



PATOLOGIA EM ESTRUTURAS: CORROSÃO NO CONCRETO ARMADO - ESTUDO DE CASO

Iza Karla Rodrigues de Souza Caldas¹, Núbia Alves de Souza Nogueira²

Resumo: A degradação de concreto armado afeta muitas estruturas em todo o mundo. Isso preocupa bastante, pois há um grande impacto econômico e social. Essa patologia acaba comprometendo economicamente, pois estruturas que deveriam durar muitos anos, acabam se desgastando. Muitos desses gastos poderiam ter sido evitados através de medidas preventivas. Esta pesquisa tem como objetivo principal estudar estratégias como meio de prevenção, e assim, consequentemente, estender a vida útil das estruturas. Para isso foi realizada uma pesquisa bibliográfica, com intuito de abordar as temáticas da área. Foram apresentadas diversas formas para prevenir e combater a corrosão, enfatizando a importância preventiva para se ter construções com durabilidade e eficiência. Alguns pontos da norma NBR 6118/2014 foram apresentados. Para estar enfatizando a prevenção como solução mais viável, foram citados dois casos estruturais, no qual destaca-se a corrosão como sendo um dos fatores por desencadear danos estruturais.

Palavras-chave: Prevenção. NBR 6118/2014. Degradação de concreto armado.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Meira (2017) degradação de estrutura de concreto armado afeta a construção civil em todo o mundo e apresenta maior preocupação em zonas costeiras, onde atinge obras que seriam consideráveis dentro da vida útil. Para defender seu ponto de vista, o autor cita casos de obras com menos de 25 anos que apresentam deterioração em armadura pela corrosão.

A deterioração da estrutura de concreto armado causa implicações estruturais e inviabilidade econômica de determinada obra. A corrosão de armadura é uma das mais comuns e ofensivas para a estrutura, capaz de estar associada a outras manifestações patológicas, como erros de executivos e projetos.

Toda estrutura tem como objetivo um tempo de vida útil com intuito de garantir condições mínimas de segurança, estabilidade e funcionalidade onde venha ser dispensável a manutenção ou reparo.

A contaminação do concreto armado com ambiente não causa apenas a degradação, mas também pode abalar a durabilidade e a estabilidade. Helene (1993) afirma que toda a corrosão é proveniente de duas naturezas, sendo ela química e eletroquímica, na qual a corrosão presente no aço em meio a umidade é de natureza eletroquímica.

Em visão econômica a recuperação de construções que foram afetadas por essa patologia em questão gera gastos consideráveis, um país em desenvolvimento pode ter o seu Produto Interno Bruto (PIB) comprometido 1,25% a 3,5%, no entanto tem ações feitas que excedem este limite. A intervenção feita para a manutenção de um edifício em grau de deterioração, teve custo de 40% referente ao valor da sua construção (MEIRA, 2017).

Muitos desses gastos poderiam ter sido evitados através de medidas preventivas, portanto nosso objetivo é salientar a importância de estar adotando estratégias como meio de prevenção, e assim consequentemente estender a vida útil das estruturas. Demonstrando que a prevenção não é apenas uma forma viável, mas é mais segura e econômica em comparação a manutenção e a reparos nas estruturas afetadas pela corrosão.

¹ Discente do curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Ufersa Angicos

² Docente do curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Ufersa Angicos

Este trabalho tem o objetivo de estudar a corrosão em estruturas de concreto armado com ênfase na prevenção de estruturas. Ao longo deste trabalho iremos abordar os principais meios para prevenir e combater a corrosão, enfatizando a importância preventiva para se ter construções com durabilidade e eficiência. Com isso esperamos contribuir para um maior entendimento e incentivar adoção de práticas que favoreçam a conservação das estruturas de concreto armado, minimizando os custos e reduzindo as consequências negativas relacionadas com a recuperação dos danos causados pela corrosão.

Este artigo está dividido em cinco seções e está organizado da seguinte forma. A Seção 2 descreve a metodologia empregada neste artigo, enquanto as pesquisas relacionadas ao tema deste artigo, bem como alguns conceitos teóricos são ilustrados na Seção 3. A Seção 4 apresenta uma descrição de projetos que sofreram com a estrutura afetadas pela corrosão. Por fim, a Seção 5 apresenta as considerações finais desse trabalho.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para elaboração dos objetivos pretendidos, na metodologia de pesquisa foi aplicado uma pesquisa bibliográfica, com intuito de abordar as temáticas da área, identificar como a corrosão age no concreto armado e desvantagens que pode vir ocasionar em uma obra. Para isso, foram realizadas buscas em bases de dados, como Google Acadêmico, IEEE Latin America e Scielo.

Em seguida, foi feita uma pesquisa explicativa, para identificar as situações que contribuíram para a ocorrência da corrosão no concreto armado, visando conhecer para evitar.

3 DESENVOLVIMENTO

Nesta seção são apresentados conceitos técnicos e teóricos sobre o tema desta pesquisa. Assim, primeiro será abordado sobre o concreto armado. Posteriormente, é exposto sobre agentes facilitadores da corrosão da armadura, exemplificando classes de agressividade ambiental de acordo com ambiente que está inserido e descrevendo a relação água/cimento e o cobrimento nominal do concreto. Por fim, são abordados processos e tipos de corrosão.

3.1 Concreto armado

Os materiais utilizados na fabricação do concreto são agregados graúdos e miúdos, Cimento Portland e água. O comportamento final do concreto só é possível devido a junção dos materiais citados anteriormente, se tirarmos alguns desses componentes teremos um material com uma finalidade diferente do concreto, isso ocorre porque cada ingrediente contribui para o desempenho do concreto, e sem a união dos mesmos teremos outros materiais com diferentes propriedades.

Um exemplo disso se dá pelo fato de que utilizamos mistura de cimento e água obtemos uma pasta, que quando adicionamos agregados de miúdo dispomos do chamado de argamassa, mas quando adicionamos agregados graúdos temos o concreto.

Os agregados de graúdos usados no concreto contribuem para se obter resistência ao desgaste por atrito entre outros benefícios. Já a pasta tem o papel de dar fluidez e envolver os agregados e assim podendo obter o adensamento do concreto.

O concreto tem a função de revestir a armadura de liga metálica utilizada na fabricação do concreto armado, o adensamento do concreto induz para obtermos um bom produto, pois influencia na permeabilidade, resistência mecânica e consequentemente na sua durabilidade (PARIZOTTO, 2017).

3.2 Agentes Facilitadores da Corrosão da Armadura

O processo de corrosão pode ser desencadeado por diversos fatores, entre estes fatores em questão está a relação com meio ambiente, para que possamos ter uma durabilidade necessária devemos buscar compreender os efeitos que o meio ambiente tem sobre o concreto

armado. Este ponto necessita ser analisado desde a criação do projeto arquitetônico. Pois de acordo com a Norma da NBR 6118/2014 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, dependendo do ambiente teremos diferentes risco de deterioração. Pois a corrosão tende a se desenvolver de acordo com o nível de agressividade ambiental, partindo deste ponto é possível escolher adequadamente o tipo de concreto, o recobrimento mínimo necessário, e outras medidas cabíveis.

A classificação da agressividade de acordo com Helene (1999) varia de acordo com o macroclima e a atmosfera em que se está inserida, esta atmosfera pode ser classificada como sendo rural, submersa, urbana marinha, industrial e respingo de maré. Os conceitos defendidos pela autora condizem com a norma NBR 6118/14 (ABNT, 2014) que classifica a agressividade conforme Quadro 1. Esta classe de agressividade varia de acordo com meio da atmosfera que o concreto está inserido na estrutura.

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental de acordo com ambiente que está inserido

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

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

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

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

Fonte: ABNT (2014).

3.2.1 Relação água/cimento

A relação água/cimento pode ser destacado como sendo facilitadora de corrosão pelo fato de poder facilitar a entrada de agentes em contato com o metal quando não se utiliza a quantidade adequada de água. A relação entre a classe de agressividade ambiental e água/cimento indica a maior quantidade de água que é permitido de acordo com o ambiente em que a obra está exposta, isto pode ser observado no Quadro 2. Esta relação afeta diretamente a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade (ABNT, 2014).

Quadro 2 – Relação entre a classe de agressividade ambiental e água/cimento

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. ^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. ^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT (2014).

O Quadro 2 aborda diferentes tipos de dosagem do concreto, onde faz relação com a classe de agressividade da obra, a partir da agressividade da obra é possível escolher qual é a relação água/cimento mais adequada para o nível de agressividade presente e qual a menor resistência à compressão exigida. Essa informação vai variar também de acordo com a aplicação do concreto (ABNT, 2014).

Partindo desse ponto de dosagem adequada é possível ter concreto que consiga atender a diferentes tipos de ambientes. Ribeiro (2021) relata que essa relação garante determinar os limite de porosidade de acordo com a classe de agressividade, o autor explica que a medida que temos um ambiente com o nível de agressividade considerado alto, deve-se ter um cimento menos poroso e isso se dá pelo fato da quantidade de água diminuir no concreto. Então, por sua vez, a redução de água em relação ao cimento é uma das variáveis existentes utilizada para não ter uma estrutura com durabilidade e vida útil reduzida.

3.2.2 Concreto de cobrimento

Concreto quando é misturado com água apresenta uma reação química no qual torna o concreto alcalino com o Potencial Hidrogeniônico (pH) em torno 12,5, esse processo químico é importante, pois ajuda a proteger a armadura presente no concreto (GENTIL, 2022).

Um outro parâmetro importante é a espessura do cobrimento do concreto, para garantir uma armadura protegida o cobrimento mínimo deve ser respeitado e assim evitar deterioração da estrutura. A NBR 6118/14 indica os cobrimentos mínimos de acordo com a classe de agressividade, isto pode ser observado no Quadro 3.

Helene (1993) afirma que o concreto atua como uma barreira física e química, protegendo contra agentes corrosivos externos. Um bom cobrimento, teor de argamassa adequado e homogêneo, é essencial para proteger o aço contra agentes corrosivos externos como aqueles presentes na atmosfera urbana, industrial em água do mar e outras fontes de poluentes. Ao formar essa barreira protetora, o concreto dificulta que os elementos básicos para a corrosão eletroquímica entre em contato com o aço, como a água e o oxigênio, além disso, o concreto também protege contra danos mecânicos, físicos e ajuda manter a estabilidade química.

A referida norma define os requisitos para os projetos e execução de estruturas de concreto armado, o cobrimento nominal é um dos principais elementos desta norma, cobrimento nominal é o nome que se dá ao espaçamento que tem que existir entre o aço de reforço e a sua superfície. Esse espaço por sua vez é preenchido pelo concreto que irá revestir a armadura, esse espaçamento varia conforme a norma específica mínima de cobrimento que por sua vez varia

de acordo o componente das estruturas, como vigas lajes, pilares e fundações e em relação ao ambiente em que as peças serão expostas seja ele marítimo, industrial ou rural, essa variação ocorre devido aos diferentes níveis de agressividade ambiental existente.

Deve-se ter o controle a respeito do cobrimento na hora de executar obras, pois espessura insuficiente pode acarretar problemas de segurança e durabilidade e caso ocorra o cobrimento excessivo da armadura pode vir afetar a aderência do concreto na armadura que por sua vez compromete a eficiência da estrutura. É admissível uma variação de 10mm, para mais ou para menos, no cobrimento, no entanto essa tolerância é para ser usada com cautela para garantir a qualidade e a durabilidade da estrutura (RIBEIRO, 2018).

Quadro 3 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b 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 ≥ 15 mm.

^c 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.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT (2014).

No entanto, é importante ressaltar que, o cobrimento do concreto tem relação direta com a vida útil do elemento, fazer uso da possibilidade de redução do cobrimento nominal gera redução na vida desse elemento; reduzir 5mm pode significar uma redução de 15 anos na vida útil. Por exemplo, se o ambiente no qual será feito o projeto necessitar de um elemento estrutural com a cobertura nominal de 30mm e o projetista utilizar 25mm, pode ocorrer problemas de corrosão com 35 anos de uso quando o problema deveria ocorrer com 50 anos (RIBEIRO, 2018).

3.3 Processo de Corrosão

A corrosão resulta na perda de massa do material, esse processo é espontâneo e se dá devido a necessidade que o material tem em atingir o seu estado de menor energia, para assim poder chegar no seu estado mais estável. Na maioria desse processo tem comportamento de transferência de elétrons e íons entre dois locais.

A corrosão tem como um de seus processos mais comum a corrosão eletroquímica, que demanda que haja a troca de elétrons entre ambas as partes, esse processo se dá por meio de

ganho e perda de elétrons, e para que isso venha ocorrer é crucial que tenha uma agente oxidante em contato com o metal, para que venha ocorrer corrente catódica onde os elétrons presente no metal começa migrar e assim assume o papel de cátion (RIBEIRO, 2018).

O processo de corrosão tem basicamente dois tipos que podem ocorrer no concreto armado, conhecida como sendo corrosão química e corrosão eletroquímica. A corrosão química é proveniente do contato entre o metal e o gás presente no ambiente, no entanto esse processo tende a causar menos danos por ser mais lento, já a corrosão eletroquímica é o processo que ocorre em meio aquoso que gera a reação de oxirredução esse tipo de corrosão só é possível quando armadura não protege a liga metálica dos agentes corrosivo externos e por sua vez ocorre diferença de íons formando a macro pilha, e a água presente assume o papel de eletrólitos (CASCUDO, 1997).

Alguns fatores podem facilitar o processo de corrosão da armadura do concreto e consequentemente diminuir a vida útil do projeto. O autor Gentil (2022) destaca alguns dos fatores e relata qual o seu comportamento e de que maneira a corrosão pode ocorrer e danificar a estruturas. A carbonatação pode desencadear a corrosão, é um processo onde o dióxido de carbono presente no ar ou na água reage com hidróxido de cálcio presente no concreto, formando o carbonato de cálcio que pode reduzir o pH do concreto. A carbonatação resulta na perda de propriedade, porém a velocidade que esse enfraquecimento tem de atingir a estrutura depende de dois fatores, a umidade presente no ambiente, e a relação água/ cimento. O concreto cujo a sua composição tem uma maior presença de água que cimento terá carbonatação facilitada, porém se houver mais cimento a carbonatação será mais lenta.

Além disso, Gentil (2022) explica como a solução de ácidos pode ocasionar deterioração do concreto, deterioração acontece pelo fato dos ácidos se comportarem como componente do concreto e reduz os valores do pH. O contato direto com ácido orgânico, ácido forte e chuvas ácidas causam corrosão do cimento no concreto e, só então, passa a atacar armadura presente no concreto armado. Essa corrosão é comum em chuva ácida, indústria e poluentes.

Reações álcali-agregados podem trazer sérias consequências ao concreto. A reação só se torna possível quando o concreto, com base alcalina, passa a ter contato com algum agregado considerado alcalino forte. Um exemplo de alcalino forte citado por Gentil (2022) é a sílica, que, ao entrar em contato do concreto, pode ocorrer uma reação álcalis. Esta reação pode acarretar danos, resultando em endurecimento anormal concreto, expansão e fissuras, por causa da formação do gel de sílica.

Os sais podem ocasionar danos ao concreto que por consequência podem afetar a armadura, os danos são ocasionados pelo fato dos sais se assumir com um eletrólito. Eletrólitos têm a função de conduzir os íons, e é essencial para que aconteça o processo de corrosão no metal. Alguns desses sais são considerados agressivos para o concreto, pois podem acarretar a perda de hidróxido de cálcio. Os sais de amônia, são um exemplo de sais que podem acarretar danos, o hidróxido de cálcio é relevante para proteção alcalina. A perda resulta no enfraquecimento do concreto, e consequentemente reduzindo a sua função como agente protetor da armadura.

A água do mar contém a presença de cloreto e sulfato, isso faz com que a água do mar seja responsável por estragar construções de concreto. No entanto, a água do mar pode afetar de várias maneiras diferentes, dependendo do nível da água em relação à estrutura de concreto.

A maior probabilidade de uma construção resistir a água do mar, é quando ela está sempre submersa na água. Em uma construção que tem variação da sua área molhada pelo mar, tende a ser mais afetada pelo o fato de possibilitar ter uma área seca e depois úmida repetidas vezes, isto facilita para que haja acúmulo de resíduos na superfície do concreto o que leva a corrosão. A construção onde a estrutura é exposta à maresia, é menos severa que as situações anteriores. Na construção com área engastada, essa geralmente não apresenta corrosão (GENTIL, 2022).

Quando tem-se umidade em encontro com gás sulfeto, forma o gás sulfídrico. Quando se tem reação dele com concreto armado gera sérias complicações. O ácido sulfúrico quando

está em contato com ferro, acontece uma reação química onde tem como resultado o hidróxido de ferro, o hidróxido de ferro pode penetrar no metal tornando-o frágil, resultando em problemas mecânicos nas estruturas (GENTIL, 2022).

Quando se tem uma construção que utiliza concreto armado e está em local poluído, pode resultar em danos devido a presença de bactérias no ambiente. Vamos supor que o ambiente da construção favorece a presença de bactéria, como *Thiobacillus thiooxidans*, essa bactéria tem a capacidade de transformar composto contendo enxofre em ácido sulfúrico. O ácido sulfúrico é responsável por diminuir o pH do concreto, e pode vir a corroer o aço presente no interior do concreto (GENTIL, 2022).

A corrente elétrica de fuga é mais um problema que pode estar presente no concreto armado, no entanto para que isso possa ocorrer é necessário que ele esteja engastado ou submerso, causando danos na estrutura metálica. O concreto é responsável por proteger a estrutura metálica, mas se de alguma forma não conseguir exercer sua função de proteger o interior do concreto, as correntes elétricas vão conseguir acesso a armadura de aço, que consequentemente vão sair da armadura querendo voltar para seu lugar e origem, podendo então ocasionar ferrugem na armadura proveniente da corrente de fuga. O concreto que apresenta baixa resistência elétrica à água pode conseguir passagem para o interior do concreto através de rachaduras no concreto. (GENTIL, 2022).

Resistividade elétrica é importante quando o assunto é corrosão. Pois, a resistividade concreta indicará o quanto vulnerável está, quando a resistividade elétrica for maior que $20 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$, significa que está menos vulnerável à corrosão, mais a medida que a resistividade se aproxima de $5 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ sua vulnerabilidade aumenta. Algumas substâncias podem aumentar a vulnerabilidade, entre elas estão: sais, cloreto, sulfatos e nitratos de concreto.

Porosidade e permeabilidade é importante no processo de corrosão tendo em vista que à medida que se tem um material com essas características ocorre penetração de soluções eletrólitos e de gases como oxigênio e como consequência irá acelerar o processo corrosivo. Fissuras e trincas facilitam o ataque agentes corrosivos, pois haverá penetração de substância. Sua origem pode ter enumera causa entre ela está a solicitação de esforço mecânicos, até mesmo o próprio processo corrosivo cria pressão dentro do concreto que tem como resultado rachaduras (GENTIL, 2022).

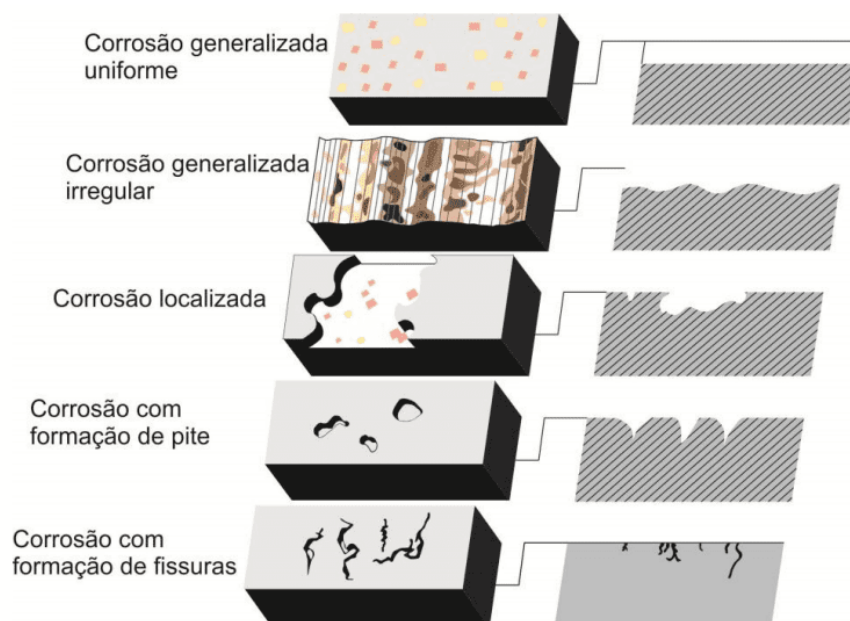
3.4 Tipos de Corrosão

A corrosão pode ser classificada de duas formas, na qual se comporta de maneira distintas. A corrosão generalizada apresenta o desgaste quase uniforme, enquanto a corrosão localizada, apresenta uma área mais restrita, no entanto, ambas classificações tendem a entrar em contato com armadura.

A manifestação de corrosão pode se apresentar com formatos e aparências diferentes na superfície do material. É fundamental entender essas variações, pois pode ter impacto na integridade do material e na sua durabilidade.

Na Figura 1 é destacado alguns tipos de corrosão que podem se manifestar na superfície do material. Na corrosão generalizada, a corrosão tende ocorrer em uma área ampla de maneira espalhada, de modo que é possível encontrar vários pontos de oxidação e redução, dando origem a uma macro pilha levando a formação de pequenas células que estão em constante movimento. Como consequência desta ação, pode-se perder material de forma uniforme ou irregular (FELIU, 1984). Conforme Ribeiro (2018), esta corrosão ocorre quando material está exposto ao meio corrosivo e ocorre em toda extensão da armadura.

Figura 1 – Tipos de corrosão.



Fonte: Feliu (1984).

Feliu (1984) destaca que corrosão localizada é geralmente em uma zona mais ou menos extensa, devido às variações na composição química do material ou no eletrólito envolvente. Assim, torna o local afetado anódico em comparação ao restante das áreas.

Quando se tem um ataque concentrado em uma área do material, pode-se classificar como corrosão por pites. E isso só é possível porque a camada passiva do metal foi rompida em alguns pontos específicos, e tornando possível a conexão dos contaminantes como por exemplo o cloreto (FELIU, 1984). Ribeiro (2018) alega que a corrosão por pites tende atingir os aços inoxidáveis e são extremamente perigosas, seu contato se dá em meios a desgastes localizados que resultam na criação de pequenas cavidades.

Por fim, a corrosão por formação de fissura, que tende aparecer no material quando o mesmo está propício a corrosão e sob tensão significativa de tração. De modo que a fissura apresenta comportamento de se propagar se particularmente a carga aplicada levando a rupturas com níveis relativamente baixos de tensão (FELIU, 1984).

4 ESTRUTURAS AFETADAS PELA CORROSÃO

Nesta seção são apresentados dois exemplos reais de estruturas afetadas pela corrosão e qual desfecho houve por conta dessa patologia. O foco é apresentar os problemas de projeto, execução ou fiscalização ocorridos e descrever como esses afetam a estrutura construtiva. Serão apresentados os exemplos do edifício Palace II que desabou no Rio de Janeiro e o Viaduto da Marginal Pinheiros.

4.1 Edifício Palace II

O primeiro exemplo citado é o desabamento do edifício Palace II, no Rio de Janeiro, que ocorreu primeiro em 22, e pela segunda vez em 27 de fevereiro de 1998. Muito se especulou na época sobre as causas do desabamento, desde a utilização como agregado miúdo na confecção do concreto, a areia proveniente da praia, o que comprometeria a qualidade de execução da obra. Entretanto, o laudo oficial constante do processo judicial aponta que o

desabamento teve como causas principais dois erros de projeto, agravados por dois erros de execução da obra (NÓBREGA, 2018).

Segundo o laudo, o principal responsável técnico do edifício, não realizou os reparos necessários, acelerando o desabamento. Houveram ainda responsabilizações por não ter sido solicitado reparações necessárias e por ter contribuído para erros na construção e manutenção do edifício (OLIVEIRA, 2001). Os erros de projeto que ocorreram foram:

- **Cálculo das colunas P4A e P44A.** As colunas P4A e P44A, que suportavam o 19º andar do edifício, foram calculadas para suportar apenas 230 toneladas, quando deveriam suportar 480 toneladas.
- **Dimensionamento dos pilares.** A norma brasileira NBR 6118/2014, não foi respeitada. Os pilares do edifício foram subdimensionados, assim, não foram projetados para suportar as cargas previstas.
Já os erros de construção que ocorreram foram:
- **Falta de estribos suplementares nos pilares.** Os pilares não possuíam estribos suplementares, que são elementos de reforço que ajudam a distribuir melhor as cargas. Essa falta também contribuiu para o desabamento.
- **Deficiência na cobertura das armaduras.** As armaduras dos pilares não foram adequadamente protegidas, o que as deixou expostas à corrosão. Essa deficiência também contribuiu para o desabamento.

Por causa dos erros citados acima, ocorreram patologias, dentre elas foram citadas:

- **Instabilidade da estrutura.** A estrutura estava instável devido ao subdimensionamento dos pilares. Essa instabilidade foi agravada pelos erros de construção.
- **Falha estrutural.** A falha estrutural foi a principal causa do desabamento. Ela ocorreu devido principalmente aos erros de projeto e agravados pelos erros de execução.
- **Corrosão das armaduras.** A corrosão das armaduras também contribuiu para o desabamento. Ela ocorreu por causa da deficiência na cobertura das armaduras, de modo que os pilares não foram adequadamente protegidos, o que os deixou expostos à ação de agentes com potencial agressivo, como a água e o oxigênio.

A água, ao penetrar na estrutura, transportou sais e outros agentes agressivos que aceleram a corrosão da armadura. Dois fatores para que contribuíram para deficiência na cobertura das armaduras foram o concreto não ser suficientemente impermeável, pois era de má qualidade e não protegia as armaduras; foram encontradas trincas e fissuras no concreto, por falta de cuidado na execução da obra, que permitiu essa entrada de água e agentes agressivos.

Além das vidas perdidas, oito mortes, também houve outras grandes perdas para as demais vítimas, como muitos objetos perdidos que eram insubstituíveis (LOPEZ, 1998). O caso ainda se arrasta na justiça e muitas vítimas ainda aguardam indenização, sendo que até fevereiro de 2018, já haviam sido pagos cerca de R\$50 milhões em indenização, havendo ainda um passivo de R\$160 milhões em valores atualizados (NÓBREGA, 2018).

Por mais que este caso apresente diversos fatores, que fez com que a obra entrasse em colapso, maneiras preventivas teriam contribuído tanto no que diz respeito à economia quanto às consequências geradas pelo desabamento.

4.2 Viaduto da Marginal Pinheiros

Em 15 de novembro de 2018, um viaduto da pista expressa da Marginal Pinheiros cedeu cerca de 2 metros e provocou lentidão na região, além de ter danificado 5 veículos, ferido uma pessoa e ter deixado todos em perigo.

A ação de responsabilidade civil nº 10087054420198260053 do Ministério Público do Estado de São Paulo concluiu que a queda ocorreu por conta da ausência de manutenção periódica da estrutura (SÃO PAULO, 2019). Os pontos principais que contribuíram para a queda foram:

-
- **Desgaste das juntas de dilatação.** O viaduto Marginal Pinheiros, é de importância, pois está localizado próximo a Ponte do Jaguaré, Zona Oeste de São Paulo. As juntas de dilatação, responsáveis por absorver as variações de temperatura estavam desgastadas por conta do tráfego pesado, causando fissuras no concreto.
 - **Infiltração de água.** A infiltração de água foi causada por problemas no sistema de drenagem do viaduto, causando danos ao concreto e à ferragem.
 - **Oxidação do concreto.** Por existirem fissuras, e com ajuda da infiltração de água citada anteriormente, houve a oxidação do concreto, pois foi exposto ao ar e à água.
 - **Corrosão das armaduras de aço.** Pela ausência de manutenção, principalmente nas juntas de dilatação, pilares tabuleiro, vigas caixão e vigas transversinas, quanto a prevenção a infiltração de águas pluviais, houve deterioração e corrosão das armaduras do concreto.

O relatório do Ministério Público concluiu que a queda do viaduto foi um "acidente evitável", pois poderia ter sido evitado com a realização de obras de manutenção. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) vistoriou o viaduto e também concluiu que as anomalias observadas, eram decorrentes de não conformidades construtivas e deficiências na realização de manutenção. O Centro de Apoio à Execução (CAEx), um órgão de apoio do Ministério Público também concluiu que a queda do ocorrido foi uma “deficiência de serviços de manutenção/conservação na construção” (SÃO PAULO, 2019).

O laudo referente ao processo identificou que, desde 2012, havia laudos técnicos que apontavam os problemas na estrutura do viaduto. Porém, nenhuma medida foi tomada para corrigir os problemas. Foi reconhecido que a Prefeitura de São Paulo foi responsável pela queda do viaduto, por falta de manutenção da estrutura. Em 2012, a estimativa era de que reparos no viaduto custavam R\$ 1.5 milhão.

Com os passar dos anos, e principalmente com o aumento da gravidade do problema a ponto de ceder, o valor para recuperação foi de R\$ 26 milhões. Entretanto, segundo o prefeito da época, Bruno Covas, custou menos de 40% dos R\$ 70 milhões, caso fosse necessário demolir e construir um novo viaduto. As obras foram concluídas após 4 meses interditado, sendo então reaberto o viaduto (AGÊNCIA BRASIL, 2023). Com isso, pode-se ressaltar a importância da realização de um projeto bem especificado e seguro, para evitar gastos com reparos. Mas, também vale considerar a importância da inspeção de rotina, visto que essa conduta resulta no diagnóstico de patologias antes que um colapso possa a ocorrer.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho proporcionou uma análise baseada em revisão de literatura sobre a corrosão em estrutura de concreto armado. O enfoque principal deste estudo foi destacar as consequências associadas a falhas do projeto, na execução ou fiscalização, bem como a falta de prevenção, que por sua vez, podem resultar em despesas ainda maiores do que aquelas que seriam necessárias caso medidas preventivas fossem adotadas e técnicas adequadas de prevenção fossem aplicadas. Um exemplo que podemos ressaltar foi o caso do edifício Palace II que além das consequências financeiras resultou em oito vidas humanas ceifadas, sendo esse o maior prejuízo.

Além disso, por meio desta pesquisa foi possível aprender sobre os processos de corrosão, bem como dos fatores e causas que facilitam esse fenômeno, destacando entre eles a influência ambiental, proporção entre água/cimento, cobrimento do concreto, entre outros.

Sendo destacados casos de corrosão que poderiam ter sido evitados, por meio de métodos preventivos, como o caso do Viaduto da Marginal Pinheiros que teve seu valor de recuperação cerca de 20 vezes maior após 6 anos, com o conhecimento e deterioração dos problemas que afetavam a obra. A busca de prevenção, materiais e o uso da técnica adequada resultaria em uma redução na frequência de problemas de corrosão e consequentemente, em

custos menores de manutenção, tornando-se assim mais vantajosa em termos de custo-benefício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASIL. Após 4 meses, viaduto da Marginal Pinheiros é liberado ao tráfego <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-03/apos-4-meses-viaduto-da-marginal-pinheiros-e-liberado-ao-trafego> Acesso: em 10 de outubro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Terceira edição. Versão corrigida. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

CASCUDO, O. O controle da corrosão de armaduras em concreto – Inspeção e técnicas eletroquímicas. Goiânia, GO: **Editora UFG**, 1997.

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

GENTIL, Vicente. Corrosão. Grupo GEN, 2022. E-book. ISBN 9788521637998. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521637998/>. Acesso em: 31 ago. 2023.

HELENE, P.R.L. Corrosão em armaduras para concreto armado (4 ed.) São Paulo, **PINI: Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, 1999.

HELENE, Paulo R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. 1993. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993. Acesso em: 21 jul. 2023.

LOPEZ, André Porto Ancona. As lições do Palace-II e os registros para a memória. **Revista da ADUEM**. Maringá, n.1, p. 25-27, 1998.

MEIRA, Gibson Rocha. Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção. **Editora IFPB**, 2017.

NÓBREGA, Petrus Gorgônio Bulhões. et al. A responsabilidade dos agentes da construção civil e a (in) efetividade das sanções em casos de acidentes com vítimas fatais. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

OLIVEIRA, Heraldo Saturnino. Instituto Brasileiro de Ciências Criminais, Decisões: Sentença do caso Sérgio Augusto Naya (Edifícios Palace I e II /RJ). 2001. Disponível em: <https://arquivo.ibccrim.org.br/artigo/389-Deciso-es-Sentenca-do-caso-Sergio-Augusto-Naya-Edificios-Palace-I-e-II-RJ>

PARIZOTTO, Liana. Concreto Armado. Grupo A, 2017. E-book. ISBN 9788595020917. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020917/>. Acesso em: 16 mar. 2023.

RIBEIRO, D.V. Corrosão em estruturas de concreto armado como consequência da carbonatação e da ação dos cloretos. In: RIBEIRO, D. V. (Coord.). Corrosão e degradação em estruturas de concreto: teoria, controle e técnicas de análise e

intervenção. Rio de Janeiro: **Editora Elsevier**, p. 125-158, 2018.

RIBEIRO, D. V. Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto. **Grupo GEN**, 2018. E-book. ISBN 9788595152359. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595152359/>. Acesso em: 16 mar. 2023.

RIBEIRO, D.V. Princípios da Ciência dos Materiais Cimentícios: Produção, Reações, Aplicações e Avanços Tecnológicos. Brasil: **Editora Appris**, 2021.

SÃO PAULO. Ministério Público. Ação de responsabilidade civil nº 10087054420198260053. São Paulo, 25 de fevereiro de 2019. Disponível: em <https://www.estadao.com.br/blogs/blog/wp-content/uploads/sites/41/2019/02/inicial-viaduto.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2023.