

Influência da corrosão das armaduras na durabilidade e na segurança de estruturas de concreto armado em cidades litorâneas brasileiras.

Influence of reinforcement corrosion on the durability and safety of reinforced concrete structures in Brazilian coastal cities.

Rafael Lima Marreiros Garcia

Orientador: Prof. Me. Danilo Teixeira Mascarenhas de Andrade

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a influência da corrosão das armaduras na durabilidade e na segurança de estruturas de concreto armado, com ênfase em edificações localizadas em cidades litorâneas brasileiras. A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão bibliográfica de caráter descritivo e abordagem qualitativa, utilizando artigos científicos, dissertações, teses e normas técnicas que tratam da deterioração do concreto em ambientes agressivos. Os resultados indicam que a presença de cloretos provenientes da maresia, associada à elevada umidade e às variações climáticas, acelera significativamente o processo de corrosão das armaduras, reduzindo o tempo de iniciação e promovendo a deterioração precoce das estruturas. Verificou-se, ainda, que a execução inadequada do revestimento do concreto constitui um dos principais fatores que contribuem para a vulnerabilidade das armaduras, facilitando a penetração de agentes agressivos. A análise também evidenciou que a corrosão compromete diretamente o desempenho estrutural, causando perda de seção do aço, redução da aderência entre aço e concreto e diminuição da capacidade resistente dos elementos estruturais. Conclui-se que a durabilidade e a segurança das estruturas em ambientes litorâneos dependem da adoção de práticas adequadas de projeto, execução e manutenção, com especial atenção ao controle do revestimento e às condições de exposição ambiental.

Palavras-chave: Corrosão das armaduras, Concreto armado, Durabilidade, Ambiente litorâneo, Segurança estrutural.

ABSTRACT

This study aims to analyze the influence of reinforcement corrosion on the durability and safety of reinforced concrete structures, with an emphasis on buildings located in Brazilian coastal cities. The research was developed through a descriptive literature review with a qualitative approach, using scientific articles, dissertations, theses, and technical standards that address the deterioration of concrete in aggressive environments. The results indicate that the presence of chlorides from sea air, associated with high humidity and climatic variations, significantly accelerates the reinforcement corrosion process, reducing the initiation time and promoting premature deterioration of the structures. It was also found that inadequate concrete cover is one of the main factors contributing to the vulnerability of the reinforcement, facilitating the penetration of aggressive agents. The analysis also showed that corrosion directly compromises structural performance, causing loss of steel section, reduced adhesion between steel and concrete, and decreased load-bearing capacity of structural elements. It is concluded that the durability and safety of structures in coastal environments depend on the adoption of appropriate design, execution, and maintenance practices, with special attention to cover control and environmental exposure conditions.

Keywords: Corrosion of reinforcement bars, Reinforced concrete, Durability, Coastal environment, Structural safety.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Tema

As estruturas de concreto armado desempenham um papel essencial na organização e no funcionamento das cidades, estando presentes em edificações residenciais, comerciais, obras de infraestrutura e equipamentos públicos. No entanto, ao longo do tempo, essas estruturas estão sujeitas ao surgimento de manifestações patológicas, como fissuras, infiltrações, eflorescências, desagregações e corrosão das armaduras. Tais patologias, muitas vezes iniciadas de forma discreta, podem evoluir progressivamente, comprometendo o desempenho estrutural, a durabilidade e a segurança das construções. Nesse contexto, compreender os mecanismos que levam ao surgimento dessas manifestações torna-se fundamental para garantir a qualidade e a longevidade das obras, considerando fatores relacionados aos materiais, às condições ambientais, à execução e à manutenção (HELENE, 1993; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Dentre as diversas patologias observadas no concreto armado, a corrosão das armaduras se destaca como uma das mais relevantes, especialmente em cidades litorâneas brasileiras. Nessas regiões, a presença constante de cloretos provenientes da maresia, aliada à elevada umidade e às variações climáticas, cria condições altamente favoráveis ao desenvolvimento desse fenômeno. Quando associada à execução inadequada do cobrimento do concreto, essa realidade se torna ainda mais crítica, pois reduz a proteção natural do aço e

acelera o processo de deterioração. Dessa forma, a corrosão deixa de ser apenas uma manifestação localizada e passa a representar um fator determinante na redução da vida útil das estruturas (MEIRA et al., 2010; NEVILLE, 2016).

Diante desse cenário, o tema deste trabalho direciona-se à análise da influência da corrosão das armaduras na durabilidade e na segurança das estruturas de concreto armado em ambientes litorâneos. Ao focar nessa patologia específica, busca-se aprofundar a compreensão de seus mecanismos de ocorrência, seus impactos estruturais e as estratégias mais eficazes de prevenção e controle. A literatura aponta que estruturas expostas a ambientes agressivos, especialmente quando associadas a falhas construtivas, apresentam maior probabilidade de deterioração precoce, reforçando a importância de estudos voltados à durabilidade e à engenharia preventiva (MEDEIROS; HELENE, 2013).

1.2 Problema

A definição do problema de pesquisa surge da observação recorrente de estruturas de concreto armado que apresentam sinais de deterioração associados à corrosão das armaduras, especialmente em cidades litorâneas. Em inspeções técnicas e estudos de caso, verifica-se que essa patologia está frequentemente relacionada à redução da capacidade resistente, ao surgimento de fissuras, ao deslocamento do revestimento e, conseqüentemente, à diminuição da vida útil das estruturas. A análise da literatura evidencia que esse processo é influenciado tanto por fatores ambientais — como a presença de cloretos, umidade e ação da maresia — quanto por fatores construtivos, como revestimento insuficiente, falhas de execução e ausência de controle tecnológico adequado (HELENE; ANDRADE, 2009; VITALI, 2013).

Além disso, observa-se que a corrosão das armaduras, embora frequentemente identificada em estágios mais avançados, tem início em condições muitas vezes imperceptíveis a olho nu. Essa característica torna o problema ainda mais preocupante, pois permite que o processo evolua silenciosamente até comprometer de forma significativa o desempenho estrutural. Em regiões costeiras, onde as condições ambientais são mais agressivas, essa evolução tende a ocorrer de forma mais rápida, reduzindo o tempo previsto de vida útil das edificações (MEIRA, 2017).

Diante dessas constatações, levanta-se a seguinte questão de pesquisa: como a corrosão das armaduras, associada à insuficiência do revestimento do concreto e à ação de agentes agressivos em cidades litorâneas, influencia a durabilidade e a segurança das estruturas de concreto armado?

A partir dessa problemática, torna-se necessário investigar de que forma esse fenômeno compromete o desempenho estrutural ao longo do tempo, bem como identificar os principais fatores que contribuem para sua ocorrência. Essa análise permite não apenas compreender os impactos da corrosão, mas também propor caminhos mais eficazes para prevenção, controle e aumento da vida útil das estruturas, contribuindo para práticas mais seguras e eficientes na engenharia civil (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

1.3 Proposições

Com base na problemática investigada e nos objetivos do estudo, apresentam-se as seguintes proposições que orientarão a análise:

P1: A corrosão das armaduras no concreto armado reduz significativamente a vida útil das estruturas quando não identificadas e tratadas em tempo hábil.

P2: A ausência de manutenção preventiva é um dos principais fatores que intensificam o avanço da corrosão, comprometendo a segurança estrutural.

P3: As condições ambientais agressivas, como exposição a agentes químicos, variações térmicas e atmosferas marinhas, aceleram processos de deterioração, tornando indispensáveis medidas específicas de proteção.

P4: A adoção de boas práticas de projeto e execução, aliadas ao controle tecnológico do concreto, contribui para minimizar a ocorrência de manifestações patológicas.

P5: O investimento em tecnologias de monitoramento e inspeção precoce é economicamente mais viável a longo prazo do que os custos relacionados a intervenções corretivas emergenciais.

P6: A conscientização dos profissionais da construção civil sobre a relevância da durabilidade e da segurança estrutural é fundamental para a sustentabilidade das edificações.

1.4 Objetivos

1.4.1 Geral

Compreender como o processo de corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado, especialmente em cidades litorâneas brasileiras, influencia a durabilidade e a segurança estrutural, analisando a relação entre a ação de agentes agressivos, a insuficiência do cobrimento do concreto e as condições ambientais características dessas regiões.

1.4.2 Específicos

- Analisar o fenômeno da corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado;
- Identificar os principais fatores que contribuem para o desenvolvimento da corrosão em ambientes litorâneos, com destaque para a presença de cloretos, umidades e intempéries;
- Avaliar a influência do cobrimento inadequado do concreto na aceleração dos processos corrosivos;
- Investigar os impactos da corrosão das armaduras na segurança estrutural e na vida útil das edificações;
- Apontar medidas preventivas e corretivas que contribuam para o controle da corrosão e para o aumento da durabilidade das estruturas em regiões costeiras.

1.5 Justificativa

A escolha de estudar a corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado nasce de uma preocupação real com a segurança e a durabilidade das construções, especialmente em cidades litorâneas, onde as condições ambientais tornam esse problema ainda mais recorrente e agressivo. Nessas regiões, a presença constante de maresia, umidade elevada e variações climáticas cria um cenário propício para o avanço da corrosão, muitas vezes de forma silenciosa. Assim, compreender esse fenômeno não é apenas uma questão técnica, mas uma necessidade diretamente ligada à preservação da segurança das pessoas que utilizam essas estruturas diariamente.

Além disso, a corrosão das armaduras é uma patologia que, em muitos casos, se desenvolve de maneira progressiva e pouco perceptível em seus estágios iniciais. Pequenas falhas construtivas, como o cobrimento insuficiente do concreto, podem antecipar significativamente o início desse processo, reduzindo a vida útil da estrutura e aumentando os custos de manutenção e recuperação. Diante disso, estudar essa patologia de forma específica permite identificar com mais precisão suas causas e seus mecanismos de evolução, contribuindo para intervenções mais eficazes e para a prevenção de danos estruturais mais graves.

Outro ponto relevante é que o conhecimento sobre a corrosão das armaduras em ambientes litorâneos contribui diretamente para a melhoria das práticas da engenharia civil.

Ao compreender como fatores ambientais e executivos influenciam o desempenho das estruturas, torna-se possível projetar e construir com maior responsabilidade, adotando soluções que garantam maior durabilidade e desempenho ao longo do tempo. Dessa forma, este trabalho não se limita à análise de um problema técnico, mas busca contribuir para uma engenharia mais preventiva, consciente e comprometida com a qualidade das obras.

Por fim, a pesquisa se justifica pela necessidade de ampliar o debate sobre durabilidade das estruturas em regiões costeiras brasileiras, onde a agressividade ambiental exige atenção especial desde a fase de projeto até a manutenção ao longo da vida útil. Investigar a corrosão das armaduras, nesse contexto, é investir na construção de estruturas mais seguras, resilientes e capazes de atender às demandas da sociedade com eficiência e confiabilidade ao longo dos anos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Corrosão das armaduras no concreto armado em cidades litorâneas brasileiras

Entre as patologias que afetam o concreto armado, a corrosão das armaduras destaca-se como uma das mais críticas, sobretudo em regiões litorâneas. Nessas áreas, as estruturas estão constantemente expostas à ação de cloretos provenientes da maresia, à elevada umidade relativa do ar e aos ciclos de molhagem e secagem, fatores que aceleram significativamente os processos de deterioração. A presença desses agentes agressivos favorece a ruptura da camada apassivadora do aço, dando início ao processo corrosivo mesmo em estruturas relativamente novas (MEIRA et al., 2010; HELENE, 1993).

Em condições normais, o concreto proporciona proteção às armaduras devido ao seu elevado pH, que mantém o aço em estado passivo. No entanto, quando há a penetração de íons cloreto em níveis críticos, essa proteção é comprometida, iniciando-se reações eletroquímicas que levam à formação de produtos de corrosão. Em ambientes costeiros brasileiros, essa penetração ocorre tanto por contato direto com a água do mar quanto pela deposição atmosférica de sais, que pode atingir edificações mesmo a distâncias consideráveis da orla (VITALI, 2013; SILVESTRO et al., 2020).

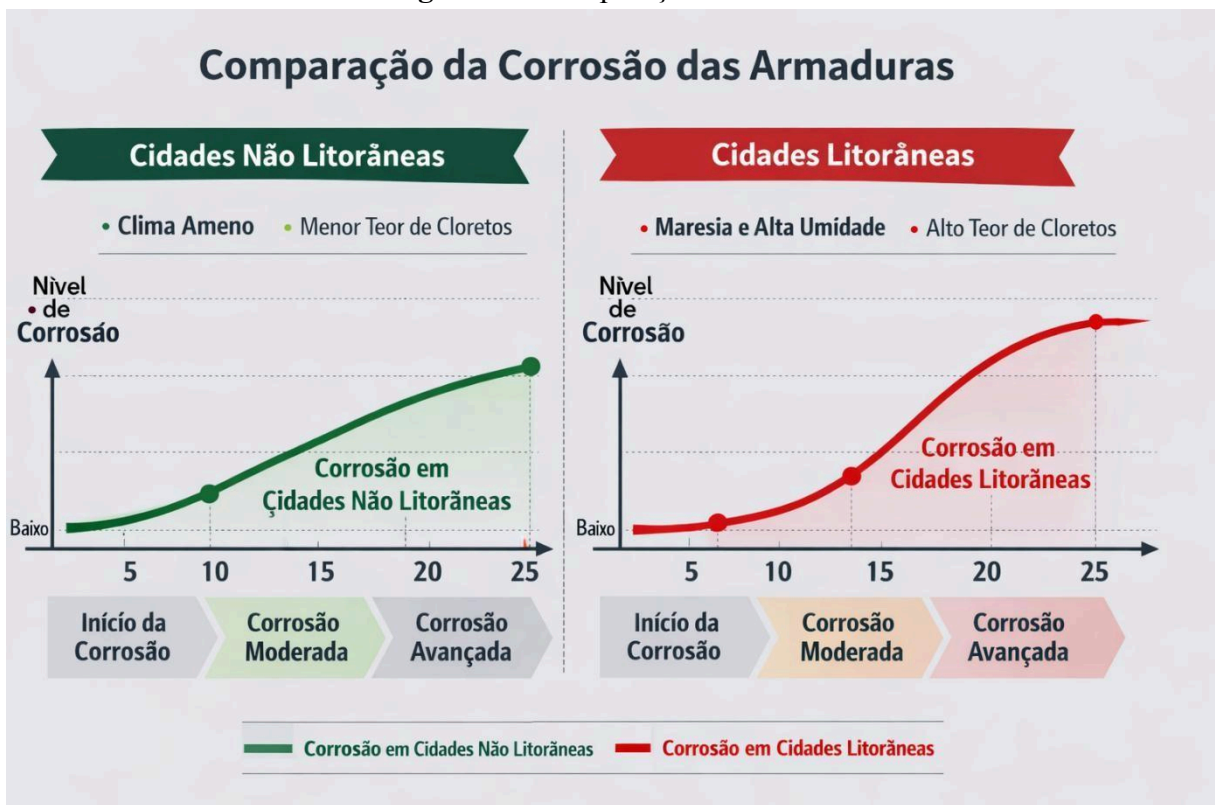
Nesse contexto, o cobrimento do concreto exerce papel fundamental na durabilidade das estruturas. Quando executado de forma inadequada — seja por espessura insuficiente, falhas de adensamento ou elevada porosidade — o cobrimento perde sua função de barreira física, facilitando a entrada de agentes agressivos. Estudos indicam que a redução do

cobertura está diretamente associada à diminuição do tempo de iniciação da corrosão, tornando a estrutura mais vulnerável ao longo de sua vida útil (RIBEIRO et al., 2013; MEDEIROS; HELENE, 2013).

Além disso, a corrosão raramente ocorre de forma isolada. Ela costuma estar associada a manifestações como fissuração, infiltração, eflorescências e deslocamento do revestimento, evidenciando um estágio avançado de deterioração. Em cidades litorâneas, pequenas falhas construtivas tendem a ser potencializadas pelas condições ambientais, o que torna a corrosão uma das principais causas de degradação prematura das estruturas de concreto armado (MEIRA, 2017; ARARUNA, 2023).

Para facilitar a compreensão dos efeitos do ambiente na evolução da corrosão das armaduras, apresenta-se o gráfico a seguir, que compara o comportamento desse processo em estruturas localizadas em cidades litorâneas e não litorâneas. A representação evidencia como fatores ambientais, especialmente a presença de cloretos, a umidade elevada e a ação da maresia, influenciam diretamente na velocidade e intensidade da corrosão ao longo do tempo. Observa-se que, em regiões litorâneas, o processo tende a ocorrer de forma mais acelerada, reduzindo o tempo de iniciação e promovendo uma evolução mais rápida para estágios avançados de deterioração.

Figura 1 – Comparação da corrosão das armaduras



Fonte: Autoria própria (2025)

2.2 Segurança nas estruturas

A corrosão das armaduras compromete diretamente a segurança das estruturas de concreto armado, pois altera suas propriedades mecânicas e seu comportamento estrutural. À medida que o aço sofre corrosão, ocorre redução de sua seção transversal, o que diminui sua capacidade resistente. Simultaneamente, os produtos da corrosão possuem maior volume que o aço original, gerando tensões internas que provocam fissuração e destacamento do concreto de cobertura (HELENE, 1993; NEVILLE, 2016).

Esse processo afeta significativamente a aderência entre o aço e o concreto, prejudicando a transferência de esforços e comprometendo o desempenho estrutural dos elementos. Como consequência, há redução da rigidez, da ductilidade e da capacidade de redistribuição de esforços, fatores essenciais para a segurança estrutural. Em situações mais avançadas, pode ocorrer a exposição das armaduras, acelerando ainda mais o processo corrosivo e aumentando o risco de falhas estruturais (LIBERATI et al., 2014).

Em ambientes litorâneos, esse cenário torna-se ainda mais crítico devido à ação contínua da maresia e das intempéries. Elementos estruturais expostos, como fachadas, sacadas, marquises e estruturas de estacionamento, são particularmente vulneráveis, pois recebem maior deposição de cloretos e estão sujeitos a ciclos frequentes de umedecimento e secagem. Esses fatores contribuem para a intensificação da corrosão e para a redução da vida útil das estruturas (MEIRA et al., 2010; SILVESTRO et al., 2020).

Além disso, a execução inadequada do revestimento reduz a margem de segurança da estrutura desde sua fase inicial. Quando a armadura se encontra muito próxima da superfície, o tempo necessário para que os agentes agressivos atinjam o aço é significativamente reduzido, antecipando o início da corrosão e comprometendo o desempenho estrutural antes do previsto em projeto (RIBEIRO et al., 2013).

Dessa forma, a corrosão das armaduras deve ser compreendida como uma patologia progressiva, que exige diagnóstico técnico adequado e intervenções oportunas. A identificação precoce por meio de inspeções e ensaios permite reduzir os impactos estruturais e garantir maior segurança ao longo da vida útil da edificação (ARARUNA, 2023; MEDEIROS et al., 2020).

2.3 Durabilidade da estrutura

A durabilidade das estruturas de concreto armado em regiões litorâneas está diretamente relacionada à capacidade do concreto de resistir à penetração de agentes agressivos, especialmente os íons cloreto. Em ambientes marinhos, a presença constante de sais, associada à elevada umidade e às variações climáticas, cria condições altamente favoráveis ao desenvolvimento da corrosão das armaduras, sendo esse um dos principais fatores que reduzem a vida útil das estruturas (MEDEIROS; HELENE, 2013; MEIRA et al., 2010).

A velocidade de ingresso de cloretos no concreto depende de diversos fatores, como a relação água/cimento, a qualidade dos materiais, o tipo de cimento utilizado, a presença de adições minerais e a eficiência da cura. Concretos mais densos e bem executados apresentam menor permeabilidade, dificultando a penetração de agentes agressivos. Por outro lado, concretos porosos ou fissurados permitem maior difusão de cloretos, reduzindo significativamente a durabilidade da estrutura (NEVILLE, 2016; SILVESTRO et al., 2020).

Outro aspecto essencial é a espessura do revestimento, que atua como a principal barreira física de proteção das armaduras. Em ambientes litorâneos, a inadequação desse revestimento compromete diretamente a vida útil da estrutura, pois reduz o tempo necessário para a despassivação do aço. Assim, mesmo estruturas com bom desempenho mecânico podem apresentar deterioração precoce quando não atendem aos requisitos mínimos de revestimento estabelecidos em norma (RIBEIRO et al., 2013).

Além das condições iniciais de projeto e execução, a durabilidade também depende da manutenção ao longo do tempo. Inspeções periódicas, identificação de fissuras, controle de infiltrações e intervenções preventivas são fundamentais para retardar o avanço da corrosão. Em regiões costeiras, onde a agressividade ambiental é contínua, a ausência de manutenção pode acelerar significativamente o processo de deterioração, elevando custos de reparo e riscos estruturais (MEIRA, 2017; ARARUNA, 2023).

Portanto, a durabilidade das estruturas de concreto armado em cidades litorâneas brasileiras depende de uma abordagem integrada que envolva projeto adequado, execução de qualidade — com especial atenção ao revestimento — e manutenção contínua. Essa combinação é essencial para garantir o desempenho estrutural, a segurança e a vida útil das edificações expostas a ambientes marinhos agressivos (MEDEIROS et al., 2020).

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização do estudo

Este estudo foi desenvolvido de acordo com uma abordagem metodológica estruturada para compreender de forma ampla como a corrosão das armaduras afeta o desempenho e a vida útil das estruturas de concreto. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa de caráter descritivo, fundamentada em uma revisão aprofundada da literatura técnica e científica. Essa etapa reuniu informações provenientes de artigos especializados, normas vigentes e trabalhos acadêmicos, possibilitando identificar os fatores que contribuem para o surgimento e evolução das patologias. Esse levantamento teórico serviu como base para compreender os mecanismos de deterioração e suas implicações diretas na segurança estrutural.

A segunda etapa consistiu em uma análise qualitativa do conjunto de dados encontrados, permitindo interpretar, de maneira mais ampla, como diferentes autores tratam os efeitos das patologias em diversos contextos construtivos. Essa exploração envolveu a comparação de estudos que discutem fenômenos como fissuras, corrosão das armaduras e desgaste superficial, possibilitando identificar padrões, divergências e lacunas na literatura. Com essa metodologia, foi possível compreender não apenas os aspectos técnicos ligados à deterioração do concreto, mas também as condições em que essas manifestações se intensificam, contribuindo para uma visão mais crítica e integrada sobre a durabilidade e segurança das estruturas.

A pesquisa foi fundamentada na análise de 17 trabalhos científicos, sendo compostos por 9 artigos publicados em periódicos especializados, 3 dissertações de mestrado, 2 teses de doutorado e 3 livros técnicos consagrados na área de engenharia civil. O estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza descritiva e exploratória, com abordagem qualitativa, tendo como base uma revisão bibliográfica sistematizada. Os materiais foram selecionados a partir de bases acadêmicas confiáveis, como Google Scholar e periódicos científicos da área, utilizando palavras-chave como “corrosão das armaduras”, “concreto armado”, “ambiente litorâneo”, “durabilidade” e “cloretos”. A busca considerou, prioritariamente, publicações dos últimos 15 anos, sem desconsiderar referências clássicas de grande relevância para o tema. Os critérios de seleção incluíram a relevância científica, a consistência metodológica e a aderência direta ao objeto de estudo, permitindo a construção de uma análise crítica fundamentada nos principais aspectos relacionados à corrosão das armaduras e seus impactos na durabilidade e segurança estrutural.

3.2 Amostra, critérios de inclusão e exclusão

A amostra da pesquisa consistiu em artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado, trabalhos acadêmicos e normas técnicas que tratassem da corrosão das armaduras e processos associados à deterioração do concreto armado.

- Critérios de inclusão: estudos que abordassem manifestações patológicas em estruturas de concreto, tais como fissuração, corrosão das armaduras e processos relacionados; trabalhos publicados em bases acadêmicas reconhecidas; documentos técnicos normativos relacionados à durabilidade e segurança estrutural.
- Critérios de exclusão: publicações sem relação direta com o tema; estudos que apresentassem informações incompletas ou não verificáveis; trabalhos duplicados em diferentes bases de dados; e materiais sem rigor científico.

3.3 Procedimentos de Análise

A análise descritiva neste estudo foi direcionada à observação sistemática dos dados presentes na literatura técnica, permitindo compreender de forma objetiva os fenômenos associados às patologias do concreto. Essa abordagem prioriza a apresentação fiel dos fatos, destacando elementos que possam servir como base para discussões futuras dentro da engenharia civil. Ao organizar e interpretar informações já consolidadas, a análise descritiva possibilita revelar tendências, padrões e implicações relevantes para a durabilidade das estruturas, contribuindo para uma compreensão mais clara dos mecanismos que afetam o desempenho do concreto ao longo do tempo (SANTOS; BITTENCOURT, 2019).

Já a análise qualitativa buscou aprofundar a interpretação das percepções e entendimentos apresentados por diferentes autores acerca dos impactos estruturais das patologias do concreto. Essa abordagem ampliou a compreensão sobre como fatores ambientais, construtivos e materiais influenciam a deterioração das estruturas, permitindo uma reflexão crítica sobre as causas e consequências observadas. Ao considerar múltiplas perspectivas, a análise qualitativa enriquece a discussão e oferece uma visão mais abrangente do problema, auxiliando na formulação de estratégias que possam melhorar a segurança e a vida útil das edificações (SILVA; MEDEIROS, 2017).

3.4 Aspectos Éticos e legais

O desenvolvimento deste trabalho seguiu os princípios éticos da pesquisa acadêmica, garantindo a correta citação das fontes utilizadas e o respeito aos direitos autorais, conforme as normas da ABNT. Além disso, foram considerados aspectos legais relacionados às normas técnicas vigentes, assegurando que as discussões estejam em conformidade com regulamentações aplicáveis à construção civil.

3.5 Riscos e Benefícios

O estudo não apresentou riscos diretos, visto que foi conduzido exclusivamente por meio de levantamento bibliográfico e análise documental.

Quanto aos benefícios, espera-se que os resultados do trabalho contribuam para aprofundar a compreensão sobre as manifestações patológicas do concreto e seus impactos na durabilidade e segurança das estruturas, fornecer subsídios teóricos e práticos para engenheiros, gestores e demais profissionais da construção civil, além de incentivar a adoção de estratégias preventivas e de manutenção, reduzindo custos futuros com reparos corretivos e promovendo maior sustentabilidade nas edificações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos estudos selecionados permitiu identificar padrões consistentes sobre a ocorrência e a evolução da corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado, especialmente quando inseridas em cidades litorâneas brasileiras. A partir da literatura consultada, torna-se evidente que a interação entre fatores ambientais agressivos e falhas construtivas exerce influência direta na durabilidade e na segurança estrutural dessas edificações.

Um dos aspectos mais relevantes observados refere-se à presença de cloretos provenientes da maresia como principal agente acelerador do processo corrosivo. Conforme apontado por Helene (1993) e Meira et al. (2010), estruturas localizadas em ambientes costeiros apresentam maior vulnerabilidade devido à constante deposição de sais e à elevada umidade relativa do ar, condições que favorecem a despassivação das armaduras. Ao analisar esse cenário, entende-se que o ambiente litorâneo não deve ser tratado apenas como um fator externo secundário, mas como uma variável determinante no desempenho estrutural ao longo

do tempo. Isso porque a agressividade ambiental reduz significativamente o período de iniciação da corrosão, antecipando processos de deterioração que, em outros contextos, levariam mais tempo para se manifestar.

Outro ponto que merece destaque é a influência do cobrimento do concreto como elemento fundamental de proteção das armaduras. Os estudos analisados, especialmente Ribeiro et al. (2013), demonstram que estruturas com cobrimento insuficiente apresentam maior suscetibilidade à penetração de agentes agressivos, acelerando a corrosão e reduzindo a vida útil da estrutura. Entretanto, mais do que um simples requisito normativo, percebe-se que o cobrimento adequado representa uma das principais barreiras de proteção contra a deterioração precoce. Na prática, falhas executivas como má compactação, cura inadequada ou controle tecnológico deficiente comprometem a densidade do concreto e facilitam a difusão de cloretos, tornando a estrutura vulnerável desde os primeiros anos de uso.

A análise também evidenciou que a corrosão das armaduras raramente se manifesta de forma isolada. Frequentemente, ela está associada a sinais visíveis como fissuração, deslocamento do cobrimento e exposição das armaduras. Esses fenômenos ocorrem em decorrência da expansão volumétrica dos produtos da corrosão, que geram tensões internas superiores à capacidade resistente do concreto. Mais do que manifestações superficiais, esses sinais representam alertas claros de comprometimento estrutural. Nesse sentido, entende-se que a identificação tardia desses indícios pode significar que o processo corrosivo já se encontra em estágio avançado, elevando significativamente os custos de recuperação e os riscos à segurança da edificação.

Sob a perspectiva da segurança estrutural, os resultados demonstram que a corrosão afeta diretamente o comportamento mecânico dos elementos estruturais. A redução da seção transversal das armaduras compromete a capacidade resistente, enquanto a perda de aderência entre aço e concreto prejudica a transferência adequada de esforços. Além disso, a diminuição da ductilidade torna a estrutura mais vulnerável a comportamentos frágeis, especialmente sob ações variáveis ou sobrecargas não previstas. A partir dessa análise, fica evidente que a corrosão das armaduras não deve ser interpretada apenas como um problema de manutenção, mas como uma patologia estrutural com potencial real de comprometer a estabilidade e a segurança das construções.

Outro aspecto importante observado foi a relação entre manutenção preventiva e desempenho estrutural ao longo da vida útil. A literatura demonstra que estruturas submetidas a inspeções periódicas e intervenções preventivas tendem a apresentar melhor desempenho e maior durabilidade. Em contrapartida, a ausência de acompanhamento técnico favorece a

progressão silenciosa da corrosão até estágios críticos. Ao analisar esse cenário, torna-se claro que muitas manifestações patológicas poderiam ser controladas ainda em fases iniciais, com menor custo e menor impacto estrutural. Isso reforça a importância de uma cultura de manutenção preventiva, especialmente em regiões costeiras, onde os mecanismos de deterioração atuam de forma contínua e acelerada.

A comparação entre estruturas situadas em ambientes litorâneos e não litorâneos, representada na Figura 1, reforça essa interpretação. Observa-se que, enquanto em regiões não costeiras o processo corrosivo tende a evoluir de forma mais lenta e gradual, em cidades litorâneas sua progressão ocorre de maneira significativamente mais acelerada. Essa diferença evidencia que o ambiente de exposição exerce papel determinante no planejamento da durabilidade das estruturas, exigindo soluções mais rigorosas desde a concepção do projeto até a manutenção ao longo da vida útil.

De forma geral, os resultados analisados permitem concluir que a corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado é consequência de uma combinação entre agressividade ambiental, falhas construtivas e ausência de manutenção adequada. Entretanto, mais do que identificar esses fatores, este estudo permite compreender que muitos desses problemas são tecnicamente previsíveis e evitáveis. Dessa forma, entende-se que a atuação da engenharia civil deve assumir uma postura mais preventiva e integrada, considerando não apenas o dimensionamento estrutural, mas também a durabilidade como parâmetro essencial de projeto. Em ambientes litorâneos, essa abordagem torna-se ainda mais necessária, uma vez que a exposição constante a agentes agressivos impõe desafios significativamente maiores à preservação da segurança e da vida útil das estruturas.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo compreender como a corrosão das armaduras influencia a durabilidade e a segurança das estruturas de concreto armado, com ênfase em cidades litorâneas brasileiras, considerando a ação de agentes agressivos e a influência do cobrimento do concreto. A partir da análise realizada, foi possível verificar que a corrosão se configura como uma das principais causas de deterioração estrutural, especialmente em ambientes marinhos, onde as condições de exposição favorecem a penetração de cloretos e aceleram os processos de degradação.

Os resultados evidenciaram que o ambiente litorâneo exerce papel determinante na redução da vida útil das estruturas, uma vez que a presença constante de maresia, umidade

elevada e variações climáticas contribui para a rápida despassivação das armaduras. Quando associada a falhas construtivas, como cobertura insuficiente, má execução e ausência de controle tecnológico, essa condição torna-se ainda mais crítica, antecipando o início da corrosão e intensificando sua progressão ao longo do tempo.

Além disso, constatou-se que a corrosão das armaduras não se limita a comprometer aspectos superficiais das estruturas, mas afeta diretamente seu comportamento estrutural. A redução da seção das armaduras, a perda de aderência entre aço e concreto e a diminuição da ductilidade resultam em uma significativa perda de capacidade resistente, elevando os riscos de falhas estruturais. Dessa forma, a corrosão deve ser compreendida como uma patologia de caráter estrutural, que exige atenção desde a fase de projeto até as etapas de execução e manutenção.

Outro ponto relevante observado ao longo do estudo foi a importância da manutenção preventiva como ferramenta fundamental para o controle da deterioração. Estruturas submetidas a inspeções periódicas e intervenções precoces apresentam melhor desempenho ao longo da vida útil, enquanto a ausência de acompanhamento técnico contribui para o agravamento das patologias e para o aumento dos custos de recuperação.

Diante disso, conclui-se que a durabilidade e a segurança das estruturas de concreto armado em cidades litorâneas dependem de uma abordagem integrada, que envolva projeto adequado às condições ambientais, execução de qualidade — com especial atenção ao cobertura do concreto — e manutenção contínua ao longo do tempo. A adoção dessas medidas é essencial para reduzir a incidência da corrosão das armaduras e garantir o desempenho das estruturas de forma segura e eficiente.

Por fim, destaca-se a importância de ampliar estudos voltados à durabilidade em ambientes agressivos, incentivando o desenvolvimento de soluções técnicas mais eficientes e sustentáveis. Nesse sentido, este trabalho contribui para a compreensão dos mecanismos de deterioração associados à corrosão das armaduras e reforça a necessidade de práticas mais rigorosas na engenharia civil, visando a construção de estruturas mais duráveis, seguras e capazes de atender às demandas da sociedade ao longo do tempo. Nesse sentido, reforça-se que a atuação do engenheiro civil deve ir além do dimensionamento estrutural, incorporando uma visão preventiva e durável das construções, especialmente em ambientes litorâneos, onde os riscos de deterioração são mais intensos.

REFERÊNCIAS

- ARARUNA, J. C. M. **Prevenção e recuperação de estruturas de concreto armado submetidas ao processo de corrosão da armadura: revisão de literatura.** *Revista Principia*, João Pessoa, 2023.
- HELENE, P. R. L. **Manual de reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1993.
- HELENE, P. R. L.; ANDRADE, C. **Corrosão em armaduras de concreto armado.** São Paulo: IBRACON, 2009.
- ISAIA, G. C. (Org.). **Concreto: ciência e tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2011.
- LIBERATI, E. A. P. et al. **Influência da corrosão da armadura na capacidade resistente de vigas de concreto armado.** *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 2014.
- MEDEIROS, A. G. et al. **Aplicação de metodologias de inspeção em estruturas de concreto armado.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 2020.
- MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, P. **Previsão da vida útil de estruturas de concreto armado em ambiente marinho.** *REM – Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, 2013.
- 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: IFPB, 2017.
- MEIRA, G. R. et al. **Durability of concrete structures in marine atmosphere zones.** *Cement and Concrete Composites*, 2010.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- RIBEIRO, P. H. L. C. et al. **Influence of reinforcement cover thickness on corrosion processes.** *Construction and Building Materials*, 2013.
- SANTOS, M. R.; BITTENCOURT, T. N. **Contribuições da análise descritiva na avaliação de manifestações patológicas em estruturas de concreto.** *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 2019.
- SILVA, A. F.; MEDEIROS, M. H. F. **Análise qualitativa aplicada ao estudo da deterioração do concreto armado.** *Revista Matéria*, 2017.
- SILVESTRO, L. et al. **Penetração de cloretos em concretos expostos em ambiente marinho.** *Ambiente Construído*, 2020.
- SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1998.
- VITALI, M. R. V. **Efeito do ambiente marinho na corrosão de armaduras em estruturas de concreto.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.