



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - DECEN
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Jardênio Teixeira de Sousa

Corrosão em Estruturas de Concreto Armado:
Causas, Efeitos, Prevenção e Análise de um Estudo de Caso em Caixa D'água

PAU DOS FERROS

2025

Jardênio Teixeira de Sousa

Corrosão em Estruturas de Concreto Armado:

Causas, Efeitos, Prevenção e Análise de um Estudo de Caso em Caixa D'água

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Sanderlir Silva Dias, Prof^a. Dr^a

PAU DOS FERROS

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S725c Sousa, Jardênio Teixeira de .
Corrosão em Estruturas de Concreto Armado:
Causas, Efeitos, Prevenção e Análise de um Estudo
de Caso em Caixa D'água / Jardênio Teixeira de
Sousa. - 2025.
43 f. : il.

Orientador: Sanderlir Silva Dias Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2025.

1. Corrosão. 2. Concreto armado. 3. Armaduras.
4. Fissuras. I. Silva, Sanderlir Silva Dias ,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Jardênio Teixeira de Sousa

Corrosão em Estruturas de Concreto Armado:

Causas, Efeitos, Prevenção e Análise de um Estudo de Caso em Caixa D'água

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 01 / 08 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Sanderlir Silva Dias, Profa. Dra (UFERSA)
Presidente

José Mariano da Silva Neto, Prof. Dr (UFERSA)
Membro Examinador

José Vidal Júnior, Esp (Engenheiro Civil)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso representa não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também a concretização de um ciclo de aprendizado, desafios e crescimento pessoal e profissional. Por isso, expresso aqui minha sincera gratidão a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para essa conquista.

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força, saúde e perseverança ao longo desta jornada.

A minha orientadora, Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias, pelo apoio, paciência, dedicação e valiosas contribuições ao desenvolvimento deste trabalho. Sua orientação foi fundamental para o amadurecimento do meu pensamento crítico e técnico.

À minha família, ofereço minha eterna gratidão. Aos meus pais, José Teixeira Filho e Jucileide Izabel Teixeira, agradeço profundamente por cada sacrifício, por todo o amor incondicional e pelo incentivo incansável. Vocês foram, e sempre serão, minha maior fonte de inspiração. Sem o apoio de vocês, este sonho não se realizaria.

Agradeço de forma muito especial à minha namorada, Leticia Dantas Ribeiro Batista, por estar ao meu lado em todos os momentos, oferecendo amor, apoio, paciência e compreensão durante essa etapa tão desafiadora da minha vida. Sua presença foi essencial para que eu não desistisse nos momentos difíceis e celebrasse cada pequena conquista. Obrigado por acreditar em mim, mesmo quando eu duvidava, e por ser minha parceira em todos os sentidos. Este trabalho também é seu.

Por fim, estendo minha gratidão a todos os professores que, com seus ensinamentos e conselhos, moldaram minha formação e me incentivaram a ir além. Cada um de vocês deixou uma marca significativa nesta trajetória.

RESUMO

A corrosão em estruturas de concreto armado representa um dos principais desafios para a engenharia civil, comprometendo a integridade estrutural, a durabilidade, a segurança e a vida útil das construções. Trata-se de um processo eletroquímico desencadeado pela perda da passivação das armaduras, geralmente provocada pela carbonatação do concreto ou pela penetração de íons cloreto, especialmente em ambientes agressivos como regiões litorâneas ou industriais. Esses agentes agressores rompem a alcalinidade natural do concreto e dão início à deterioração do aço, o que acarreta sérios danos estruturais. Entre os efeitos observados, destacam-se a redução da seção das barras de aço, a perda de aderência entre o concreto e a armadura, o surgimento de fissuras, deslocamentos e, em casos mais graves, a perda da capacidade de redistribuição de esforços, resultando em risco de colapso da estrutura. Este trabalho teve como objetivo analisar as principais causas que levam à corrosão do aço no interior do concreto, os efeitos desse processo sobre o desempenho estrutural, as principais técnicas de prevenção e fazer uma análise de um estudo de caso de uma caixa d'água. Inicialmente, foram discutidos os mecanismos físico-químicos que desencadeiam a corrosão, como a carbonatação do concreto e a penetração de íons cloreto. Em seguida, são abordadas as consequências estruturais da corrosão, como a redução da seção das armaduras, a perda de aderência entre aço e concreto, o surgimento de fissuras e o risco de colapso prematuro. Por fim, são apresentadas soluções preventivas, como o uso de concretos com maior compacidade, aumento do cobrimento das armaduras, aplicação de revestimentos protetores, uso de inibidores de corrosão e técnicas de proteção catódica. O estudo de caso da caixa d'água analisada permitiu a identificação de manifestações patológicas diretamente associadas à corrosão, como fissuras longitudinais e falhas de aderência, comprovando a teoria abordada. Além disso, destacou-se a eficácia de soluções preventivas, como o uso de concretos com baixa permeabilidade, aumento do cobrimento das armaduras, aplicação de revestimentos protetores e uso de inibidores de corrosão. Tais medidas demonstraram grande potencial para prolongar a vida útil das estruturas e garantir a segurança das edificações, reforçando a importância da abordagem preventiva e da manutenção adequada no contexto da engenharia civil.

Palavras-chave: corrosão; concreto armado; armaduras; fissuras.

ABSTRACT

Corrosion in reinforced concrete structures represents one of the main challenges for civil engineering, compromising the structural integrity, durability, safety, and service life of buildings. It is an electrochemical process triggered by the loss of passivation of reinforcement, usually caused by concrete carbonation or the penetration of chloride ions, especially in aggressive environments such as coastal or industrial regions. These aggressive agents disrupt the concrete's natural alkalinity and initiate steel deterioration, resulting in serious structural damage. Among the observed effects are a reduction in the cross-section of steel bars, loss of adhesion between the concrete and reinforcement, the appearance of cracks, displacement, and, in more severe cases, the loss of the ability to redistribute stress, resulting in the risk of structural collapse. This study aimed to analyze the main causes of steel corrosion within concrete, the effects of this process on structural performance, the main prevention techniques, and analyze a case study of a water tank. Initially, the physicochemical mechanisms that trigger corrosion, such as concrete carbonation and chloride ion penetration, were discussed. Next, the structural consequences of corrosion are addressed, such as reduced reinforcement cross-section, loss of bond strength between steel and concrete, cracking, and the risk of premature collapse. Finally, preventive solutions are presented, such as the use of more compact concrete, increased reinforcement cover, application of protective coatings, use of corrosion inhibitors, and cathodic protection techniques. The case study of the water tank analyzed allowed the identification of pathological manifestations directly associated with corrosion, such as longitudinal cracks and bond failures, supporting the theory discussed. Furthermore, the effectiveness of preventive solutions was highlighted, such as the use of low-permeability concrete, increased reinforcement cover, application of protective coatings, and use of corrosion inhibitors. Such measures have demonstrated great potential for extending the useful life of structures and ensuring the safety of buildings, reinforcing the importance of a preventive approach and adequate maintenance in the context of civil engineering.

Keywords: corrosion; reinforced concrete; reinforcement; cracks.

LIS TA DE FIGURAS

Figura 1	-	Representação de concreto armado.....	14
Figura 2	-	Representação das armaduras na estrutura de concreto armado.....	16
Figura 3	-	Representação de corrosão provocada por íons cloreto.....	18
Figura 4	-	Processo de carbonatação de concreto.....	19
Figura 5	-	Localização da caixa d'água.....	29
Figura 6	-	Fluxograma do processo de pesquisa.....	29
Figura 7	-	Materiais utilizados durante as inspeções	30
Figura 8	-	Registro fotográficos dos pilares e da laje da caixa d'água no dia 05 de maio de 2025.....	32
Figura 9	-	Triângulo da corrosão para a caixa d'água.....	33
Figura 10	-	Registro da estrutura com baixo cobrimento e umidade do dia 03 de junho de 2025.....	35
Figura 11	-	Registro fotográficos do deslocamento e das fissuras na caixa d'água no dia 26 de maio de 2025.....	37
Figura 12	-	Outro registro fotográfico do deslocamento e de fissuras na caixa d'água.....	38
Figura 13	-	Comparação entre uma estrutura saudável e outra deteriorada.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1	Concreto armado	13
3.2	Composição e característica do concreto.....	13
3.3	Função das armaduras na estrutura	15
3.4	Durabilidade das estruturas de concreto.....	16
3.5	Corrosão em estruturas de concreto armado	17
3.5.1	Corrosão.....	17
3.5.2	Tipos de corrosão em estruturas de concreto armado	19
3.5.2.1	Corrosão por carbonatação	19
3.5.2.2	Corrosão por ataques de cloretos	20
3.5.2.3	Corrosão galvânica.....	20
3.5.3	Fatores que influenciam o processo corrosivo.....	21
3.5.3.1	Umidade e penetração de oxigênio	21
3.5.3.2	Temperatura.....	22
3.5.3.3	Qualidade dos materiais e da execução	22
3.6	Efeitos da corrosão nas estruturas.....	23
3.6.1	Redução da seção das armaduras	23
3.6.2	Perda de aderência entre concreto e o aço	24
3.6.3	Aparecimento de fissuras e deslocamentos.....	25
3.6.4	Riscos estruturais e econômicos.....	25
3.7	Técnicas de prevenção e controle da corrosão	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1	Local de estudo	28
4.2	Fluxograma de pesquisa	28
4.3	Procedimentos metodológicos	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
5.1	Caixa d'água	31
5.2	Triângulo da corrosão	32

5.3 Causas prováveis da corrosão.....	34
5.4 Medidas preventivas	38
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado são amplamente utilizadas nas construções civis devido à sua resistência, versatilidade e custo-benefício. No entanto, sua durabilidade pode ser severamente comprometida quando ocorre a corrosão das armaduras metálicas embutidas no concreto. Esse fenômeno, é responsável por diversas manifestações patológicas que reduzem a vida útil das edificações e aumentam os custos com manutenção e reabilitação.

A durabilidade das estruturas de concreto armado tem sido um dos principais desafios enfrentados pela engenharia civil moderna, sobretudo no que diz respeito à corrosão das armaduras. Conforme destaca Helene (1993), “o concreto armado foi, durante muito tempo, considerado um material eterno. No entanto, as evidências demonstram que, sem o devido controle da durabilidade, sua vida útil pode ser significativamente reduzida.” Esse fenômeno, essencialmente eletroquímico, compromete a integridade das armaduras de aço e, consequentemente, a segurança e estabilidade das estruturas.

A corrosão pode surgir de vários fatores, tanto internos, quanto externos, devido fatores químicos, físicos e mecânicos. Segundo Gentil (2011), a corrosão pode ser compreendida como a deterioração de um material resultante da ação química ou eletroquímica do meio ambiente, podendo ou não estar associada a esforços mecânicos. No caso das estruturas de concreto armado, a corrosão das armaduras de aço representa um problema particular crítico, pois a oxidação do metal ocasiona o aumento de volume dos produtos de corrosão, gerando tensões internas que provocam fissuras e deslocamento do concreto. Essa expansão contribui para a perda de aderência entre aço e concreto e intensifica o processo corrosivo. Como consequência, há uma redução progressiva da capacidade de estrutura em suportar cargas, o que diminui significativamente sua vida útil e eleva os custos de manutenção.

A corrosão em estruturas de concreto armado pode ser diagnosticada por diversos métodos, incluindo ensaios químicos e inspeções visuais. Um dos ensaios mais comuns é o uso da fenolftaleína para avaliar a carbonatação do concreto. Segundo Helene (1993), esse indicador muda de cor conforme o pH do material, torna-se rosa ou púrpura em meio alcalino ($\text{pH} > 9$) e incolor em meio carbonatado ($\text{pH} < 9$), permitindo identificar a perda da alcalinidade que protege a armadura. Além disso, a identificação visual também é uma ferramenta importante, pois sinais como fissuras, rachaduras, deslocamentos do concreto, eflorescência e exposição das armaduras indicam possíveis processos corrosivos em andamento, especialmente em estágios mais avançados da deterioração.

A corrosão das armaduras de concreto armado não é apenas um problema técnico, mas um desafio econômico e de segurança pública. Estimativas apontam que os custos com reparos e reabilitação de estruturas corroídas representam uma parcela significativa do orçamento de engenharia civil em muitos países, incluindo o Brasil, onde as condições ambientais agressivas são comuns (Helene, 1992; Carvalho e Helene, 2001; Mehta e Monteiro, 2014; Cavalcanti et al., 2005).

Diante disso, a finalidade desse trabalho foi investigar e analisar corrosões em estruturas de concreto armado em uma caixa d'água localizada na cidade de Sousa-PB, buscando as principais causas da corrosão, compreender seus efeitos sobre a durabilidade e resistência estrutural e relatar as técnicas mais eficazes de prevenção e controle.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Analisar os principais fatores que causaram a corrosão em estruturas de concreto armado de uma caixa d'água que abastece uma pousada, seus efeitos sobre o desempenho estrutural e apresentar técnicas eficazes de prevenção e controle.

2.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar os fatores que contribuem para o processo de corrosão das armaduras;
- Avaliar os efeitos da corrosão sobre a integridade e vida útil das estruturas;
- Propor soluções de prevenção e técnicas construtivas para aumentar a durabilidade das estruturas de concreto armado;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Concreto armado

A introdução do concreto armado na construção civil moderna representou uma verdadeira revolução tecnológica, permitindo o desenvolvimento de estruturas mais complexas, esbeltas e duráveis. Desde que o concreto mantenha sua integridade e não seja contaminado ou deteriorado, as armaduras internas permanecem protegidas contra a corrosão (Gentil, 2011). Isso reforça a importância do concreto armado como elemento fundamental nas construções contemporâneas, impulsionando a expansão urbana e o progresso da engenharia estrutural.

O concreto armado é amplamente reconhecido como um dos materiais mais utilizados na engenharia civil e na arquitetura, devido à sua durabilidade, resistência e versatilidade. Sua composição inclui cimento, água, agregados e barras de aço. Essa combinação permite aproveitar as propriedades complementares dos materiais: enquanto o concreto possui excelente resistência à compressão, o aço confere ao sistema a resistência necessária às tensões de tração. Por essa razão, o concreto armado mantém sua forma, desempenho e funcionalidade ao ser exposto às condições ambientais para as quais foi projetado (Amorim, 2010). Entretanto, uma característica do concreto é a sua porosidade, decorrente da presença de ar e água durante a mistura e a cura. Essa porosidade cria uma conexão com o ambiente externo, permitindo a penetração de gases, água e agentes agressivos. Com o tempo, essa permeabilidade pode comprometer a durabilidade do material, pois facilita a ação de agentes degradantes no interior da estrutura (Silva Et Al., 2021).

Contudo, a durabilidade e o desempenho do concreto armado dependem diretamente da qualidade de todas as etapas do processo construtivo, desde o projeto estrutural, passando pela escolha adequada dos materiais, execução cuidadosa da obra e, posteriormente, a realização de manutenções preventivas e corretivas. Somente com essas ações integradas é possível garantir o funcionamento adequado e a longevidade das estruturas (Helene, 2014).

3.2 Composição e característica do concreto

O concreto é um material heterogêneo, ou seja, é formado pela combinação de diferentes componentes com funções específicas. Em sua forma comum, o concreto armado é composto por cimento, agregados miúdos (areia), água, agregados graúdos (brita) e barras de aço.

Com isso, serão apresentados os tipos de matérias que compõe o concreto e suas funcionalidades.

- Cimento: Agente aglutinante, ao entrar em contato com a água, hidrata-se e endurece, ligando os demais materiais.
- Agregados miúdos: Preencher vazios entre agregados graúdos e reduzir o consumo de cimento.
- Água: Inicia a reação de hidratação do cimento e confere trabalhabilidade à mistura.
- Agregados graúdos: Responsáveis por grande parte da resistência e volume do concreto.
- Barras de aço: São incorporadas no concreto para aumentar sua resistência de tração.

Na Figura 1, observa-se, à esquerda, uma estrutura de concreto armado com o processo de concretagem já concluído, entrando na fase de cura. Esta etapa é fundamental para garantir o ganho de resistência do concreto, além de contribuir significativamente para a durabilidade e vida útil da estrutura. Já à direita, é ilustrado o processo de concretagem propriamente dito, realizado após a preparação e dosagem adequada dos materiais constituintes do concreto, como cimento, agregados, água e aditivos. O lançamento do concreto é feito sobre a armadura metálica, garantindo a aderência e a resistência necessárias para suportar as cargas estruturais previstas no projeto.

Figura 1 - Representação de concreto armado



Fonte: <https://www.mapadaobra.com.br/negocios/concreto-armado-2/>
<https://www.concretousinado.com.br/noticias/concreto-armado/>

O concreto armado, que combina concreto e barras de aço, é caracterizado por sua elevada resistência à compressão e tração, tornando-o um material versátil para construções. Além disso, é durável e resistente. Algumas características dele é a durabilidade, a resistência, flexibilidade e a versatilidade, pontos esses que são fundamentais para tais aplicações.

3.3 Função das armaduras na estrutura

O concreto, embora seja um material altamente resistente à compressão, apresenta baixa resistência à tração. Para superar essa limitação, utilizam-se armaduras metálicas, criando o sistema estrutural denominado concreto armado. Entre as principais funções, destacam-se:

- Resistência a tração: Resistir aos esforços de tração que surgem nas estruturas, a introdução de armaduras nas zonas tracionadas do concreto permite explorar plenamente a resistência à compressão do material, formando um sistema estrutural híbrido e eficiente (Neville, 2016).
- Garantir a ductilidade da estrutura: O aço tem alta capacidade de deformação antes da ruptura, o que confere ductilidade às estruturas de concreto armado. O comportamento dúctil das estruturas de concreto armado deve-se principalmente à presença de armaduras de aço, que permitem redistribuir os esforços antes da ruptura (Mehta e Monteiro, 2014).
- Controlar a fissuração: A armadura atua como elemento de controle de fissuração, absorvendo tensões de tração e impedindo o avanço das fissuras, sobretudo em peças esbeltas (Helene e Andrade, 1993).
- Resistir a esforços adicionais: Além da tração, as armaduras também podem ser dimensionadas para resistir a flexão, cisalhamento, torção e compressão. As armaduras podem ser solicitadas por diferentes esforços, sendo muitas vezes combinadas com estribos e barras longitudinais para resistir a ações complexas (ABNT NBR 6118:2014).

A Figura 2, apresenta duas etapas fundamentais da execução de estruturas em concreto armado. Na imagem à esquerda, observa-se a montagem da armadura de aço, composta por vergalhões dispostos e amarrados conforme o projeto estrutural. Essa armadura tem como função principal resistir aos esforços de tração, uma vez que o concreto, apesar de apresentar excelente desempenho à compressão, possui baixa resistência à tração. Além disso, a presença do aço contribui para garantir a ductilidade da estrutura, permitindo que o mesmo suporte deformações sem falhas abruptas, bem como controlar a fissuração, limitando sua abertura e propagação ao longo do tempo.

Na imagem à direita, identifica-se a fase intermediária da execução, na qual parte da armadura já se encontra recoberta pelo concreto, caracterizando o início do processo de concretagem. A complexidade da armadura indica que se trata de um elemento estrutural robusto, como um pilar com múltiplas ligações ou uma viga com armaduras longitudinais e transversais adicionais. Nessa etapa, é fundamental garantir o correto posicionamento das armaduras, além de assegurar o cobrimento mínimo exigido pelas normas técnicas, a fim de proteger o aço da ação de agentes agressivos e assegurar resistência a esforços adicionais, como cargas dinâmicas e sobrecargas acidentais.

Figura 2 - Representação das armaduras na estrutura de concreto armado



Fonte: <https://www.aecweb.com.br/academy/aec-responde/o-que-e-taxa-de-armadura-em-estruturas-de-concreto-armado/24112/> <https://www.totalconstrucao.com.br/concreto-armado/>

3.4 Durabilidade das estruturas de concreto

A durabilidade das estruturas de concreto é a capacidade que essas estruturas têm de resistir, ao longo do tempo, às ações físicas, químicas e mecânicas do ambiente ao qual estão expostas, mantendo sua integridade, funcionalidade e segurança. Pela norma brasileira NBR 6118, a durabilidade é a capacidade de uma estrutura de manter suas prioridades mecânicas e funcionais durante sua vida útil, sem apresentar deteriorações significativas. Isso implica resistir a ações de agentes agressivos presente no meio ambiente (umidade, dióxido de carbono, cloretos e ações mecânicas).

Diversos fatores interferem nessa resistência, desde a fase de projeto até a execução e manutenção da estrutura, como os materiais utilizados (cimento, agregados, água), compactação e adensamento, cura do concreto, cobrimento da armadura, agressividade do meio ambiente, projeto estrutural e detalhamento.

A degradação do concreto armado ocorre quando ele perde suas propriedades físicas, químicas ou mecânicas devido à ação de agentes agressivos. Isso compromete sua durabilidade

e pode afetar gravemente a segurança da estrutura. Alguns mecanismos de degradação são carbonatação, ataque por cloretos, corrosão das armaduras, fissuração, penetração de água e desgastes físicos.

A durabilidade do concreto armado pode ser significativamente aumentada quando se aplicam técnicas adequadas desde a fase de projeto até a manutenção da estrutura. O objetivo principal é minimizar a penetração de agentes agressivos e proteger a armadura contra corrosão. Algumas técnicas são o uso de cimento resistente a sulfatos ou com adições de pozolânicas, aplicação de impermeabilizantes, revestimento protetores, inspeções e manutenção periódicas e um projeto estrutural adequado. Para que a estrutura tenha um desempenho esperado, existe normas a ser seguidas, garantindo um bom funcionamento como a NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto, NBR 12655 – Controle de cimento Portland (preparo, controle e recebimento), NBR 14931 – Execução de estruturas de concreto e a NBR 15575 – Edificações habitacionais (desempenho).

3.5 Corrosão em estruturas de concreto armado

3.5.1 Corrosão

A corrosão em concreto armado refere-se à deterioração das armaduras metálicas internas do concreto, geralmente de aço, causada pela penetração de agentes agressivos que rompem a camada passiva que protege o aço da oxidação. Essa corrosão é iniciada, principalmente, pela carbonatação do concreto ou pela presença de íons cloreto, que reduzem o pH do meio e permitem a formação de produtos de corrosão (ferrugem), os quais se expandem e provocam fissuras, deslocamentos e perda de aderência entre o concreto e a armadura.

De acordo com Helene e Andrade (1993), a corrosão das armaduras é um dos principais mecanismos de degradação das estruturas de concreto armado, comprometendo sua durabilidade e segurança. Neville (2016) complementa que esse processo é facilitado pela permeabilidade do concreto e pela presença de fissuras, que permitem a entrada de água, oxigênio e agentes corrosivos. Já Mehta e Monteiro (2014) destacam que a durabilidade de uma estrutura depende diretamente da proteção que o concreto oferece às armaduras contra esses processos corrosivos.

O processo corrosivo de um material, geralmente metálico, é resultante da ação química ou eletroquímica do meio ambiente, em conjunto ou não com esforços mecânicos. A deterioração decorrente dessa interação físico-química provoca modificações prejudiciais e

indesejáveis, como desgaste, alterações químicas e estruturais, tornando o material inadequado para a utilização a que se destina (Gentil, 2011). Esse conceito reforça que a corrosão não é apenas uma simples oxidação, mas sim um processo complexo e multifatorial, influenciado pelas condições ambientais, características do material e ações mecânicas envolvidas.

Gentil (2011) também discute amplamente os mecanismos de corrosão eletroquímica, os tipos de corrosão e suas implicações práticas.

Os dois principais mecanismos que levam à corrosão das armaduras são:

- Íons Cloreto: Os íons presentes em ambientes marinhos ou em sais descongelantes, podem penetrar nos poros do concreto e atingir as armaduras. Ao se acumularem em quantidade suficiente, rompem a camada de passivação mesmo em pH elevado, iniciando a corrosão localizada. A Figura 3 mostra sinais evidentes de corrosão por íons cloreto. A expansão volumétrica, fissuras e deslocamentos são consequências causadas por essa corrosão (Helene, 2003).

Figura 3 - Representação de corrosão provocada por íons cloreto

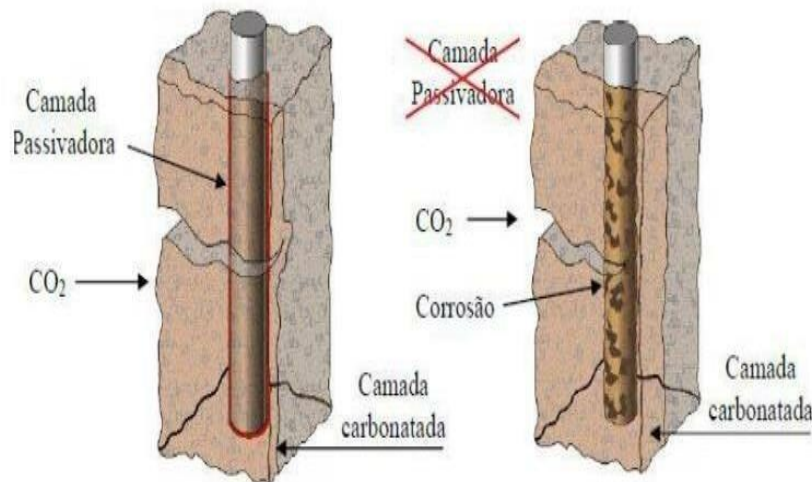


Fonte: <https://www.cimentoitambe.com.br/ataques-por-ions-de-cloreto-custa-r-800-milhoes-por-ano-ao-brasil/>

- Carbonatação: Processo no qual o dióxido de carbono (CO_2), presente no ar penetra no concreto e reage com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), reduzindo sua alcalinidade e removendo a proteção passiva do aço. O pH cai para valores abaixo de 9, permitindo o início da corrosão. A Figura 4 ilustra o processo de corrosão por carbonatação, à esquerda à armadura protegida por uma camada passivadora, com pH elevado, já à direita, à camada protetora é destruída, permitindo o início da corrosão (Mehta;

Monteiro 2014).

Figura 4 - Processo de carbonatação do concreto



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Processo-de-carbonatacao-no-concreto_fig2_361964556

3.5.2 Tipos de corrosão em estruturas de concreto armado

Os principais tipos de corrosão em estruturas de concreto armado são classificados de acordo com os mecanismos de ação e as condições ambientais que a provocam.

3.5.2.1 Corrosão por carbonatação

A corrosão por carbonatação é um processo que afeta estruturas de concreto armado, causando corrosão generalizada, ela ocorre quando o dióxido de carbono (CO_2) do ar penetra nos poros do concreto e reduz o pH e, conseqüentemente, a alcalinidade do material (Monteiro, 2014). Alguns efeitos na armadura é a destruição da camada passiva, o aumento do volume original do aço e com o tempo, comprometendo a capacidade estrutural da peça (Monteiro, 2014). Ambientes favoráveis à carbonatação e fatores que aceleram a carbonatação são ambientes interiores mal ventilados, concreto com alta porosidade ou cura deficiente, ambiente com um cobrimento insuficiente das armaduras e ambientes urbanos (CO_2 atmosférico) (Helene; Andrade, 1993).

A carbonatação do concreto pode ser identificada por meio do ensaio com solução de fenolftaleína, aplicado sobre uma superfície de concreto recém fraturada. A solução atua como indicador de pH: regiões não carbonatadas, com pH superior a 9, assumem coloração rosada, enquanto as áreas carbonatadas, com pH reduzido, permanecem incolores.

Para prevenir e controlar esse processo, recomenda-se: reduzir a relação água/cimento, garantir uma cura eficiente do concreto, aumentar o cobrimento das armaduras conforme exigido pela NBR 6118, aplicar revestimentos protetores contra a penetração de CO₂ e realizar inspeções e manutenções periódicas (Helene; Andrade, 1993).

3.5.2.2 Corrosão por ataques de cloretos

A corrosão por cloretos é um dos tipos mais agressivos de degradação das armaduras em estruturas de concreto armado. Ela ocorre principalmente pela penetração de íons cloreto (Cl⁻) no concreto, que atacam diretamente a armadura, mesmo quando o pH ainda se encontra elevado. O aço embutido no concreto normalmente está protegido por uma camada passiva de óxidos, formada devido ao ambiente altamente alcalino (pH > 12). No entanto, quando a concentração de íons cloreto na interface aço-concreto ultrapassa um limiar crítico, essa camada protetora é destruída, permitindo o início da corrosão localizada. As principais fontes de cloreto são, ambientes marinhos, névoa salina, aditivos contaminados ou água salobra e sais descongelantes (Helene; Pereira, 2003; Mehta; Monteiro, 2014).

Algumas consequências são, a perda de aderência entre o aço e o concreto, redução da seção útil das barras de aço, fissuração e deslocamento do cobrimento de concreto e a redução significativa da vida útil da estrutura. Essas são algumas opções para a prevenção, o uso de matérias livres de cloretos, aumentar o cobrimento das armaduras, revestir as armaduras, entre outros (Helene; Pereira, 2003).

3.5.2.3 Corrosão galvânica

A corrosão galvânica é um tipo de corrosão eletroquímica que ocorre quando dois metais diferentes estão eletricamente conectados em um meio condutor, como o concreto saturado. O metal menos nobre atua como ânodo (sofre corrosão) e o mais nobre como cátodo (protegido), criando uma célula galvânica (Mehta e Monteiro, 2014).

Quando metais com diferentes potenciais eletroquímicos são embutidos no concreto e estão em contato elétrico e expostos a um eletrólito (a umidade e os íons presentes no concreto),

forma-se uma pilha galvânica. O fluxo de elétrons ocorre do metal anódico (menos nobre) para o catódico (mais nobre), promovendo a corrosão do ânodo (Helene, 1992).

Esse tipo de corrosão pode surgir, por exemplo, quando se utiliza aço carbono comum em contato com aço inoxidável ou alumínio em reforços ou insertos metálicos, ou mesmo quando se fazem reparos com armaduras diferentes das originais (Andrade e Alonso, 1995).

Algumas causas que agravam a corrosão galvânica são, a alta condutividade elétrica no concreto devido à umidade ou presença de íons, a diferença significativa de potencial entre os metais e a presença de zonas de reparo mal executadas com armaduras distintas (Cavalcanti Et Al, 2005).

Alguns mecanismos para que isso não ocorra é, evitar o uso de metais diferentes em contato direto, aplicar revestimentos isolantes entre metais diferentes e usar técnicas adequadas de reparo.

3.5.3 Fatores que influenciam o processo corrosivo

O processo de corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado depende de diversos fatores, que podem atuar de forma isolada ou combinada, acelerando ou retardando a degradação das armaduras. Esses fatores estão ligados tanto à qualidade dos materiais quanto às condições ambientais e práticas construtivas (Mehta e Monteiro, 2014).

3.5.3.1 Umidade e penetração de oxigênio

A umidade e o oxigênio são dois dos principais agentes que influenciam diretamente a corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado. A corrosão do aço é um processo eletroquímico que só ocorre na presença simultânea de um eletrólito (água com íons dissolvidos) e de um agente oxidante (oxigênio) (Mehta e Monteiro, 2014).

A umidade presente nos poros do concreto é essencial para permitir a mobilidade dos íons entre o aço e o meio externo. Em condições secas, a corrosão praticamente não ocorre porque não há eletrólito disponível para transportar os íons. Já em ambientes com umidade elevada, o concreto se torna altamente condutivo, facilitando as reações corrosivas (Helene, 1992). Além disso, a água contribui para o transporte de agentes agressivos, como cloretos e CO₂, em direção à armadura, aumentando o risco tanto de corrosão por cloretos quanto por carbonatação (Andrade e Alonso, 1995).

O oxigênio dissolvido na água dos poros do concreto é necessário para que ocorra a reação catódica, que complementa o processo eletroquímico da corrosão. Sem oxigênio suficiente, a taxa de corrosão é limitada, mesmo na presença de umidade e de íons agressivos. Se o fornecimento de oxigênio for constante, como em concretos porosos ou fissurados, o processo corrosivo pode se manter ativo e contínuo (Cavalcanti Et Al, 2005).

3.5.3.2 Temperatura

A temperatura é um dos fatores ambientais mais relevantes na durabilidade das estruturas de concreto armado, afetando tanto o comportamento do concreto quanto a intensidade das reações de corrosão das armaduras. Ela influencia o processo de corrosão de forma direta e indireta (Mehta; Monteiro, 2014; Helene; Andrade, 1993).

Os fatores afetados pela temperatura é a aceleração das reações eletroquímica, redução de viscosidade da água nos poros do concreto, aumenta a taxa de carbonatação, influência na umidade do concreto e alterações das propriedades do concreto (Mehta; Monteiro, 2014; Helene; Andrade, 1993).

3.5.3.3 Qualidade dos materiais e da execução

A durabilidade es estruturas de concreto armado está diretamente relacionado à qualidade dos materiais utilizados e à correta execução dos processos construtivos. Quando esses fatores não são adequadamente controlados, aumentam-se significativamente as chances de ocorrência de patologias, especialmente a corrosão das armaduras, que é um dos principais agentes de degradação em estruturas de concreto (Helene; Andrade, 1993).

No que se refere aos materiais, destaca-se a importância de um concreto com baixa permeabilidade e adequada compacidade. A relação água/cimento (a/c) é um dos principais parâmetros que influenciam essa permeabilidade: quanto maior essa relação, maior será a porosidade do concreto endurecido, facilitando a penetração de agentes agressivos como dióxido de carbono e íons cloreto. Esses agentes, ao atingirem a armadura, promovem respectivamente a carbonatação e a despassivação da camada protetora da armadura, dando início ao processo de corrosão (Mehta e Monteiro, 2014). Além disso, o tipo e a qualidade do cimento, a granulometria e a pureza dos agregados, bem como o uso de adições minerais que contém sílica (como pozolanas ou sílica ativa), influenciam diretamente a resistência do concreto à penetração de substâncias nocivas. O aço das armaduras também deve atender a

padrões de qualidade, livre de ferrugem ou contaminantes, e armazenado de forma adequada no canteiro de obras para evitar oxidação antes da concretagem (Helene, 1992).

Do ponto de vista da execução, uma série de cuidados deve ser tomada para garantir a integridade da estrutura e a proteção das armaduras. O adensamento do concreto, por exemplo, deve ser feito corretamente para evitar a formação de vazios e falhas internas, que favorecem o ingresso de agentes corrosivos. Outro aspecto essencial é o cobrimento da armadura, que deve estar em conformidade com as normas técnicas, pois espessuras insuficientes reduzem a proteção física e química fornecida pelo concreto (Andrade; Castro, 1989).

A cura do concreto, muitas vezes negligenciada em obras de pequeno e médio porte, é fundamental para o desenvolvimento adequado das propriedades mecânicas e de durabilidade do material. A cura inadequada pode resultar em microfissuras, retrações e aumento da permeabilidade superficial, acelerando os processos de carbonatação e absorção de cloretos (Carvalho; Helene, 2001).

Por fim, deve-se destacar que a contaminação dos materiais durante a estocagem ou mistura, como o uso de água com excesso de sais ou agregados contaminados com cloretos, também pode induzir corrosão prematura das armaduras, mesmo antes da exposição direta da estrutura a ambientes agressivos. Portanto, tanto a seleção criteriosa dos materiais quanto a execução conforme os procedimentos normativos são fatores determinantes para prevenir a corrosão e aumentar a vida útil das estruturas de concreto armado (Helene; Pereira, 2003; Mehta; Monteiro, 2014).

3.6 Efeitos da corrosão nas estruturas

3.6.1 Redução da seção das armaduras

A corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado, além de comprometer a durabilidade da estrutura, provoca um dos efeitos mais críticos do ponto de vista estrutural: a redução da seção transversal das barras de aço. Essa deterioração progressiva, causada principalmente por processos eletroquímicos, compromete a capacidade resistente das armaduras e, conseqüentemente, a segurança estrutural (Mehta; Monteiro, 2014; Andrade; Jacinto, 2003).

A corrosão ocorre quando agentes agressivos, como dióxido de carbono (CO_2) e íons cloreto (Cl^-), penetram no concreto e atingem a superfície da armadura, promovendo a despassivação da camada protetora de óxidos naturalmente formada em ambientes alcalinos.

Uma vez iniciada a corrosão, os produtos gerados, principalmente óxidos e hidróxidos de ferro, ocupam um volume até seis vezes maior que o do aço original. Esse aumento volumétrico gera tensões internas no concreto, levando ao aparecimento de fissuras longitudinais e destacamentos do cobrimento (Andrade; Castro, 1989).

Com o avanço da corrosão, parte do aço é convertida em produtos de corrosão, reduzindo gradualmente a seção útil da armadura. Essa redução se traduz diretamente em perda de resistência à tração, diminuição da capacidade de carga da estrutura e redução da ductilidade. Em estágios avançados, pode haver ruptura frágil da armadura, comprometendo seriamente a estabilidade da estrutura (Helene, 1992).

3.6.2 Perda de aderência entre concreto e o aço

A aderência entre o concreto e as armaduras de aço é um dos pilares do comportamento estrutural do concreto armado, sendo responsável pela transmissão dos esforços solicitantes e pela atuação conjunta dos dois materiais. No entanto, esse mecanismo pode ser severamente comprometido pela corrosão das armaduras, que provoca alterações físicas e químicas nas interfaces aço-concreto e gera um dos efeitos mais prejudiciais à integridade da estrutura, a perda de aderência (Medeiros; Helene, 2008).

A aderência entre o concreto e o aço é proporcionado por três mecanismos principais, aderência química, aderência por atrito e aderência mecânica. Quando a corrosão se instala, os produtos de corrosão se expandem, exercendo pressão radial sobre o concreto ao redor da armadura (Helene, 1992). A consequência mais direta desse processo é a perda da capacidade de ancoragem das armaduras, impedindo a transmissão eficaz dos esforços de tração e compressão entre o aço e o concreto.

A perda de aderência, provocada pela corrosão, também compromete o mecanismo de redistribuição de esforços, que é essencial em estruturas hiperestáticas. A incapacidade de transferência eficiente de cargas entre concreto e aço pode transformar comportamentos dúcteis em respostas frágeis, aumentando o risco de colapsos repentinos (Helene, 2008).

A perda de aderência não é visível externamente nas fases iniciais, o que dificulta sua detecção em inspeções visuais convencionais. Por esse motivo, o monitoramento por meio de técnicas não destrutivas, como ensaios de extração e mapeamento de potencial de corrosão, é fundamental para diagnosticar o problema de forma precoce e permitir intervenções corretivas adequadas (Carvalho; Helene, 2001).

3.6.3 Aparecimento de fissuras e deslocamentos

O aparecimento de fissuras e deslocamentos em estruturas de concreto armado é um dos efeitos mais visíveis e preocupantes da corrosão das armaduras. Esses fenômenos não apenas indicam a presença de deterioração, como também comprometem a integridade estrutural e aceleram o processo de degradação ao expor ainda mais a armadura a agentes agressivos (Helene; Medeiros, 2004).

Como consequência, surgem fissuras longitudinais paralelas às armaduras, especialmente em zonas de cobrimento reduzido. Essas fissuras podem evoluir para deslocamentos, ou seja, o destacamento parcial ou total da camada superficial de concreto, deixando as barras de aço expostas ao ambiente (Helene, 1992).

O padrão das fissuras e deslocamentos varia conforme a posição da armadura e o grau de corrosão. Em elementos horizontais, é comum a presença de fissuras no sentido longitudinal da peça, em pilares, pode observar o esfolamento do concreto lateral à armadura vertical (Andrade; Castro, 1989). Esses sinais visuais indicam problemas avançados, com possível perda de aderência entre o concreto e o aço, redução da seção das armaduras e diminuição da capacidade de carga da estrutura.

3.6.4 Riscos estruturais e econômicos

Do ponto de vista técnico, a corrosão causa a redução da seção transversal das armaduras, a perda de aderência entre o concreto e o aço, o aparecimento de fissuras e deslocamentos, perda de capacidade de redistribuição de esforços, entre outros efeitos. Esses danos levam à diminuição da capacidade resistente dos elementos estruturais, reduzindo a segurança da edificação frente às cargas de uso, ações acidentais e até mesmo solicitações excepcionais, como sismos e incêndios (Helene, 1992).

A perda da função estrutural das armaduras pode comprometer a estabilidade global da estrutura. Em elementos submetidos à tração ou flexão, como vigas e lajes, a redução da resistência da armadura pode gerar rupturas frágeis e repentinas. Já em pilares, a corrosão pode levar ao encurtamento da vida útil à compressão, comprometendo a capacidade de carga vertical e a estabilidade global da edificação (Mehta; Monteiro, 2014).

A corrosão em estruturas de concreto armado representa um risco econômico significativo, com custos de manutenção, reparos e substituições de peças afetadas, além de potenciais prejuízos com interrupções operacionais e danos ambientais. A necessidade de reparos não planejados, paralisações de uso, remoção de revestimentos, recuperação de armaduras, são apenas algumas das medidas técnicas que geram altos custos. Além disso, edificações degradadas tendem a sofrer desvalorização comercial, especialmente quando os sinais de corrosão são visíveis (Carvalho; Helene, 2001).

3.7 Técnicas de prevenção e controle da corrosão

As técnicas de prevenção e controle da corrosão visam tardar o início do processo corrosivo, minimizar sua progressão e restaurar estruturas comprometidas. Essas medidas envolvem desde a escolha adequada de materiais, até o uso de tecnologias avançadas.

- Controle da qualidade dos materiais e da execução: O uso de concreto com baixa permeabilidade, obtido por meio de traços adequados, baixa relação água/cimento e adições minerais, reduzem significativamente a penetração de agentes agressivos. Além disso, a execução correta do cobrimento das armaduras e o adequado adensamento do concreto garante a proteção física da armadura (Helene, 1992).
- Aumento do cobrimento das armaduras: Um cobrimento mínimo adequado é essencial para proteger as armaduras contra a penetração de agentes agressivos. As normas técnicas (como a NBR 6118) estabelecem espessuras mínimas de cobrimento em função da classe de agressividade do ambiente, devendo ser respeitadas para garantir a durabilidade da estrutura (NBR 6118, 2014; Helene; Andrade, 2013).
- Aplicação de revestimentos protetores: Tanto as armaduras quanto o concreto podem receber revestimentos protetores. No aço, podem ser aplicadas resinas epoxídicas antes da concretagem. No concreto endurecido, pode-se aplicar pinturas impermeabilizantes ou hidrorrepelentes que reduzem a absorção de água e agentes agressivos (Helene; Medeiros, 2013).
- Proteção catódica: Essa técnica é baseada na aplicação de uma corrente elétrica externa que inverte a polaridade da armadura, impedindo a sua oxidação. Pode ser feita por corrente impressa ou por ânodos sacrificiais. Embora mais comum em estruturas industriais ou marítimas, essa técnica é altamente eficaz em estruturas com corrosão avançada (Andrade; Alonso, 2004).

- Uso de aditivos inibidores de corrosão: Aditivos químicos podem ser incorporados ao concreto para reduzir a velocidade das reações de corrosão, especialmente em ambientes com elevada concentração de cloretos. Inibidores migratórios, por exemplo, atuam criando uma barreira na superfície da armadura, mesmo após o endurecimento do concreto (Medeiros; Helene, 2008).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho se caracteriza de forma exploratória, experimental e descritiva, adotando uma abordagem qualitativa. De acordo com Sigelmann (1984), pesquisa descritiva pode ser empregada em abordagens de estudo de caso, utilizada na metodologia bibliográfica, por ser considerada uma revisão detalhada e aprofundar o conhecimento para um fenômeno específico

A pesquisa descritiva tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno, podendo também identificar relações existentes entre variáveis. O pesquisador observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos sem manipulá-los (Gil, 2019).

Foi realizado um estudo de caso, caracterizando como pesquisa exploratória com foco na avaliação de uma caixa d'água que abastece a pousada de um posto de combustível, localizada na cidade de Sousa-PB. A investigação incluiu uma revisão bibliográfica para identificar as causas, efeitos e técnicas de prevenção nas estruturas que contém corrosão.

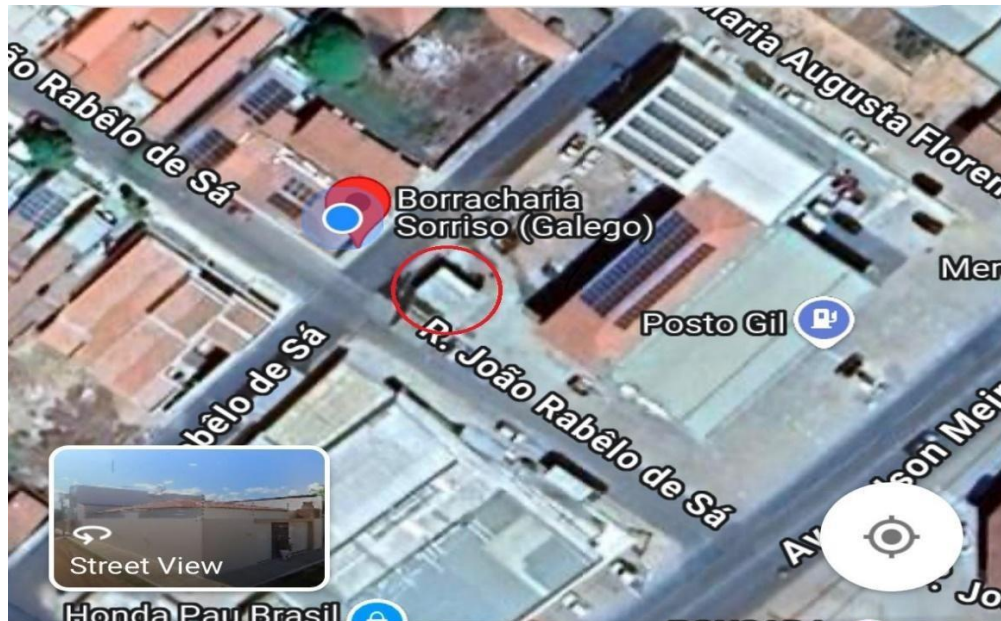
4.1 Local de estudo

A caixa d'água em estudo está localizada na Rua João Rabelo de Sá, no bairro Jardim Iracema, na cidade de Sousa, interior do estado da Paraíba, a aproximadamente 430 km da capital, João Pessoa.

Essa estrutura é responsável pelo abastecimento de 24 apartamentos vinculados a um posto de combustível, atendendo diretamente cerca de 40 pessoas.

A Figura 5 apresenta a localização do objeto de estudo, destacando o posicionamento da caixa d'água. A imagem foi obtida por meio da plataforma Google Maps.

Figura 5 - Localização da caixa d'água



Fonte: Google Maps (2025)

4.2 Fluxograma de pesquisa

O estudo teve início com uma pesquisa bibliográfica voltada para o tema da corrosão, abordando suas causas, efeitos e as principais técnicas de prevenção. Na sequência, foram realizadas visitas ao local de estudo, com inspeções *in loco* e registros fotográficos das condições observadas. A partir dessas visitas e dos registros obtidos, foi feito um levantamento de dados. Na Figura 6, pode ser visualizada o fluxograma das etapas da pesquisa.

Figura 6 - Fluxograma do processo de pesquisa



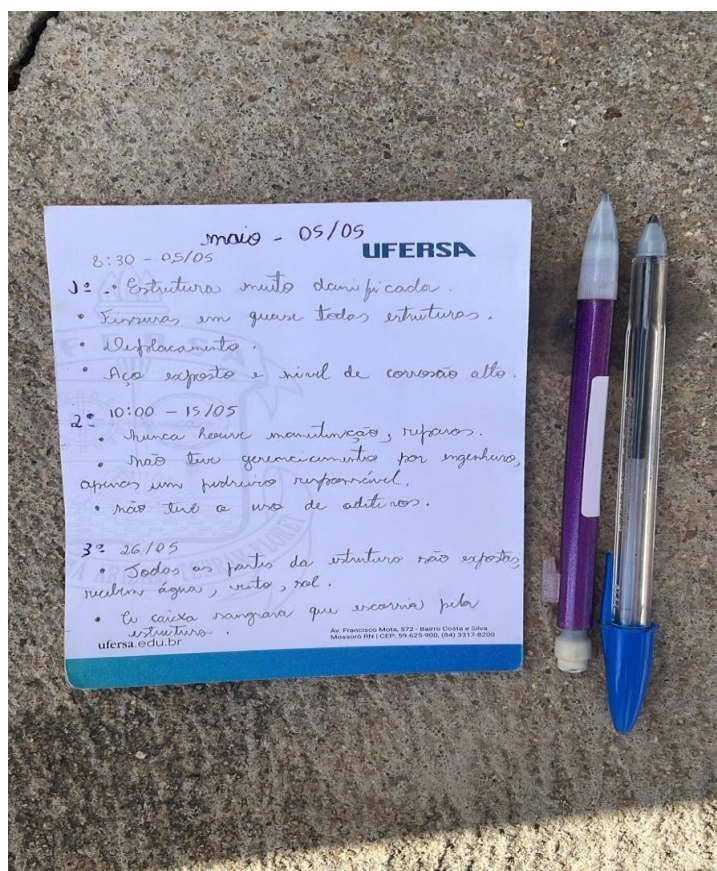
Fonte: Autoria própria (2025)

4.3 Procedimentos metodológicos

O estudo foi realizado com acompanhamento e monitoramento da corrosão da caixa d'água, onde foi adotado um procedimento sistemático de vistorias *in loco*. As visitas tiveram duração de dois meses, com um acompanhamento semanal. Durante cada visita, foram coletados dados abrangentes, incluindo registros fotográficos, horários de inspeção, data da construção da caixa d'água, condições climáticas, com o objetivo de um melhor acompanhamento da progressão do processo corrosivo.

Além de registro fotográficos, foram realizadas anotações das observações feitas *in loco*, utilizando bloco de notas e canetas, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Materiais utilizados durante as inspeções



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caixa d'água

Inicialmente, constatou-se de forma informal, perguntando à populares, que o local de estudo nunca passou por qualquer tipo de manutenção, restauração ou análise voltada para reparos. A caixa d'água com dimensões de 2 metros de altura, 3 metros de largura, 4 metros de comprimento e capacidade de armazenamento de 24.000 litros. Sua função é o abastecimento de uma pousada localizada ao lado de uma borracharia situada na parte inferior da própria estrutura. O público atendido é de cerca de 40 pessoas. O objetivo principal da análise foi identificar as causas que levaram ao processo de corrosão, os impactos no desempenho e na durabilidade da estrutura, bem como as técnicas de prevenção que deveriam ter sido adotadas para evitar esse quadro. Durante as visitas ao local, foi observado um elevado grau de deslocamento do concreto, expondo as armaduras internas ao ambiente externo e evidenciando um estado avançado de deterioração nos pilares. As armaduras apresentavam níveis acentuados de oxidação, o que caracteriza uma corrosão em estágio progressivo.

A primeira visita realizada no local ocorreu no dia 05 de maio de 2025, durante a visita foi informado que a caixa d'água foi construída em 2002, totalizando 23 anos de uso. Também foi relatado que, durante esse período, nunca foram realizadas manutenções ou reparos estruturais. A obra não contou com projeto ou acompanhamento de um engenheiro civil, tendo sido executada apenas sob a responsabilidade de um pedreiro. Além disso, foi informado que não houve o uso de aditivos na composição do concreto, o que compromete ainda mais sua durabilidade. Na segunda visita, foi possível constatar evidentes sinais de degradação da estrutura, com destaque para o avançado estado de corrosão das armaduras, quase totalmente expostas. Fissuras estavam presentes em praticamente toda a superfície da estrutura, além de áreas com deslocamento do concreto e perda significativa da seção resistente. Observou-se, ainda, que a caixa d'água está totalmente exposta às ações dos agentes naturais, como sol, chuva e vento, o que intensifica o processo de deterioração e compromete sua vida útil.

Na Figura 8 têm-se 3 registros fotográficos dos pilares e da laje da caixa d'água.

Figura 8 - Registros fotográficos dos pilares e da laje da caixa d'água no dia 05 de maio de 2025



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

A análise da caixa d'água revelou que, desde sua construção em 2002, a estrutura nunca passou por qualquer intervenção de manutenção ou reparo estrutural. Essa negligência prolongada é um fator determinante para a aceleração dos processos patológicos, visto que a durabilidade das estruturas de concreto armado é diretamente impactada pela ausência de um plano de inspeção e manutenção periódica. Conforme destaca a NBR 6118 (2014), a capacidade de uma estrutura manter suas propriedades mecânicas e funcionais ao longo da vida útil depende da resistência às ações de agentes agressivos do ambiente, algo que é otimizado pela gestão contínua e pela correção precoce de falhas.

A ausência de um projeto formal e do acompanhamento de um engenheiro civil na fase construtiva também contribuiu para o cenário atual, uma vez que, como apontam Helene e Andrade (1993), a qualidade da execução e o controle tecnológico dos materiais são cruciais para garantir a proteção das armaduras e a longevidade da estrutura.

5.2 Triângulo da corrosão

O Triângulo da Corrosão é um modelo que representa os três elementos fundamentais necessários para a ocorrência da corrosão: o metal, o meio condutor e o agente agressivo. Essa representação é amplamente utilizada na engenharia civil para compreender por que e como a corrosão se desenvolve em estruturas, especialmente nas de concreto armado. A Figura 9 representa o triângulo da corrosão para o objeto de estudo.

Figura 9 - Triângulo da corrosão para a caixa d'água



Fonte: Autoria própria (2025)

As armaduras de aço, utilizadas no interior do concreto, são metais suscetíveis à corrosão. Quando o concreto é recém-aplicado, bem dosado e corretamente curado, ele cria um ambiente altamente alcalino, que forma uma camada passivadora de óxidos sobre a superfície do aço, protegendo-o contra a corrosão. No entanto, com o passar do tempo, essa camada pode ser rompida devido à ação de agentes agressivos, como cloretos e dióxido de carbono, dando início ao processo corrosivo.

O meio externo, ou seja, o ambiente onde a estrutura está inserida, também influencia diretamente na aceleração da corrosão. Fatores como a presença de umidade, sais, poluentes atmosféricos e ácidos favorecem a deterioração da armadura.

Além disso, quanto maior for a exposição da armadura ao meio externo, maior será o risco de corrosão, principalmente quando há falhas na proteção do concreto ou ausência de manutenção preventiva. Para mitigar esses efeitos, é fundamental adotar medidas preventivas, como:

- Emprego de concreto com baixa permeabilidade;
- Utilização de aditivos impermeabilizantes;
- Execução de uma cura eficiente do concreto;
- Aplicação de revestimentos protetores superficiais;
- Garantia de cobrimento adequado das armaduras;
- E, quando necessário, o uso de aço inoxidável ou revestido com epóxi.

Essas práticas contribuem significativamente para aumentar a durabilidade e a vida útil das estruturas de concreto armado.

A compreensão do cenário de deterioração da caixa d'água é facilitada pela aplicação do Triângulo da Corrosão, um modelo que destaca os elementos essenciais para que o processo corrosivo ocorra. No contexto deste estudo de caso (Figura 9), os três vértices do triângulo estão plenamente configurados e interagem de forma agressiva:

1. Metal (Armadura): As armaduras de aço, que perderam a camada de passivação devido à penetração de agentes agressivos, atuam como o ânodo em potencial, iniciando o processo eletroquímico.
2. Meio Condutor (Concreto Saturado/Umidade): O concreto poroso e constantemente umedecido pela água do reservatório (e pelas falhas de estanqueidade) atua como o eletrólito, facilitando a mobilidade dos íons e a condução da corrente elétrica necessária para a reação. A umidade e a penetração de oxigênio são cruciais para a corrosão, como ressaltam Mehta e Monteiro (2014), pois a reação eletroquímica do aço só ocorre na presença simultânea de um eletrólito e um agente oxidante.
3. Agente Agressivo (Cloretos e CO₂): Os íons cloreto presentes na água do poço e o dióxido de carbono da atmosfera, que penetram facilitados pelo baixo cobrimento e pelas fissuras, são os catalisadores que rompem a passivação e aceleram a degradação do aço.

A conjunção desses fatores na estrutura da caixa d'água criou um ambiente extremamente favorável à corrosão, reforçando a complexidade do problema e a vários fatores, como descrito por Gentil (2011).

5.3 Causas prováveis da corrosão

Entre as causas prováveis que levaram a degradação da estrutura da caixa d'água, destaca-se o fato de sua construção ter sido realizada sem o dimensionamento adequado e sem o acompanhamento de um engenheiro civil. Além disso, há indícios de que materiais inadequados tenham sido utilizados, o que comprometeu a durabilidade da estrutura desde sua execução.

Outro fator relevante foi, provavelmente, o baixo cobrimento das armaduras, o que pode ter facilitado a penetração de agentes agressivos, reduzindo significativamente a proteção ao aço e favorecendo o processo de corrosão. O concreto utilizado apresentava baixa qualidade, com alta porosidade e baixa resistência, agravado ainda pela ausência de aditivos impermeabilizantes, que poderiam ter minimizado os efeitos da umidade e de agentes químicos. A identificação da má qualidade do concreto baseou-se nas evidências observadas durante a

inspeção técnica da estrutura, como a presença de fissuras, deslocamentos e armaduras expostas, características típicas de um concreto poroso e pouco durável. Tais manifestações patológicas sugerem a elevada permeabilidade do material e indicam a ausência de controle tecnológico durante a execução da obra. Considerando-se também o relato do dono da obra, pela má qualidade do material utilizado, uma péssima execução e da inexistência de acompanhamento profissional, conclui-se que o concreto possuía resistência comprometida desde sua origem, contribuindo diretamente para o avanço do processo de corrosão e para a deterioração precoce da estrutura. O registro fotográfico da caixa d'água realizado no dia 03 de junho de 2025 sugere as causas anteriormente mencionada e pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10 - Registro da estrutura com baixo cobrimento e umidade do dia 03 de junho de 2025



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Um dos fatores mais críticos observados na estrutura da caixa d'água foi o baixo cobrimento das armaduras, conforme evidenciado em registros fotográficos (Figura 10). Esta condição é uma falha construtiva grave, pois o cobrimento adequado do concreto sobre a armadura atua como a primeira linha de defesa contra a penetração de agentes agressivos. A NBR 6118 (2014) estabelece espessuras mínimas de cobrimento baseadas na classe de agressividade ambiental, justamente para garantir essa proteção. No caso, a espessura insuficiente reduziu a barreira física e química fornecida pelo concreto, acelerando a chegada de dióxido de carbono e íons cloreto às armaduras.

Além do cobrimento inadequado, o concreto em si apresentou baixa qualidade e alta porosidade, um reflexo provável de uma alta relação água/cimento e da ausência de aditivos impermeabilizantes, conforme indicado pelos relatos e observações. Mehta e Monteiro (2014) explicam que uma alta relação água/cimento resulta em maior porosidade, facilitando a

penetração de substâncias nocivas e comprometendo a resistência do concreto à degradação. A inexistência de aditivos impermeabilizantes, por sua vez, corrobora a vulnerabilidade da estrutura, pois, como citado por Helene e Pereira (2003), tais aditivos são eficazes em reduzir a permeabilidade, protegendo as armaduras da umidade e de agentes químicos.

Outras causas também podem ter contribuído para a corrosão da estrutura. Algumas falhas na execução da obra, como má compactação do concreto, cura inadequada e possível utilização de materiais contaminados podem ter acontecido. Soma-se a isso o fato de que a água armazenada no reservatório é proveniente de um poço, apresentando um teor de sal significativo, o que contribui ainda mais para a corrosão da estrutura, especialmente em situações de vazamento pelo extravasor, que faz com que a água escorra constantemente pela superfície da caixa d'água, intensificando a ação corrosiva.

A utilização de água de poço, com um teor de sal significativo, para abastecer a caixa d'água representa uma fonte constante de íons cloreto, um dos agentes mais agressivos na promoção da corrosão das armaduras. A observação de vazamentos pelo extravasor, que permitem o escoamento contínuo da água salobra pela superfície do concreto, intensifica a penetração desses íons. Esse cenário configura um clássico caso de corrosão por ataques de cloretos, conforme descrito por Helene e Pereira (2003) e Mehta e Monteiro (2014), onde a concentração de cloretos na interface aço-concreto excede um limiar crítico, rompendo a camada passivadora natural do aço, mesmo em pH elevado.

A combinação do baixo cobrimento e da presença contínua de água salobra criou um ambiente propício para o avanço rápido desse tipo de corrosão localizada, que, em contraste com a carbonatação, pode ser ainda mais destrutiva por sua natureza pontual e concentrada. Como consequência, têm-se a presença de deslocamento e fissuras que podem ser visualizados nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 - Registros fotográficos do deslocamento e das fissuras na caixa d'água no dia 26 de maio de 2025



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Os efeitos provocados pelas causas observadas na estrutura foram diversos, destacando-se a presença de fissuras, o deslocamento do concreto e a perda de aderência entre o aço e o concreto. Esses danos comprometeram a capacidade da estrutura de resistir às cargas previstas. Além disso, a ocorrência de fissuras resultantes da corrosão aumentou a permeabilidade do concreto, facilitando a penetração de agentes agressivos e acelerando ainda mais o processo de deterioração. Como consequência, pode ter havido uma redução da capacidade de carga da estrutura, o que poderia comprometer sua segurança.

Os efeitos visíveis na caixa d'água – a presença de fissuras, o deslocamento do concreto e a consequente exposição das armaduras (Figura 12) – são manifestações patológicas diretas da corrosão avançada. Estes danos corroboram com as descrições de Helene (1992), que explica que a corrosão do aço gera produtos volumosos (ferrugem) que podem ocupar um volume até seis vezes maior que o do aço original. Essa expansão interna cria tensões de tração no concreto, resultando no aparecimento de fissuras longitudinais paralelas às armaduras, que, ao se alastrarem, levam ao destacamento da camada de cobrimento. Além disso, a perda de aderência entre o concreto e o aço, um pilar fundamental para o comportamento estrutural do

concreto armado, é severamente comprometida pela corrosão, como detalhado por Medeiros e Helene (2008). A redução da seção útil das armaduras, também identificada visualmente, diminui a capacidade de carga da estrutura e a sua ductilidade, aumentando significativamente o risco de colapso, conforme alerta Andrade e Jacinto (2003).

Figura 12 - Registro fotográfico do deslocamento e de fissuras na caixa d'água



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

5.4 Medidas preventivas

Para evitar os danos observados na estrutura da caixa d'água, algumas medidas preventivas e boas práticas construtivas deveriam ter sido implementadas desde o início da obra.

A prevenção da corrosão em estruturas de concreto armado envolve a adoção de técnicas que visam evitar a entrada de agentes agressivos e proteger tanto o concreto quanto as armaduras. Para evitar os danos observados na estrutura, algumas medidas preventivas deveriam ter sido adotadas desde o início da obra. Primeiramente, a contratação de um profissional qualificado e habilitado para o dimensionamento e gerenciamento da estrutura teria garantido o atendimento às normas técnicas e a adoção de boas práticas construtivas.

A proteção adequada das armaduras, por meio de um cobrimento conforme as exigências normativas, é fundamental para impedir a ação direta de agentes agressivos. Além disso, a utilização de materiais de boa qualidade na composição do concreto contribui significativamente para a redução da porosidade e o aumento da resistência, dificultando a

penetração de substâncias prejudiciais. Isto pode ser visualizado na Figura 13 que mostra uma comparação de uma estrutura construída conforme às normas e um registro do objeto de estudo desse trabalho.

Figura 13 - Comparação entre uma estrutura saudável e outra deteriorada



Fonte: <https://hrcamargo.com.br/pilares-de-concreto-armado-estrutura-funcao-e-importancia/> / Arquivo pessoal (2025)

A incorporação de aditivos impermeabilizantes durante a preparação do concreto também é uma técnica eficaz, pois reduz sua permeabilidade à água e a outros agentes químicos, prolongando a vida útil da estrutura. O controle rigoroso da relação água/cimento é outro fator determinante, já que proporções mais baixas resultam em concretos mais densos e duráveis.

Outra medida importante seria a aplicação de revestimentos protetores, como tintas especiais, argamassas poliméricas ou resinas, formando uma barreira física adicional contra a umidade e contaminantes. Por fim, a realização de manutenções preventivas e inspeções periódicas permitiria a identificação precoce de processos corrosivos, possibilitando intervenções pontuais antes que os danos se agravassem.

A durabilidade das estruturas de concreto armado está diretamente relacionada à qualidade do projeto, aos materiais empregados, às técnicas construtivas adotadas e à manutenção realizada ao longo do tempo. A elaboração de um projeto com o correto detalhamento das armaduras, do cobrimento e do dimensionamento estrutural é fundamental para garantir o bom desempenho, a resistência e a longevidade da estrutura. Da mesma forma, a realização adequada da cura do concreto, especialmente por meio da cura úmida durante o

período necessário, é essencial para evitar fissuras por retração e assegurar a obtenção da resistência e impermeabilidade desejadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A corrosão em estruturas de concreto armado representa um dos principais desafios para a durabilidade e segurança das construções civis. Ao longo deste trabalho, foi possível compreender que esse fenômeno resulta, majoritariamente, da interação entre agentes agressivos do ambiente e as características físicas e químicas dos materiais que compõem a estrutura. As prováveis causas da corrosão são multifatoriais, envolvendo desde a penetração de íons cloreto e dióxido de carbono até falhas de execução, como recobrimento inadequado das armaduras ou uso de materiais de baixa qualidade. Os efeitos, por sua vez, comprometem não apenas a integridade estrutural, mas também elevam os custos com manutenção e podem gerar riscos à segurança dos usuários da edificação. Por outro lado, o estudo das técnicas de prevenção revelou que é possível minimizar significativamente os impactos da corrosão por meio de boas práticas construtivas, controle tecnológico dos materiais, inspeções periódicas e aplicação de métodos preventivos, como o uso de aditivos inibidores, revestimentos protetores e técnicas eletroquímicas.

Com base na pesquisa realizada e no monitoramento da corrosão na estrutura da caixa d'água localizada em Sousa-PB, foi possível identificar e analisar o grau de deterioração presente. O estudo, que envolveu visitas técnicas, registros fotográficos e a coleta de dados sobre o histórico da construção, forneceu informações relevantes sobre o estágio atual da corrosão e o comprometimento da estrutura.

Durante o período de análise, verificou-se que a maioria dos pilares da estrutura se encontra em estágio avançado de deterioração, resultante da corrosão das armaduras. Foram identificadas perdas significativas de seção, deslocamento da camada superficial do concreto, além da presença de fissuras, trincas e rachaduras, comprometendo seriamente a integridade estrutural. A pesquisa indicou que o clima da região, semiárido quente, aliado à exposição contínua a agentes externos como umidade, variações de temperatura e chuvas, contribuíram significativamente para o avanço do processo corrosivo, especialmente em áreas mais vulneráveis. Além disso, a ausência de manutenção preventiva ao longo do tempo e a adoção de métodos construtivos inadequados, como a falta de impermeabilização, foram fatores determinantes para a aceleração da corrosão.

Diante desse cenário, recomenda-se a realização de um estudo detalhado de viabilidade econômica com o objetivo de avaliar as alternativas de recuperação ou demolição da estrutura. Embora existam técnicas de recuperação aplicáveis a estruturas corroídas, o grau avançado de deterioração identificado sugere que, a longo prazo, a reconstrução da caixa d'água seja a

alternativa mais viável. Essa medida garantiria maior segurança aos usuários, além de assegurar a durabilidade da nova estrutura, evitando elevados custos futuros com manutenções corretivas e reforços estruturais.

Portanto, conclui-se que o combate à corrosão deve ser encarado desde as fases iniciais do projeto estrutural, estendendo-se por todo o ciclo de vida da construção. A adoção de uma postura preventiva, aliada ao uso de tecnologias adequadas, é essencial para garantir a durabilidade, segurança e economia das estruturas de concreto armado.

Este trabalho, por se tratar de um estudo de caso com abordagem predominantemente qualitativa e exploratória, levanta diversas questões e abre caminho para futuras investigações que poderiam aprofundar a compreensão sobre a corrosão em estruturas de concreto armado no semi-árido nordestino e em contextos similares. Sugerem-se os seguintes caminhos para trabalhos futuros: Análise Quantitativa e Laboratorial, Avaliação Comparativa de Custos, Estudo de Outras Estruturas na Região, Análise de Desempenho de Materiais e Técnicas Específicas. Esses trabalhos futuros poderiam complementar as descobertas deste TCC, fornecendo dados mais robustos e contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis para a durabilidade de estruturas de concreto armado em condições ambientais desafiadoras.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2014 – **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ANDRADE, C.; ALONSO, C. Corrosion of steel in concrete. In: TURKALJ, G. (ed.). **Corrosion and conservation of cultural heritage metallic artefacts**. Oxford: Elsevier, 2004. Cap. 14.

ANDRADE, C.; ALONSO, C. **Durability of concrete structures: corrosion of reinforcing steel**. *Materials and Structures*, RILEM, v. 28, n. 181, p. 505–513, 1995.

ANDRADE, C.; CASTRO, P. **Carbonation rate of concrete as a function of the moisture content**. *Cement and Concrete Research*, v. 19, n. 5, p. 687–698, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BAZAN, G. C. da G. **Análise do cobrimento e carbonatação em obras de arte especiais no estado de São Paulo**. 2014. 150 f. Dissertação (Monografia de pós-graduação) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

BUASZCZYK, G. **Tratamentos superficiais contra a corrosão de armaduras em concreto armado**. 2009.

CARVALHO, C. M.; HELENE, P. R. L. **Durabilidade do concreto: aspectos construtivos**. In: IBRACON. Seminário de Tecnologia de Estruturas. São Paulo, 2001.

CAVALCANTI, F. P. et al. **Durabilidade das estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro: Zigurate, 2005.

COFER. **Benefícios do uso de vergalhão 10mm em estruturas de concreto**. Disponível em: <https://www.cofor.com.br/beneficios-do-uso-de-vergalhao-10mm-em-estruturas-de-concreto>. Acesso em: 26 jul. 2025.

CONCRETO US INADO. Concreto armado. Disponível em: <https://www.concretousinado.com.br/noticias/concreto-armado/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2011.

GIL, A. C. Como classificar as pesquisas. **Como elaborar projetos de pesquisa**, v. 4, n. 1, p. 44–45, 2002.

H. R. CAMARGO. **Pilares de concreto armado: estrutura, função e importância**. Disponível em: <https://hrcamargo.com.br/pilares-de-concreto-armado-estrutura-funcao-e-importancia/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

HELENE, P. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993.

HELENE, P. **Manual de reabilitação de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

HELENE, P. R. L. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: PINI, 1992.

HELENE, P. R. L. **A nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto**. 2014. Atualizado em 2022.

HELENE, P. R. L.; FIGUEIREDO, A. **Corrosão de armaduras para concreto armado**. *Revista Engenharia Mackenzie*, v. 71, n. 180, p. 7–10, 1986.

HELENE, P.; PEREIRA, E. M. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: IBRACON, 2003.

MAPA DA OBRA. Concreto armado. Disponível em:
<https://www.mapadaobra.com.br/negocios/concreto-armado-2/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

MEDEIROS, L. F. de; HELENE, P. R. L. **Durabilidade das estruturas de concreto: fatores que afetam a aderência entre aço e concreto e os efeitos da corrosão**. In: MEDEIROS, L. F. de; HELENE, P. R. L. **Durabilidade do concreto: materiais, tecnologia e projeto**. São Paulo: PINI, 2008. Cap. 3.

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

MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção**. João Pessoa: Editora IFPB, 2017.

TOTAL CONSTRUÇÃO. Concreto armado. Disponível em:
<https://www.totalconstrucao.com.br/concreto-armado/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

TULA, L. S. **Contribuição ao estudo da resistência à corrosão de armaduras de aço inoxidável**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.