ilustra na figura a seguir:

**Figura 10** – Estrutura que sofreu ataque de íons de cloreto.



*Fonte: Cimento Itambé*

Isto é explicado por Emmons (1993), já que a carbonatação causa a diminuição do pH do concreto, tem-se que a quantidade de cloretos para o desencadeamento da corrosão é menor do que o pH alcalino original do concreto. Normalmente, estes dois processos agem em conjunto.

A temperatura também pode influenciar na ação dos cloretos e sua elevação favorece a mobilidade molecular, facilitando o transporte de cloretos pela microestrutura (FIGUEIREDO, 2005).

## **INFILTRAÇÕES**

Um dos principais problemas em estruturas e coberturas de concreto armado é a permeabilidade do concreto, pois ela permite que as águas plúvias e água de lavagem infiltrem ou penetrem dentro do concreto levando assim agentes agressivos para dentro do concreto, atacando assim as armaduras.

Tais infiltrações gera reações químicas externas e internas, gerando diversas manifestações patológicas, levando assim a desagregação do concreto, expondo assim as armaduras, gerando corrosão das armaduras.

## **OXIDAÇÃO**

A muitos acabam confundindo oxidação com corrosão. A oxidação nas armaduras é um processo menos agressivo comparado com a corrosão dos vergalhões, a oxidação é algo superficial, ou seja, aço sofre uma reação onde é produzido uma película de óxido de ferro, onde ele não houve a necessidade de contato com a água. Sendo assim por se tratar de um efeito superficial e não alterara seção da barra, e acaba não comprometendo a resistência do aço podendo assim ser normalmente utilizado. A corrosão ele é um processo mais agressivo,

já oxidação ocorre pela reação gás-metal, caracterizada por ser um processo lento, com formação de uma película de óxido e a ausência da deterioração superficial das barras de aço, salvo casos especiais onde os gases são extremamente agressivos (CASCUDO, 1997).

## MÉTODOS DE PREVENÇÃO

Para fazer uma recuperação estrutural, deve-se usar de alguns métodos para sanar tais situações, por exemplo a corrosão. É usual começar-se pelo diagnóstico das possíveis causas. Sinais mais comuns são: fissuras e trincas, corrosão da armadura, manchas na superfície, desagregações, deformação excessiva, e deficiências na concretagem. Há situações que o concreto se degrada naturalmente ao longo do tempo ou devido a ações externas e falhas de execução. Como elemento estrutural de suma importância para a segurança, o concreto deve ser devidamente recuperado. Se a perda de seção da barra for de até 10%, inicialmente deve-se efetuar uma limpeza correta em toda base, criando uma superfície aderente e marcando as áreas não deterioradas ou não aderidas. Em seguida, retira-se todo o concreto, para que se possa fazer a limpeza da barra e revesti-la com tintas anticorrosivas, e por fim preencher novamente a seção com um novo concreto. Entretanto, se a perda for maior que 10%, corta-se a parte da barra danificada, repõem-se com uma nova e amarra-a a um trecho íntegro da barra antiga. A maneira mais acessível e eficiente para preservar as armaduras, e evitar a corrosão vem já do processo de concretagem a execução da dosagem do concreto por exemplo tem que ser suficiente para cobrir toda armadura conforme o ambiente onde será exposto. Como podemos ilustrar na tabela 1.

Esses procedimentos aparentes têm como propósito atrapalhar a penetração de agentes agressivos na estrutura, possibilitando a saída do vapor de água. Segundo Meira (2017). São utilizados os seguintes métodos:

**Formadores de películas:** mais conhecidos como as tintas e os vernizes. As tintas são compostas por: resinas, solventes, pigmentos e aditivos. Já os vernizes por resina, solvente e aditivos. Não apresentam coloração e sua longevidade é menor comparando com as tintas.

**Hidrofugantes de superfície:** impossibilita a infiltração da água.

Empregam-se os silanos, siloxanos oligoméricos e a união desses. Não permitindo a penetração de agentes agressivos presentes na água.

**Figura 12** - Proteção de superfície com hidrofugantes.



Fonte: Portal AECweb

#### **Inibidores químicos de corrosão:**

Os inibidores de corrosão são substâncias ou misturas de substâncias que em condições adequadas, no meio corrosivo, reduzem ou eliminam os processos de corrosão. Podem ser classicamente tipificados quanto à sua composição (orgânicos ou inorgânicos) e quanto ao seu comportamento (oxidantes, não-oxidantes, anódicos, catódicos ou de adsorção/fílmicos). O tipo do inibidor a ser utilizado num processo industrial vai depender dos resultados esperados: inibir, retardar ou eliminar o agente corrosivo do meio; sendo que o seu principal objetivo é criar uma barreira de proteção entre o substrato metálico e o eletrólito. Os materiais básicos usados como princípios ativos na formulação desses inibidores são: ácidos graxos, ácidos naftênicos, aminas orgânicas, cromatos, polifosfatos, nitritos, sulfitos, sais de zinco e de estanho.

Para Gentil (1996), quando aplicadas em quantidades adequadas tendem a minimizar a corrosão. Para um resultado satisfatório deve-se identificar a causa patológica que deu início ao processo corrosivo; analisar os custos da operação; conhecer as características do inibidor, garantindo o tratamento de todos os metais presentes; respeitar as condições de adição e controle dos inibidores.

Gentil (1996) classifica os inibidores em:

a) **Inibidores anódicos:** bloqueiam as ações anódicas agindo no produto corrosivo recém-formado, aglutinando ao aço uma película insolúvel resultando na polarização anódica.

Para Helene (1986) esses são os Nitritos de sódio, Cromatos de potássio, Benzoato de sódio e Fosfato.

b) **Inibidores catódicos:** formam o abastecimento de íons metálicos para enfrentar a alcalinidade catódica, dificultando a multiplicação do oxigênio, diminuindo os impactos da corrosão na armadura.

Para Helene (1986), os Sulfitos são acrescentados ao concreto para diminuir a ação dos cloretos.

c) **Inibidores de absorção:** atuam como cutícula protetora, podendo atuar tanto nos anódicos quanto nos catódicos. Essas películas correlacionam-se com a velocidade do fluido, volume e concentração do inibidor usado, temperatura do ambiente, período de contato entre o inibidor e a superfície metálica, mostrando eficaz mesmo em pequenas porções (Gentil, 1996).

- **Bloqueadores de poros:**

Este método contém um tipo de material composto por silicatos, o qual permite que a superfície fique menos esburacada, assim dificultando a penetração da água.

- **Galvanização das armaduras:**

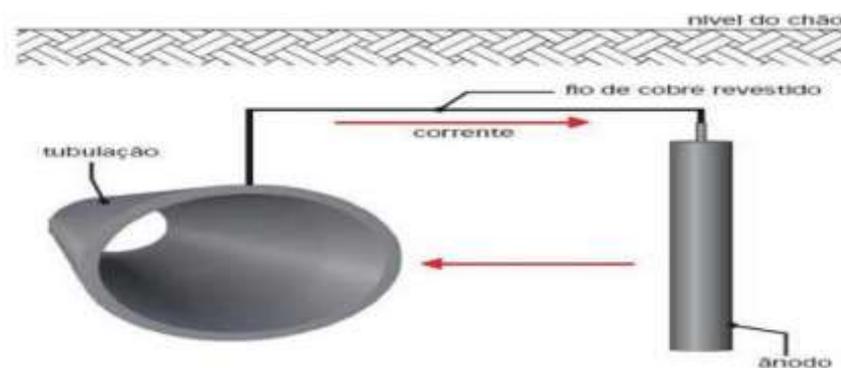
A galvanização ocorre a partir da aplicação de partículas de metal líquido na superfície limpa e rugosa do aço, o qual após seu endurecimento apresenta uma superfície pouco porosa com a finalidade de aumentar a resistência aos agentes corrosivos. Nesse tipo de revestimento não apresenta emendas, diminuindo assim a possibilidade de trincas e fissuras, em sua maioria são impenetráveis a infiltrações, é de fácil e rápida aplicação, propicia reparos localizados um bom custo/benefício (FRAUCHES - SANTOS, et al, 2014).

Segundo Goes (2013) a galvanização do aço é constatada como um processo preventivo e não como um meio de recuperação da corrosão.

## ■ PROTEÇÃO CATÓDICA GALVÂNICA

Na proteção catódica galvânica, também chamada de proteção por ânodo de sacrifício, a corrente elétrica necessária para o funcionamento do sistema é promovida pela força eletromotriz entre o metal que se deseja proteger (cátodo) e o outro metal, escolhido como anodo. É do material escolhido como ânodo que fluem os elétrons que formam a corrente elétrica do sistema, ou seja, é ele que oxida. Este processo de oxidação pode ser interpretado como um sacrifício deste material para “salvar” outro e por isso leva o nome de anodo de sacrifício. O sentido real da corrente elétrica está indicado nas setas constantes na figura 10.

**Figura 14** – Sistema de proteção catódica galvânica



Fonte: *Infraestrutura urbana*, (2018).

### **Impermeabilização:**

Uma boa impermeabilização garante a durabilidade do concreto de modo a inibir a passagem de agentes agressivos para dentro do concreto e conseqüentemente atingir as armaduras, de forma indireta a impermeabilização ajudar a inibir a corrosão uma vez que não haverá passagem de contaminantes.

**Figura 15 – Impermeabilização**



Fonte: Portalvidalivre, (2018).

**Tabela 03 - Tipos de tratamento superficial e suas características**

Tipo de tratamento	Material	Apresentação comercial
Pinturas e selantes	Acrílico Epóxi Poliéster Polietileno Poliuretano Vinil	Tinta Resina Emulsão Selante
Hidrofugantes	Silicone Siloxano Silano	Solução Dispersão
Bloqueadores de poros	Silicato Fluoreto de Silício Dispersão do cimento	Solução Dispersão

Meira, 2017.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As manifestações patológicas das estruturas de concreto armado podem decorrer de diversos fatores, dessa forma, a realização de estudos que buscam investigar, caracterizar e diagnosticar essa problemática são indispensáveis para que a recuperação dos elementos danificados seja feita de forma eficiente.

A corrosão nas armaduras é o fenômeno mais freqüente que qualquer outro fenômeno de degradação de concreto armado, comprometendo tanto do ponto de vista de segurança, quanto do estético, sendo sempre dispendioso o seu reparo ou recuperação. A fiel observância

dos cobrimentos mínimos, da qualidade do concreto e da execução, poderá evitar este problema.

Portanto, entender as causas e origens desses problemas, 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, sendo assim o conhecimento das origens, formas de manifestação e os mecanismos de deterioração das estruturas é de fundamental importância, pois a partir deste estudo definimos que o conhecimento sobre esta manifestação patológica é de grande valia, tanto para a segurança como para a durabilidade e maior vida útil das edificações, bem como, de intenção para ser uma base para estudos mais aprofundados, com intervenções e ensaios práticos, tendo a característica sintética das ocorrências patológicas nas estruturas, com verificação dos procedimentos das normas é cautela para evitar o avanço de cada etapa.

## REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 14931. **Execução de estruturas de concreto - Procedimento**, 2004.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 15575. **Edificações habitacionais** — Desempenho, 2013.

AGUIAR, J. E. **Durabilidade, proteção e recuperação das estruturas**. Notas de aula. Especialização em Construção Civil (Especialização) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2011.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. Patologia das Estruturas. In: **ISAIA**, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

AZEVEDO, M. T. Patologia das Estruturas de Concreto. In: **ISAIA**, G. C. (Ed.). **Concreto – Ciência e Tecnologia**. v.2; São Paulo, 2011.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. Tradução de M. Celeste Marcondes, Beatriz Cannabrava. São Paulo: PINI, 1988,

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**: Inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: PINI, 1997.

FREIRE, K. R. R. **Avaliação do Desempenho de Inibidores de Corrosão em Armaduras de Concreto**. 2005. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

HELENE, P.R.L. C. **Avaliação do Estado de Corrosão em Estruturas de Concreto**: Um caso prático. In: CONPAT - Congresso de Patologia das Construções Brasil, 2020. Online.

HELENE, PAULO R.L. **Tecnologia de edificações**. Corrosão de armaduras para concreto armado. São Paulo: Editora Pini, p. 597-602.

NEVILLE, A. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

PAULO H, PAULO R. L. **Manual para Reparo**, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto. São Paulo: Pini, 1997.

PIANCASTELLI E. M. Patologia, **Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Ed. Departamento de Estruturas da EEUFMG – 1997.

RIBEIRO, DANIEL Verás. **Corrosão em Estruturas de concreto armado**: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.