



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFERSA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS – CMPF**

ANTONIO ARTHUR EMMANUEL DE SOUSA

**ANÁLISE DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM UMA
PRAÇA DO ALTO OESTE POTIGUAR**

PAU DOS FERROS –RN

2022

ANTONIO ARTHUR EMMANUEL DE SOUSA

**ANÁLISE DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM UMA
PRAÇA DO ALTO OESTE POTIGUAR**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
colegiado do Curso de Bacharelado
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias

PAU DOS FERROS -RN

2022

© 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 tornar-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.

S725a SOUSA, ANTONIO ARTHUR EMMANUEL DE .
ANÁLISE DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO EM UMA PRAÇA DO ALTO OESTE POTIGUAR /
ANTONIO ARTHUR EMMANUEL DE SOUSA. - 2022.
37 f. : il.

Orientadora: Sanderlir Silva Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2022.

1. Manifestação patológica. 2. Deterioração. 3.
Armaduras de concreto. 4. Nordeste. I. Dias,
Sanderlir Silva, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

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.

ANTONIO ARTHUR EMMANUEL DE SOUSA

**ANÁLISE DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM UMA
PRAÇA DO ALTO OESTE POTIGUAR**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
colegiado do Curso de Bacharelado
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Aprovado em: 28 / novembro / 2022

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias (Orientadora)

Dra. Arnayra Sonayra de Brito Silva Carreiro (1º Examinador)

Me. Marcelo Nascimento de Moraes Oliveira (2º Examinador)

“A mudança não chegará se esperamos outra pessoa ou outro tempo. Somos nós mesmos os que estávamos esperando. Somos a mudança que buscamos”.

(Barack Obama)

Agradecimentos

A Deus, minha eterna fonte de inspiração e luz. Ele que está sempre ao meu lado me guiando, em todos os momentos da minha vida. Sem ele, nada disso seria possível.

Gostaria de agradecer a minha orientadora, Professora Sanderlir Silva Dias, pela confiança depositada, pela disponibilidade e pelos desafios que passei durante a graduação.

À minha esposa, Beatriz Alves Bezerra, pelo incentivo, compreensão e muita paciência nessas longas viagens para o Rio Grande do Norte.

Aos meus pais e meu irmão: Roberto Jorge Vieira de Sousa, Maria Gildivan de Sousa e Heitor Emmanuel de Sousa, que são minhas referências e estímulos para mim.

Ao meu tio, Paulo Ricardo Vieira de Sousa, por todos esses anos me incentivando a concluir a minha graduação.

Aos meus Avós paternos e maternos: Francisco Belo de Sousa e Creuza Alves Vieira de Sousa, e Manuel Senhor de Sousa e Creuza Vieira de Sousa, por toda a fé depositada em mim.

A todos os meus amigos da minha turma de graduação que, mesmo após dois anos de pandemia, continuamos a nos encontrar e que isso continue após a graduação. Isso é muito importante para mim.

Resumo

A análise da deterioração dos materiais é de suma importância para manutenção dos seus tempos de vida útil, estabilidade, além de evitar perdas e custos diretos e indiretos. Na construção civil, a ocorrência desse fenômeno é recorrente, principalmente ao se lidar com as estruturas de concreto armado. Considerada uma das manifestações patológicas mais estudadas na área, a corrosão, que altera as características dos materiais e pode causar diversos impactos. A avaliação desta manifestação patológica nas estruturas permite diagnosticar suas características e prever possíveis impactos ao ambiente e à população, bem como o estabelecimento de intervenções e manutenções. Neste contexto, buscou-se, então, analisar os processos corrosivos presentes nas estruturas de concreto armado presentes em uma praça pública localizada no município de Pau dos Ferros, no Alto Oeste Potiguar, especificamente na praça Lourenço Goncalves de Brito, localizada no bairro São Geraldo. Para este fim, foi confeccionado um arcabouço teórico científico através de uma revisão bibliográfica em materiais relacionados a processos corrosivos, corrosão em estruturas de concreto e afins. Foram consultados periódicos, trabalhos de conclusão de cursos de graduação e pós-graduação, livros, dentre outras fontes de respaldo científico. A identificação dos focos de corrosão nas estruturas de concreto armado na praça foi realizada através de visita *in loco* e constatação visual. Foram realizados registros fotográficos, bem como a identificação de possíveis agentes causadores ou intensificadores. Por fim, foram propostas medidas de tratamento e preservação das estruturas, de forma particular para o diagnóstico realizado, baseado em indicações contidas na bibliografia consultada. Foram observados diversos pontos de corrosão nas construções do local, apresentando desgaste do concreto e exposição da armadura interna, associados, principalmente, à ação de intempéries, como temperatura, ventos, precipitação e sais do solo, além da falta de manutenção, erros de execução, esforços mecânicos, dentre outros. Sugeriu-se, para recuperação das estruturas, medidas que visam a estabilização de patologias associadas, como as fissuras, e medidas de reforços, como o encamisamento de áreas. Concluiu-se que o processo corrosivo é uma manifestação presente no objetivo de estudo, interferindo em sua usabilidade e que carece de maior atenção por parte do poder público municipal.

PALAVRAS-CHAVE: Manifestação patológica; Deterioração; Armaduras de concreto; Nordeste.

Abstract

The analysis of the deterioration of materials is of paramount importance for maintaining their useful life, stability, in addition to avoiding losses and direct and indirect costs. In civil construction, the occurrence of this phenomenon is recurrent, especially when dealing with reinforced concrete structures. Considered one of the most studied pathological manifestations in the area, corrosion, which alters the characteristics of materials and can cause different impacts. The evaluation of this pathological manifestation in the structures allows diagnosing its characteristics and predicting possible impacts to the environment and the population, as well as the establishment of interventions and maintenance. In this context, we sought to analyze the corrosive processes present in the reinforced concrete structures present in a public square located in the municipality of Pau dos Ferros, in the Alto Oeste Potiguar, specifically in the square Lourenço Gonçalves de Brito, located in the São Geraldo neighborhood. For this purpose, a scientific theoretical framework was made through a bibliographical review on materials related to corrosive processes, corrosion in concrete structures and the like. Periodicals, undergraduate and postgraduate course completion papers, books, among other sources of scientific support were consulted. The identification of corrosion foci in the reinforced concrete structures in the square was carried out through an on-site visit and visual verification. Photographic records were made, as well as the identification of possible causative or intensifying agents. Finally, measures for the treatment and preservation of structures were proposed, particularly for the diagnosis made, based on indications contained in the consulted bibliography. Several corrosion points were observed in the buildings at the site, showing wear of the concrete and exposure of the internal reinforcement, mainly associated with the action of bad weather, such as temperature, winds, precipitation and soil salts, in addition to lack of maintenance, execution errors, mechanical efforts, among others. It was suggested, for the recovery of structures, measures aimed at stabilizing associated pathologies, such as cracks, and reinforcement measures, such as lining areas. It was concluded that the corrosive process is a manifestation present in the objective of the study, interfering in its usability and that it needs more attention on the part of the municipal public power.

KEY WORDS: Pathological manifestation; Deterioration; Concrete reinforcements; North East.

Lista de Quadros

Quadro 1: Síntese das variáveis do triângulo da corrosão.	18
Quadro 2: Vantagens da utilização do concreto armado na construção civil.	19
Quadro 3: Principais formas de corrosão ocorrentes no concreto.	22

Lista de Figuras

Figura 1: Exemplos de casos de corrosão.	16
Figura 2: Exemplo de pilha galvânica.	17
Figura 3: Exemplos de casos de corrosão em concreto.	20
Figura 4: Processo da corrosão em concreto armado.	21
Figura 5: Mapa de localização da praça Lourenço Goncalves de Brito.	24
Figura 6: Fluxograma de síntese metodológica.	25
Figura 7: Caso de corrosão encontrado em estrutura de canteiro.	26
Figura 8: Caso de corrosão encontrado em estrutura de estilo “barras de ginástica”.	28
Figura 9: Caso de corrosão encontrado em estrutura de brinquedo estilo “escorregador”.	29
Figura 10: Caso de fissuras encontrado em estrutura de medidor de eletricidade.	30
Figura 11: Técnicas de reparo de fissuras.	33
Figura 12: Técnicas de reparo de corrosão em armaduras de concreto.	34

Lista de Siglas e Elementos

As - Clima tropical com estação seca

Br⁻ - Íons bromo

Ca(HCO₃)₂ – Bicarbonato de cálcio

Ca(OH)₂ – Hidróxido de cálcio

CaCO₃ – Carbonato de cálcio

Cl⁻ - Íons cloro

CO₂ - Dióxido de carbono

Fe₂O₃ – Óxido de ferro (III)

Fe₂O₃H₂O - Óxido de ferro (III) hidratado

H₂O - Água

I⁻ - Íons iodo

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NO - Óxido de nitrogênio

NO₂ - Dióxido de nitrogênio

pH – Potencial hidrogeniônico

SO₂ - Dióxido de enxofre

SO₃ - Trióxido de enxofre

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	OBJETIVOS	11
	2.1 GERAL	11
	2.2 ESPECÍFICOS	11
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	12
	3.1 CORROSÃO	12
	3.2 CONCRETO ARMADO	14
	3.2.1 Corrosão no concreto armado	15
4.	METODOLOGIA	20
	4.1 ÁREA DE ESTUDO	20
	4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
	5.1 TÉCNICAS DE REPARO	29
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
7.	REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

A análise da deterioração dos materiais e o uso de meios adequados de prevenção e manutenção são de suma importância para prorrogação do seu tempo de vida útil, além de evitar perdas e custos diretos e indiretos. Na construção civil, essa prática é recorrente principalmente ao se lidar com estruturas. Uma das manifestações patológicas mais estudadas na área é a corrosão, que altera as características dos materiais e pode causar diversos impactos (MERÇON; GUIMARÃES; MAINIER, 2004; ARAÚJO, 2022).

De acordo com Gentil (2011), a corrosão é um fenômeno de abrangência global, que pode ser definido como sendo a degradação de um material, habitualmente metálico, através de ação química ou eletroquímica do meio, podendo estar associada, ou não, a esforços mecânicos. Esta deterioração é responsável por alterações danosas ao material, tais como desgaste, transmutação químicas ou modificações estruturais, inviabilizando seu uso (GENTIL, 2011).

Ressalta-se ainda os prejuízos econômicos, acidentes e impactos na vida humana decorrentes dos processos corrosivos (ARAÚJO, 2022). Eles afetam diversas atividades, como os meios de transporte (rodoviário, aéreo, ferroviário, metroviário), indústrias, telecomunicação, monumento, esculturas, além de materiais odontológicos e médicos (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014).

Dentro do ramo da construção civil, é necessário que as obras sejam projetadas com a garantia do tempo de vida útil das estruturas. Devem ser considerados todos os fatores de interação entre o meio ambiente e os materiais, como as variáveis atmosféricas, radiação solar, umidade e temperatura do ar, vento e precipitação. Estas variáveis influenciam de maneiras diferentes com os materiais nas construções, transformando suas propriedades mecânicas, aquecimento das peças, fissuras, dilatação e contração, crescimento microbiológico, desgastes, dentre outros (SOUZA *et al.*, 2016).

Os materiais metálicos presentes nas peças estruturais – armadura do concreto, esquadrias, perfis estruturais, metais sanitários – são bons condutores de eletricidade. Os elétrons livres contidos, quando em contato com uma solução condutora, formam uma pilha e tornam os materiais mais propícios a interações atmosféricas com outros elementos, como a superfície do material e o oxigênio do ar, o que pode potencializar os processos de corrosão. As variáveis precipitação e umidade do ar são elencados como as mais corrosivas que atuam nos metais, atrelados também a temperatura, ambiente aquoso e a composição química, afetando diretamente na sua durabilidade (SOUZA *et al.*, 2016; SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015).

Nos compósitos cimentícios, como o concreto, a característica da porosidade pode ser um fator redutor de desempenho, visto que permite que agentes agressivos – água, microrganismos, gases, sais solúveis – entrem no material. As variáveis como água do mar, lençol freático, agregados, água ou solo contaminados, podem ter reações deletérias no concreto provocando rupturas, fissuras e expansão, reduzindo sua resistência e vida útil (SOUZA *et al.*, 2016; SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015).

Dessa forma, é importante que tanto o local a ser empregado o material quanto as condições atmosféricas sejam avaliadas na implantação de construções, para que possíveis acidentes sejam evitados com os usuários. Quando em ambientes abertos, os elementos estão mais suscetíveis às variações do tempo e exposição constante dos materiais às intempéries. Ao avaliar a corrosão nos equipamentos da academia ao ar livre no interior do Rio Grande do Norte, Araújo (2022) verificou a presença de várias formas corrosivas causadas tanto pelo mal uso da população quanto das ações intempéries, aliados a falta de manutenções periódicas e os sais contidos nas mãos dos usuários pelo suor.

A avaliação da referida manifestação patológica das estruturas permite diagnosticar suas características e prever possíveis impactos tanto ao ambiente quanto a população, com o estabelecimento de intervenções e manutenções. Com isso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a corrosão nas estruturas de concreto armado em uma praça localizada no município de Pau dos Ferros-RN. Semelhante à Costa e Silva (2020), a execução dessa pesquisa é justificada pela necessidade de estudos e compreensão desse fenômeno para proposição de intervenções padronizadas para os casos, uma vez que o mesmo põe em risco a qualidade, durabilidade e segurança da estrutura. Para atingir o objetivo proposto, visou-se analisar os processos corrosivos presentes nas estruturas de concreto armado *in loco* através da constatação visual e registros fotográficos, além de realizar uma revisão bibliográfica sobre o tema proposto como respaldo científico e confecção do arcabouço teórico.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar os processos corrosivos presentes nas estruturas de concreto armado presentes em uma praça pública localizada no município de Pau dos Ferros, no Alto Oeste Potiguar.

2.2 ESPECÍFICOS

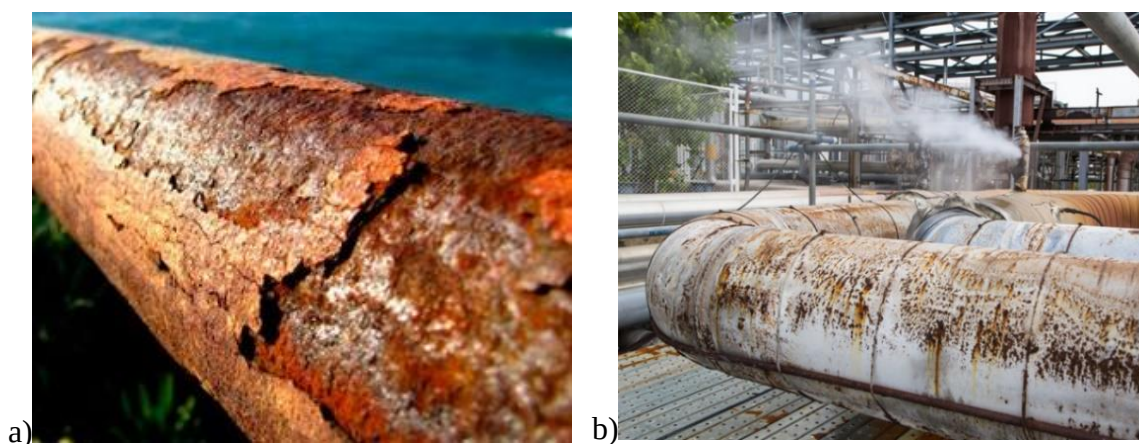
- Verificar a presença de casos de corrosão existentes nas estruturas de concreto armado da praça;
- Identificar possíveis fatores que ocasionaram o processo corrosivo nas estruturas;
- Propor mecanismos de prevenção e recuperação das estruturas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CORROSÃO

A manifestação patológica da corrosão associa-se a deterioração dos materiais – normalmente metálicos – através do ataque destrutivo por ação química ou eletroquímica do ambiente, podendo estar atrelado a esforços mecânicos, o que prejudica e impossibilita de utilizá-los conforme seu uso comum, além de proporcionar prejuízos econômicos e impactos nas vidas das pessoas (GENTIL, 2011; MAIA *et al.*, 2015; OSTROSKI, 2019). Os metais têm a tendência de retornar para seu estado mais estável – natural – na forma de óxido e esse processo, conhecido por oxidação, possibilita a perda de elétrons por parte desse material (RIBEIRO, 2014). As Figuras 1 a) e 1 b) exemplificam alguns casos de corrosão.

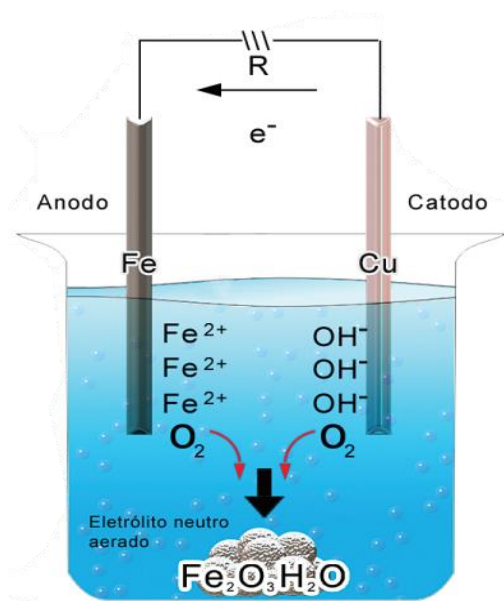
Figura 1: Exemplos de casos de corrosão.



Fonte: Rijeza Metalurgia (2022)

Com base nisso, a corrosão pode ser classificada de 3 formas, como sintetiza a literatura: (i) eletroquímica, (ii) eletrolítica e (iii) química. A corrosão eletroquímica é um processo considerado espontâneo, sendo mais frequente na natureza, que ocorre em meio aquoso, através do fluxo de elétrons entre superfícies metálicas, devido a diferença de potencial das regiões estabelecidas, como uma pilha de corrosão, possuindo simultaneamente uma reação anódica e catódica – existência de uma reação óxido-redução. Esse processo ocorre quando o metal está em contato com um fluido eletrólito, como ilustrado na Figura 2, com o exemplo da oxidação do Ferro na superfície anódica (MAIA, 2020; RIBEIRO, 2014; MERÇON; GUIMARÃES; MAINIER, 2004).

Figura 2:Exemplo de pilha galvânica



Fonte: Adaptado de Merçon, Guimarães e Mainier (2004)

Já a corrosão química não ocorre a transferência de elétrons, uma vez que esse fenômeno acontece entre o meio corrosivo (agente químico) e um material, resultando em um produto sobre a superfície do material (MAIA, 2020). Com relação a eletrolítica, é um tipo de corrosão considerada não-espontânea e sendo um processo eletroquímico, onde há uma corrente elétrica externa geralmente causadas por deficiências de aterramento ou mesmo isolamento (MERÇON; GUIMARÃES; MAINIER, 2004).

O meio corrosivo é um fator que se deve ter atenção devido aos possíveis problemas e danos causados as estruturas. A chuva, o vento e a temperaturas são fatores que influenciam no processo corrosivo. A água da chuva, por exemplo, contém uma combinação química das gotículas de água das nuvens e de substâncias como dos gases poluentes do dióxido de enxofre (SO_2), trióxido de enxofre (SO_3), óxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2). O vento pode potencializar a corrosão devido ao transporte de materiais, como os aerossóis marinhos em regiões litorâneas, e assim ser depositar-se nas estruturas (FREIRE FILHO *et al.*, 2018).

Gentil (2011) afirma que, em alguns casos, a corrosão pode ser admitida como o inverso do processo de metalurgia, uma vez que esta última objetiva a extração nos metais a partir de seus minérios, e a corrosão, a sua oxidação. Daí se explica a semelhança entre o produto da corrosão e o próprio minério do metal quando extraído. São vários os fatores que afetam os

mecanismos da corrosão, e é necessário seu esclarecimento no estudo desse processo (GENTIL, 2011). Esses fatores são divididos em 3 categorias, e essas são conhecidas como “triângulo da corrosão”. Exemplos são demonstrados no Quadro 1.

Quadro 1: Síntese das variáveis do triângulo da corrosão.

VARIÁVEL	SÍNTESE
Meio corrosivo	Composição química, pH, temperatura, ação de microrganismos; atmosfera; solo; água; dentre outros.
Condições operacionais	Fadiga; atrito; erosão, solicitações mecânicas, condições de imersão, meios de proteção, etc..
Material metálico	Composição, impurezas, tratamento térmico, obtenção, soldas, contato com outros metais, etc.

Fonte: Adaptado de Gentil (2011)

Para que o processo corrosivo seja minimizado, é necessário que sejam aplicadas técnicas protetivas, como a proteção anódica e catódica, inibidores de corrosão e os revestimentos protetores. A proteção anódica proporciona a criação de uma película protetora através de uma corrente anódica externa nos materiais metálicos, porém esta técnica precisa de condições apropriadas para ser aplicada. Com relação a proteção catódica, a estrutura metálica é transformada em uma pilha artificial com o intuito da sua não deterioração e tem como base as técnicas espontâneas – proteção por anodos galvânicos – e não-espontâneas – corrente impressa (MERÇON; GUIMARÃES; MAINIER, 2004).

Os inibidores de corrosão, por outro lado, consistem na adição de substâncias orgânicas ou inorgânicas para impedir, evitar ou prevenir o processo corrosivo. Já nos revestimentos, como a galvanização, aplica-se uma barreira entre o meio corrosivo e superfície do metal, para que o efeito da corrosão seja minimizado ou evitado (MERÇON; GUIMARÃES; MAINIER, 2004).

3.2 CONCRETO ARMADO

A utilização do concreto armado como elemento da construção civil data desde o século XIX por suas características de resistência à compressão e mecânica além de sua grande durabilidade, utilizado em obras rodoviárias, ferroviárias e hidráulicas, reservatórios, estruturas de edifícios e industriais (SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015; VIEIRA, 2003). O concreto, considerado uma pedra artificial e afetado por condições exteriores, é um combinado de água, agregados finos e graúdos (areia, brita) e cimento – função aglutinadora, que ao ser associado a um material como o aço apresenta melhorias aos esforços de tração e

compressão (VIEIRA, 2003).

No concreto armado, as barras utilizadas são denominadas armaduras e servem para absorver os esforços de tração, enquanto o concreto absorve os de compressão (VIEIRA, 2003). As vantagens do uso do concreto armado são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Vantagens da utilização do concreto armado na construção civil.

FLEXIBILIDADE	FORMA DE ADAPTAÇÃO
Facilidade de construção	Não precisa de mão de obra muito especializada.
Economia de conservação	Não sofre ataques tão agressivos devido a sua própria natureza – quando bem revestido.
Segurança contra fogo	Maior resistência ao fogo quando comparado as estruturas metálicas.
Resistência a choques e vibrações	Maior absorção de cargas móveis.
Monolitismo	Capacidade de suportar certos esforços, como reserva de segurança, por ser um conjunto só de elementos com uniões rígidas.

Fonte: Adaptado de Soares (2003)

3.2.1 Corrosão no concreto armado

A diversificação nos usos do concreto é o motivo de sua durabilidade ser tão importante no planejamento dos projetos. Seus próprios constituintes compõem uma barreira inibidora de corrosão de sua estrutura metálica, quando inalterados, permanecendo por longos períodos. Esta oposição à entrada de contaminantes faz com que a armadura não seja susceptível a corrosão, a menos que o concreto seja contaminado ou deteriorado, podendo afetar sua estabilidade e longevidade (GENTIL, 2011).

A corrosão do concreto armado é uma preocupação para os projetistas estruturais, sendo bastante presente sua manifestação, como ilustra a Figura 3. Os agentes dessa patologia variam desde erros na execução, ineficiência no adensamento do concreto, solicitações cíclicas, fungos, variações de temperatura, atmosferas com grande agressividade, falta de limpeza antes da concretagem, até o cobrimento das armaduras, onde trincas e fissuras facilitam a penetração de água e umidade no meio, e propicia o processo corrosivo (MORAIS *et al.*, 2020; RIBEIRO, 2014). Estudos apresentam que o Brasil, por ser um país continental de características úmidas, demonstra alto índice dessa patologia (MORAIS *et al.*, 2020).

Figura 3: Exemplos de casos de corrosão em concreto.



Fonte: AECweb (2022)

O avanço da deterioração e corrosão do concreto podem estar associados a fatores classificados como: (i) mecânicos – vibração e erosão, (ii) físicos – variações de temperatura, (iii) biológicos – bactérias e (iv) químicos – produtos químicos como ácidos e sais (GENTIL, 2011). Silva *et al.*, (2021) demonstraram em seu trabalho que fatores como a má qualidade do material, clima quente que apresenta grande agressividade, falta de manutenção e de mão de obra qualificada, e cobrimento mínimo foram responsáveis pela segregação do concreto, o que propiciou a corrosão eletroquímica na estrutura analisada.

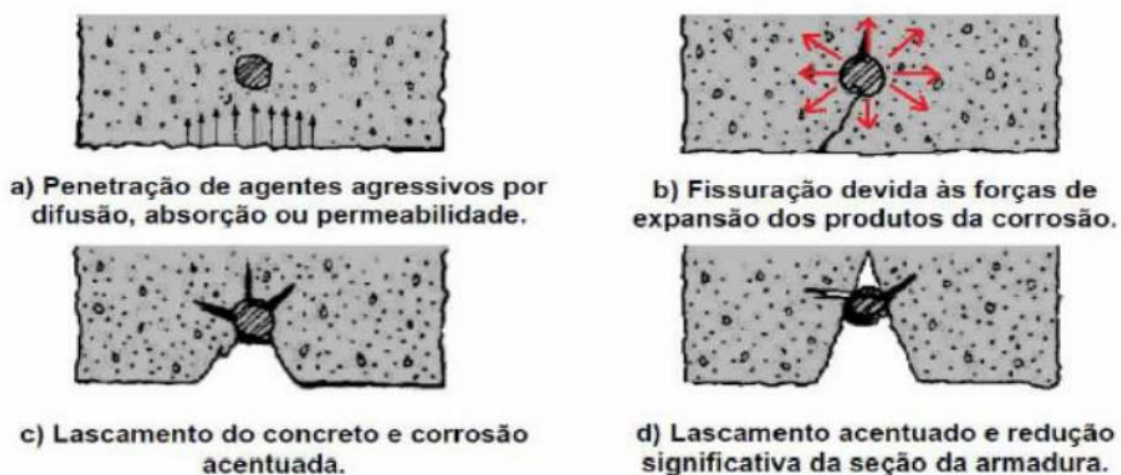
A vida útil do concreto armado condiciona-se as características do ambiente (não agressivo ao altamente ameaçador), sendo capaz de perder sua durabilidade. Assim, ambientes secos ou ambientes de total e permanente saturação do material, como em ambientes rurais, estruturas submersas e locais fechados, apresentam mínimo risco do processo corrosivo nas armaduras, uma vez que não há água e oxigênio no meio – essenciais para desencadear o processo. Quando em ambientes em que o concreto passa por variações cíclicas de molhagem-secagem (zonas marinhas), a corrosão torna-se mais agressiva, porque será possível a introdução de água e sais, acelerando o processo. As zonas industriais apresentam-se com grande agressividade devido aos gases e cinzas do ambiente (SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015).

Os impactos da corrosão nas armaduras evidenciam-se através de manchas superficiais, realce do concreto de cobrimento, aliadas também a diminuição e perda de aderência das principais armaduras, fissuras e demais deteriorações que prejudicam a segurança das estruturas

(SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015; RIBEIRO, 2014).

Um dos principais elementos estruturantes do concreto armado, o ferro, assim como os demais metais, possui a tendência de retornar ao seu estado natural (mais estável) e quando em contato com o meio ambiente, transforma-se em ferrugem – Fe_2O_3 hidratado, o que gera uma pressão no concreto e ocasionar seu desprendimento (RIBEIRO, 2014). O cobrimento da estrutura deve ser projetado de forma a considerar as variáveis do ambiente e as condições da exposição a estas para que não haja a diminuição do pH, uma vez que proporciona a formação de compostos ferrosos que expandem e ocasionam a fissuração e lascamento no concreto, como exposto na Figura 4 (SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015).

Figura 4: Processo da corrosão em concreto armado.



Fonte: Santos (2017)

De acordo com Gentil (2011), a deterioração química do concreto ocorre na pasta e no agregado, já a corrosão eletroquímica pode acontecer na armadura. Quando do primeiro caso, observa-se o concreto em processo de expansão, lixiviação e aparecimento dos agregados. Na eletroquímica, o aço empregado nas armaduras apresenta, principalmente, as formas uniforme, puntiforme, intergranular, transgranular e fragilização por hidrogênio, de corrosão (GENTIL, 2011). O Quadro 3 resume as características destas formas de corrosão.

Quadro 3: Principais formas de corrosão ocorrentes no concreto.

FORMA	DESCRIÇÃO
Uniforme	Ocorre em toda a extensão da armadura, quando exposta ao meio corrosivo.
Puntiforme	Desgaste localizado da armadura, em forma de pites ou alvéolos.
Intergranular	Acontece entre os grãos da rede cristalina do material metálico, tornando o material susceptível a fraturas quando submetido a esforços mecânicos, inutilizando-o.
Transgranular	Processa-se intragrãos da rede cristalina, também propiciando fraturas ao material.
Fragilização por hidrogênio	Decorrente do hidrogênio atômico que, uma vez difundido para o interior do metal da armadura, fragiliza o material, comprometendo sua ductibilidade e promovendo fraturas.

Fonte: Adaptado de Gentil (2011)

Para Ribeiro (2014), a forma mais comum encontrada nos casos de corrosão nas armaduras é a puntiforme. Na corrosão por pite na armadura do concreto armado é necessário que os ânions agressivos entrem em contato com a superfície do metal e que haja um meio aquoso para a reação da hidrólise, o que vai proporcionar a perda de massa e danos nas propriedades mecânicas desta, ocasionada pelos íons Cl^- , I^- e Br^- , localizados nos sítios ativos do metal – imperfeições da superfície do material (RIBEIRO, 2014).

As reações eletroquímicas que envolvem essa manifestação patológica no concreto armado são as reações anódicas (Equação 1) – geralmente engloba a oxidação do ferro – e catódica, redução do oxigênio em meio alcalino (Equação 2) – considerando que o pH do concreto é alcalino (RIBEIRO, 2014).

Reação anódica:



onde, (M) corresponde ao metal e (n) ao número de elétrons.

Reação catódica:

I. Redução do oxigênio em meio neutro ou alcalino



Alguns efeitos ainda podem acelerar esses processos, como é o caso da carbonatação e a ação de sais. Na carbonatação, o CO_2 atmosférico e presente em águas agressivas, pode reagir

com o Ca(OH)_2 da massa, formando CaCO_3 , insolúvel, mais H_2O , que por sua vez diminui o pH da estrutura, diminuindo também a passivação do aço. Caso haja excesso de CO_2 , a reação pode gerar, em vez do carbonato de cálcio, bicarbonato de cálcio – $\text{Ca(HCO}_3)_2$, que por ser solúvel aumenta mais ainda a deterioração do concreto (GENTIL, 2011).

Já a ação dos cloretos nas armaduras do concreto é um dos tipos de corrosão mais intensos e problemáticos ocasionada pela agressividade tanto do micro quanto do macroclima. As regiões com atmosfera salina apresentam-se como as mais degradadoras. Nesse processo, os íons cloretos por possuírem um diâmetro pequeno penetram no concreto até atingir a armadura (SILVA *et al.*, 2021; RIBEIRO, 2014).

De acordo com Soares, Vasconcelos e Nascimento (2015), algumas alternativas são capazes de minimizar a corrosão nas estruturas, como (i) uso de cimentos como o Portland; (ii) projetos de rufos; (iii) métodos que impeçam a penetração e infiltração de água; (iv) espessura de cobrimento adequada; (v) redução da relação água-cimento; (vi) aumento da resistência do concreto; dentre outras.

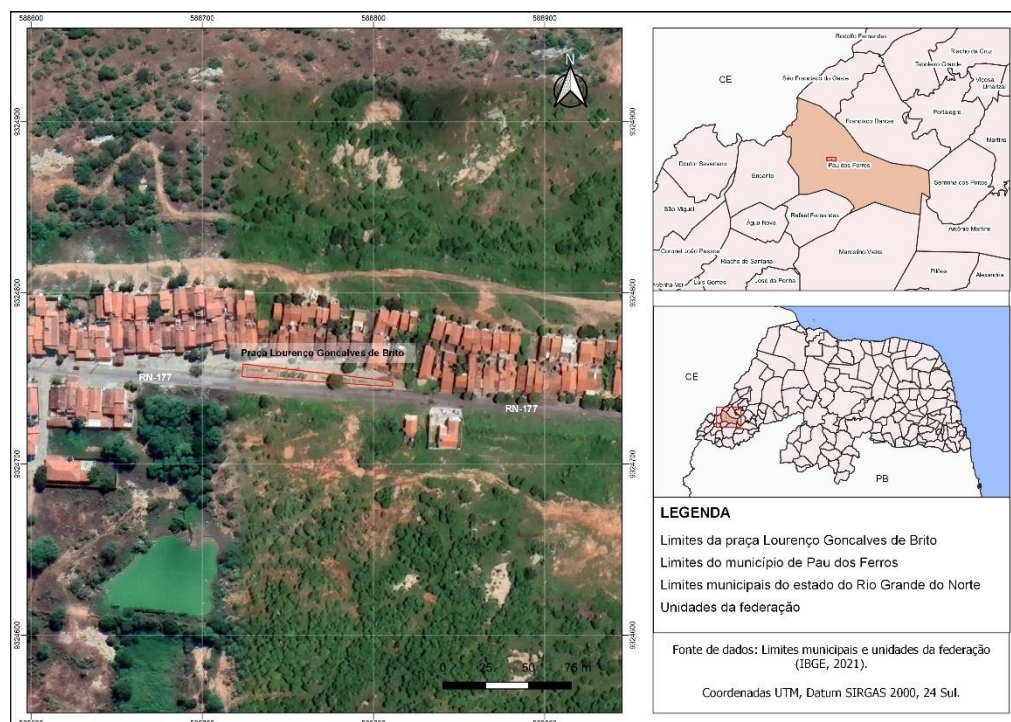
4. METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2021), o município de Pau dos Ferros, localizado no Alto Oeste Potiguar, tem uma área aproximada de 260 km², com uma população de cerca de 30.802 habitantes. Segundo Alvares *et al.* (2013), o mesmo encontra-se inserido no tipo climático “As”, denominado “Clima tropical com estação seca”, conforme classificação climática de Köppen-Geiger. Este tipo climático é caracterizado por altas temperaturas e curto período chuvoso, apresentando-se principalmente no período do verão (ALVARES *et al.*, 2013).

O objeto de estudo, especificamente, é a praça Lourenço Gonçalves de Brito, localizada no bairro São Geraldo, conforme Figura 5. A mesma foi inaugurada em 2008, e nomeada pela Lei nº 1128/2008, tendo passado por uma adaptação em 2014 para instalação de uma academia popular. Em 2019 foi aprovada em sessão ordinária da câmara dos vereadores a sua reforma (PAU DOS FERROS-RN, 2019), entretanto não foi realizada até o momento de realização desse trabalho

Figura 5: Mapa de localização da praça Lourenço Gonçalves de Brito



Fonte: Autor (2022)

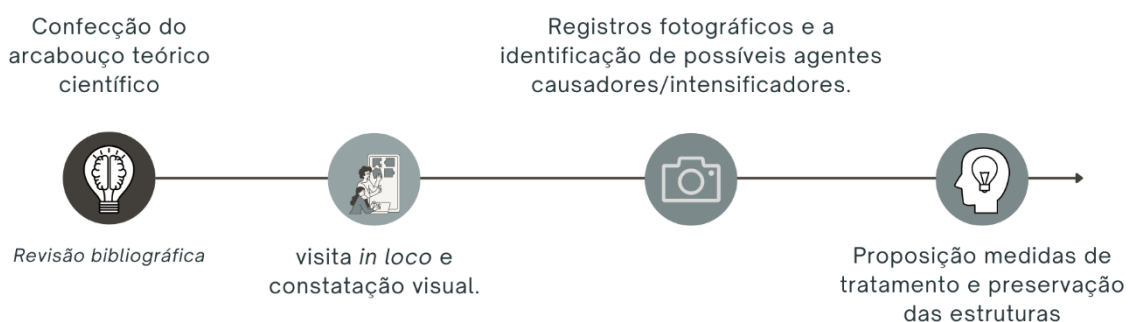
4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia aplicada neste trabalho é de caráter documental de análise de determinados assuntos discutidos por autores influentes sobre a temática em questão, por isso é classificada como revisão bibliográfica (ANA; LEMOS, 2018). Inicialmente foi confeccionado um arcabouço teórico científico através de uma revisão bibliográfica em materiais relacionados a processos corrosivos, corrosão em estruturas de concreto e afins. Foram consultados periódicos, trabalhos de conclusão de cursos de graduação e pós-graduação, livros, dentre outras fontes de respaldo científico.

A identificação dos focos de corrosão nas estruturas de concreto armado na praça foi realizada através de visita *in loco* e constatação visual. Foram realizados registros fotográficos, bem como a identificação de possíveis agentes causadores ou intensificadores.

Por fim, foram propostas medidas de tratamento e preservação das estruturas, de forma particular para o diagnóstico realizado, baseado em indicações contidas na bibliografia consultada. Devido à sua raiz ser baseada na discussão de um tema de abrangência social e de abordagem teórica acerca de principais fatores, obstáculos e em busca de resoluções para uma situação prática, esta pesquisa pode ser classificada como qualitativa (ANA; LEMOS, 2018). A Figura 6 sintetiza os procedimentos aplicados e detalhados anteriormente.

Figura 6: Fluxograma de síntese metodológica.



Fonte: Autor (2022)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

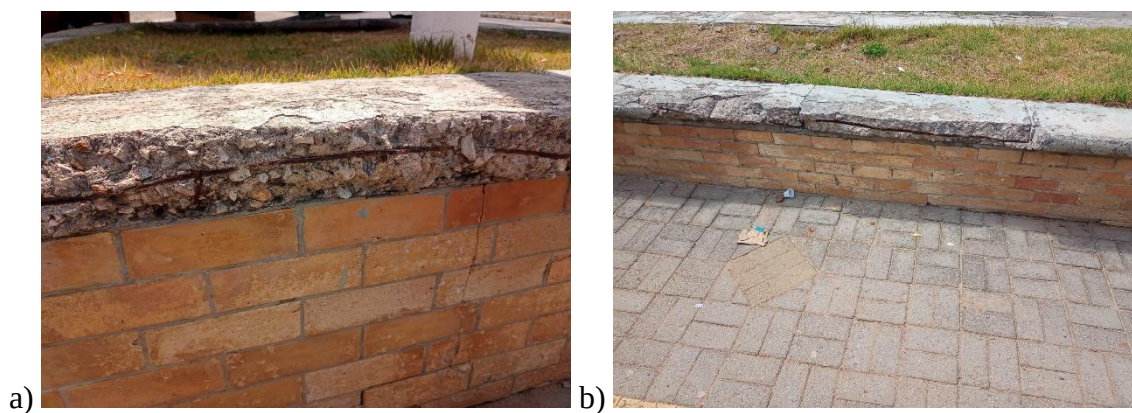
Através da visita *in loco* à praça, foi possível identificar e realizar um diagnóstico prévio das condições das estruturas de concreto armado existentes. Foram observados diversos pontos de corrosão nas construções do local. O relato da experiência é ilustrado através dos registros fotográficos inseridos a seguir.

O grupo de imagens que compõem a Figura 7 (7 a), 7 b), 7 c) e 7 d)) retratam a estrutura de um canteiro de alvenaria, com topo de concreto pré-moldado. A estrutura, devido seu aspecto construtivo, é utilizado também como banco pelos moradores. Neste caso, foi encontrado um estado de deterioração em estágio avançado na parte superior, onde se encontra o concreto armado, com aparecimento de fissuras e grande desgaste superficial.

Já em um estado de armadura exposta, foram identificados vestígios de corrosão em toda a armadura e suas formas foram classificadas como alveolar e por pites, generalizadas. Atribui-se este nível de desgaste, principalmente, à perda parcial da superfície do concreto, que acelera o processo. Como citado anteriormente, enquanto protegida pelo concreto, a armadura está isenta de sofrer corrosão, entretanto, quando começa a deterioração da área, o contato com o ar, substâncias químicas e intempéries inicia o processo.

Um outro fator usual pode contribuir para a corrosão desse espaço em específico. Por se tratar de um canteiro, corresponde a uma área dotada de capacidade de captação, percolação e armazenamento de água da chuva. Esse acúmulo aquoso, associado aos sais característicos e presentes no solo semiárido, além dos agentes biológicos, produzem um ambiente propício à ocorrência de maiores esfacelamentos.

Figura 7: Caso de corrosão encontrado em estrutura de canteiro.





Fonte: Autor (2022)

O segundo caso apontado ocorre em uma estrutura semelhante a barras de ginástica, conforme Figuras 8 a), 8 b) e 8 c). Os danos encontrados nela se assemelham ao padrão detalhado no primeiro caso, entretanto, neste caso, existe um fator extra a ser considerado: o objeto foi projetado, por finalidade, para receber esforços mecânicos excessivos, uma vez que se trata de uma barra de ginástica.

Atualmente, é apresentada uma armadura exposta e corroída, agravada pela perda do revestimento de concreto, comprovada pela presença de fissuras e do desgaste superficial. Toda a armadura exposta apresenta subproduto de oxidação, com corrosão classificada, de acordo com suas formas, como alveolar e por pites, generalizadas. Como pode ser visto na Figura 8 b), esse caso, apresenta uma destruição do concreto de forma excessiva, quando comparado aos outros, o que piora ainda mais sua condição.

Há uma relação direta entre os esforços mecânicos, naturalmente excessivos nesse caso, com o nível de desgaste da estrutura. Com o passar dos anos, e utilização, é espontâneo que haja fissuras no concreto e venha iniciar o processo corrosivo internamente na armadura. A partir da geração de subprodutos desse transcurso, há uma expansão interna na estrutura que desencadeia o seu esfacelamento, que por consequência expõe mais da armação, e reinicia o ciclo.

Essa teoria é corroborada por Gentil (2011), quando afirma que em situações cujas áreas sejam deformadas ou tensionadas, os locais onde há concentração de esforços possui corrosão

mais acentuada. Elas funcionam como pequenas regiões anódicas, em relação a grandes regiões catódicas e, por se tratar de um mecanismo eletroquímico, a alta densidade de corrente nas regiões anódicas aceleram o processo corrosivo (GENTIL, 2011).

Figura 8: Caso de corrosão encontrado em estrutura de estilo “barras de ginástica”.



Fonte: Autor (2022)

A estrutura seguinte se trata de um “escorregador” de grande porte instalado na área central da praça. De forma semelhante ao anterior, o terceiro caso estudado também possui uma armadura profundamente desgastada, com resíduos de oxidação em toda a extensão exposta, e formas de corrosão também catalogadas tanto como alveolar, como por pites, ambas generalizadas, como exposto nas Figuras 9 a), 9 b) e 9 c), todavia há o acréscimo de mais uma forma de corrosão, a intergranular.

Como observado na Figura 9 c), muito provavelmente em decorrência também de esforços mecânicos, e ao maior desgaste na base do escorregador que expõe uma grande área da armadura, ocorreu o trincamento longitudinal da viga. Esse tipo de ruptura é classificado como “corrosão sob tensão fraturante”. Ela ocorre quando são perdidas as propriedades

mecânicas do material em decorrência do desgaste entre os grãos da rede cristalina do metal (GENTIL, 2011).

Assim como nos outros casos, observa-se uma continuidade no processo de degradação. As áreas próximas às armações expostas já apresentam visíveis indícios de estufamento e esfarelamento do concreto.

Figura 9: Caso de corrosão encontrado em estrutura de brinquedo estilo “escorregador”.



Fonte: Autor (2022)

O quarto caso apresenta um muro de suporte para o medidor de eletricidade da praça, conforme as Figuras 10 a), 10 b) e 10 c). Embora não apresente função usual para os frequentadores do local, possui um importante papel para o controle funcional e manutenção elétrica do espaço. Observou-se o início de um grau severo de degradação do concreto, embora, aparentemente, ainda não tenha atingido a armadura. Nota-se, também, a perda acentuada do revestimento inicial, com enfoque nas extremidades e base, além de inúmeras fissuras e fraturas apresentadas.

As fissuras, assim como nos outros casos, são consideradas como uma perigosa

patologia, que possuem uma relação direta com o processo corrosivo. Em decorrência das diversas solicitações mecânicas enfrentadas, o concreto pode apresentar, naturalmente, trincas e fissuras, que facilitam o contato das armaduras internas com soluções de eletrólitos, gases e correntes de fuga e, por consequência, sua deterioração. Além disso, uma vez iniciado o processo de oxidação do metal interno, o produto gerado, como o $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ (óxido de ferro (III) hidratado), dentre outros, com o próprio volume apresentado, aplica pressão sobre o concreto, provocando lascamentos e/ou fraturas (GENTIL, 2011).

Figura 10: Caso de fissuras encontrado em estrutura de medidor de eletricidade.



Fonte: Autor (2022)

Alguns outros pesquisadores também desenvolveram trabalhos de temática semelhante, avaliando o perfil de corrosão em estruturas da região. Silva (2017) realizou um estudo de caso sobre o reforço estrutural feito no Centro Especializado de Reabilitação, em Pau dos Ferros/RN. Maia (2020) e Araújo (2022) analisaram os processos corrosivos instaurados em estruturas públicas de Pau dos Ferros/RN e Rodolfo Fernandes/RN, respectivamente. Já Fernandes (2019) estudou a corrosão em armaduras no concreto armado no município de São Miguel – RN.

Todos os trabalhos citados anteriormente também trabalharam com estruturas altamente

degradadas, com processos de oxidação avançados. No caso específico do concreto, Silva (2017), Maia (2020) e Fernandes (2019) relataram estruturas tomadas por fissuras e fraturas que, além de expor a sua armadura interna, afetam a estrutura e durabilidade da obra, pondo em risco a utilidade do projeto.

Ao analisar a mesma praça que este trabalho, Maia (2020) identificou não apenas deterioração em estruturas de concreto armado, mas também em uma academia popular existente. Foi identificado um alto nível de oxidação das estruturas, com ênfase das partes metálicas, em que foram classificados, conforme a forma, como uniformes, alveolares, por pites e em torno de cordões de solda. Quanto às estruturas de alvenaria, o autor confirma a ocorrência de superfícies sob intensos processos corrosivos, a ponto de causar exposição da estrutura metálica do concreto, além da presença de subprodutos de oxidação.

Maia (2020) reforça a ação de fatores externos que aceleram o processo corrosivo. Assim como também relatado por Silva (2017), o primeiro ponto citado é a falta de manutenção. Desde que foi inaugurada, a praça passou por reparos uma única vez, quando foi instalada a academia popular no local. A manutenção é uma técnica protetiva que, além de reparar pequenos danos, evita que eventos que começaram a ser desencadeados possam ser cessados, encerrando o processo de degradação.

Em diversos trabalhos, a ação externa ao concreto armado tem sido elencada como uma das grandes problemáticas no processo corrosivo. Assim, Araújo (2022) destaca que a corrosão no metal pode estar associada às intempéries, como variações de temperatura, ações de chuva e ventos. O autor ainda destaca a radiação solar, em que a exposição solar de forma integral dos materiais com elevações da temperatura pode ocasionar o envelhecimento do mesmo.

Maia (2020) ainda destaca que, além desses fatores elencados, a solução salina do solo propicia o processo corrosivo da estrutura, considerando que em seu trabalho, assim como o presente, foi aplicado ao município de Pau dos Ferros, onde o lugar pode apresentar salinidade devido ao seu perfil pedológico raso e pouco desenvolvido – concentração de sais nas camadas mais superficiais. Como observado na Figuras 8, 9 e 10, grande parte dos casos apresentados são alocados em contato direto com o solo.

As estruturas de concreto armado presentes na praça ao ar livre, por serem compostas tanto pelo espaço de academias, como de brinquedos igualmente utilizados, podem ser danificadas tanto pelos esforços repetitivos oriundos da circulação de pessoas no local como de produtos corporais. Em seus estudos, Maia (2020) e Araújo (2022) destacam que a algumas atividades exercidas no local aliadas a fricção dos corpos nos aparelhos da academia ao ar livre,

além do suor liberado – há perda de elementos como magnésio, cálcio e ferro, podem contribuir com o desgaste do concreto e a deterioração da armadura. Araújo (2022) também corrobora com o fato dos esforços, onde fatores mecânicos, exemplificado como o atrito, danifica a superfície da estrutura e deixa-o susceptível a fatores externos.

Outro ponto importante é o revestimento do concreto, que se apresenta como uma das questões mais importantes no controle à corrosão, visto que sua cobertura impossibilita o processo na armadura. As características do concreto são fundamentais na garantia de uma estrutura durável e em condições adequadas. A porosidade em excesso pode facilitar a entrada de agentes potencializadores da deterioração do material, como cloretos, sulfatos, umidade e gases, como o CO₂, conforme apontado nos trabalhos de Silva (2017) e Araújo (2019).

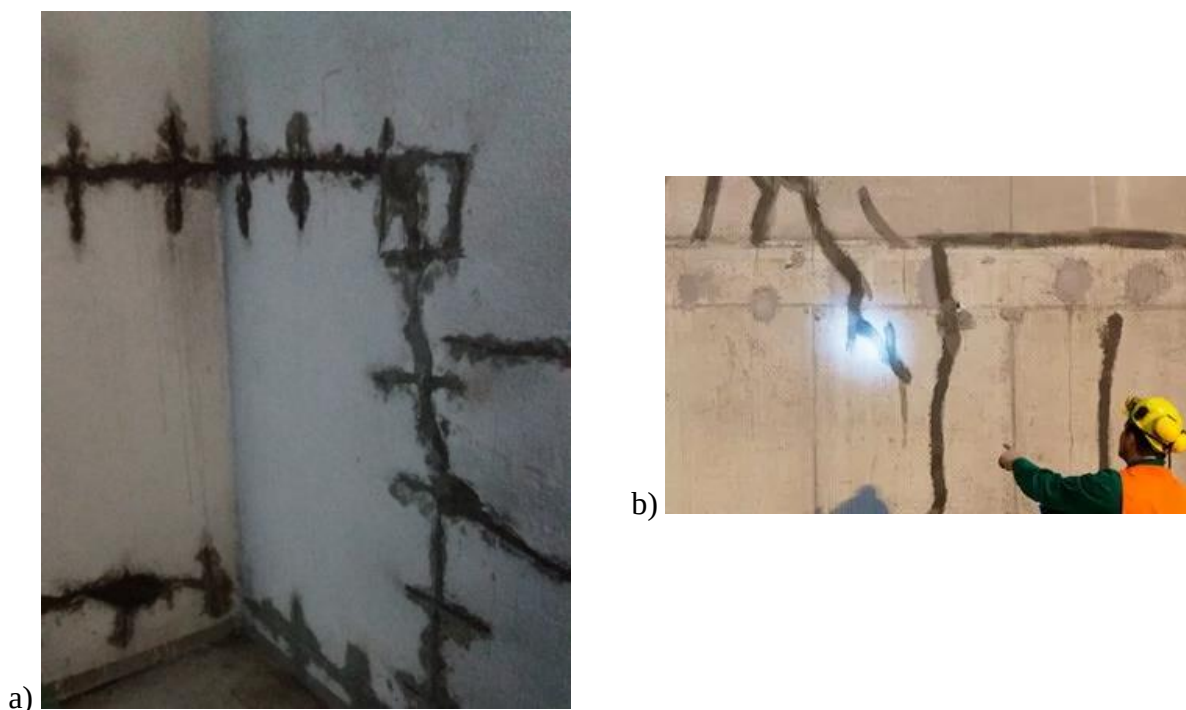
Para Silva, Teles e Barros (2020) também existe a possibilidade de erros humanos na aplicação de técnicas construtivas, como o cobrimento mínimo inadequado, conforme estipulado pela NBR 6118 de 2014, semelhante ao encontrado em Silva (2017). Além disso, pode haver equívocos no quantitativo de cimento, agregado, ou até mesmo na relação água/cimento. Dantas (2018) em sua pesquisa de revisão de literatura sobre as principais manifestações patológicas que se apresentam em pontes de concreto armado demonstrou que a água influencia na resistência e porosidade do concreto. O excessivo uso da água ocasiona tanto capilaridades quanto vazios, o que permite o fluxo de fluidos degradadores no interior no material e pode resultar na carbonatação e na corrosão das armaduras do concreto.

No primeiro caso em específico, por exemplo, como observado na Figura 6, existe um outro fator em que, muitas vezes as peças pré-moldadas podem ser produzidas com materiais de classe de agressividade ambiental inferior ao local de aplicação, facilitando sua degradação (SILVA; TELES; BARROS, 2020). Até mesmo a própria corrosão das armaduras, ocasionado pelo contato com cloretos, sulfatos ou altos teores de CO₂ provoca a expansão de concreto, acarretando um acúmulo de tensão e causando sua autodestruição por meio de deslocamentos, expondo a armadura em maior quantidade e acarretando um ciclo repetitivo e em aceleração, ainda de acordo com Silva, Teles e Barros (2020). Maia (2020) relatou a presença de casos de carbonatação na mesma praça, corroborando como uma opção de justificativa para os casos apresentados, assim como Fernandes (2019): e Silva (2017)

5.1 TÉCNICAS DE REPARO

Segundo Silva, Teles e Barros (2020), quando a patologia da corrosão ainda está na fase das fissuras, os melhores artifícios de reparo são: (i) a colocação de grampos de aço perpendiculares às fissuras, com a finalidade de suportar o efeito de tração produzido, como observado na Figura 11 a) e, (ii) a instalação de tubos metálicos, através de pequenos furos, os quais serão utilizados para injeção de produtos com o intuito de preencher os espaços, como o uso de resina epóxi, calda de cimento ou poliuretano hidro expansivo. Neste segundo caso, as dimensões das fissuras já devem ser um pouco maiores, e pode ser visto na Figura 11 b).

Figura 11: Técnicas de reparo de fissuras.

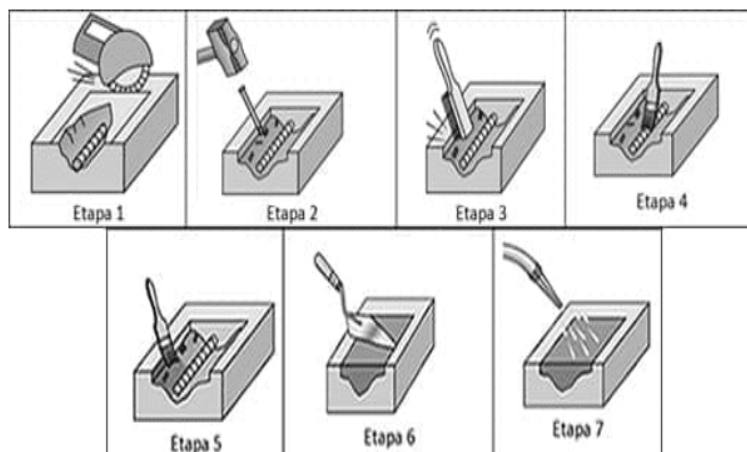


Fonte: Habitissimo (2022); AECweb (2022)

Já nas situações em que a corrosão já atingiu as armaduras e as mesmas se encontram expostas, inicialmente devem ser aplicados inibidores de corrosão. Quando em casos de maior deterioração, o procedimento operacional é a própria restauração estrutural do elemento desgastado, segundo os passos da Figura 12. É necessário analisar os locais deteriorados e em seguida demarcá-los, para assegurar que seja removido todo o substrato comprometido. Posteriormente, realiza-se a limpeza da armadura e aplicado algum produto anticorrosivo, para que depois seja criada uma ponte de aderência entre o novo e o antigo substrato. Nos casos considerados ainda mais graves, é preciso que seja feito o reforço estrutural no elemento através

do encamisamento da peça, depositando uma nova camada de concreto mais espessa ao redor da antiga (SILVA; TELES; BARROS, 2020).

Figura 12: Técnicas de reparo de corrosão em armaduras de concreto.



Fonte: AECweb (2022)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho visou analisar a manifestação patológica da corrosão em estruturas de concreto armado em uma praça pública do município de Pau dos Ferros, no estado do Rio Grande do Norte, através da visita *in loco* e dos registros fotográficos realizados.

A corrosão causa a deterioração do material é sabido que seus impactos podem gerar modificações estruturais e resultar na sua inviabilização, além de prejuízos econômicos e acidentes na vida humana. Na construção civil, o projeto estrutural deve garantir o tempo de vida útil dos materiais, considerando os fatores externos e internos que podem interagir no concreto armado e que são capazes de acelerar o processo corrosivo nas estruturas, ocasionando a transformação de suas propriedades mecânicas, aparecimento de fissuras, dilatação e contração, desgastes, dentre outros.

Na área de estudo, identificou-se diversos pontos de corrosão nas estruturas, desde o canteiro, que serve como banco da praça, muro de suporte do medidor de eletricidade, até aspectos construtivos de interação direta com os frequentadores, como escorregador e barra de ginástica. Com exceção do muro do medidor, que possuía indícios do início do processo corrosivo, com surgimento de fissuras, todos os outros casos apresentavam estado de degradação avançado, com deslocamento do concreto, exposição da armadura interna e presença de subprodutos da própria corrosão.

Quanto às causas, a literatura acadêmica indica diversos motivos que possam ter ocasionado a atual situação encontrada. Quanto aos aspectos naturais, pode-se citar as altas temperaturas, a ocorrência de precipitações intensas, e até mesmo a alta concentração de sais no solo, que contribuem para intensificação do processo. Já com relação à interferência antrópica, a relação pode ser atribuída à utilização diária do ambiente, através da aplicação de esforços mecânicos repetitivamente, atrito, erros durante a execução, como a proporção de materiais e o próprio papel humano.

Na especificidade estudada, relata-se a existência de muitas fissuras, que tem uma interrelação direta com o favorecimento do processo corrosivo, facilitando o contato do interior da estrutura com fatores externos. Associado a isto, também se frisa a ausência de manutenção, onde não há interferência para controle do desgaste já ocorrente, permitindo que o processo avance exponencialmente, e se tornando uma “bola de neve”, para quando for realmente realizar a recuperação.

Além disso, alguns estudos também apontam as características do concreto como fator importante no processo corrosivo, visto que a relação água-cimento é capaz de interferir na

porosidade do mesmo e facilitar a entrada de agentes do meio ambiente, possibilitando o contato com a armadura. O revestimento correto do concreto destaca-se como elemento de inibição da corrosão, pois impede o contato direto do ambiente com a estrutura interna.

Apesar do estado avançado em que os elementos estruturais se encontram, é possível reverter/estacionar o processo de desgaste encontrado. Diversas são as técnicas utilizáveis para tratar a corrosão. Quando ainda inicial, em formas de pequenas fissuras, a degradação pode ser contida com a aplicação de elementos físicos de absorção de tensão, como grampos perpendiculares ou preenchimento dos espaços com produtos apropriados. Em estado médio, recomenda-se a aplicação de inibidores de corrosão. Mas, em casos avançados, é preferível a restauração estrutural do material já desgastado, remover o substrato comprometido, limpar a armadura e realizar a aplicação de produtos anticorrosivos, criando uma aderência entre o novo e o antigo substrato. O reforço estrutural é solicitado em casos extremos de corrosão, com encamisamento da peça e colocação de um revestimento de concreto mais espesso sob a antiga.

Por fim, atesta-se a importância do estudo do processo corrosivo nos materiais, em específico às estruturas de concreto armado. Além disso, ressalta-se a necessidade de investimento do poder público para recuperação e manutenção das estruturas, uma vez que há anos não é realizada uma reforma no local, embora uma solicitação tenha sido feita em 2019, onde constatava estado avançado de deterioração.

Para trabalhos futuros sugere-se a aplicação de solução de fenolftaleína para a comprovação do processo de carbonatação, uma vez que age como identificador ácido/base e consegue acusar a ocorrência do processo. Também pode ser feito um trabalho quantitativo de medição do grau de desgaste e diagnóstico da espessura do recobrimento, para aumentar a noção sobre a real situação da área.

7. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013.
- ANA, W. S.; LEMOS, G. Metodologia científica: a pesquisa qualitativa nas visões de Lüdke e André. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, [s.l.], v. 4, n. 12, p. 531-541, 30 nov. 2018
- ARAÚJO, A. J. L. **Corrosão em equipamentos de uma academia ao ar livre**. 2022. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2022.
- ARAÚJO, D. M. de L. **Estudo das condições gerais de reservatórios para abastecimento de água** – estudo de caso em comunidades rurais no Rio Grande do Norte. 2019. 59 f. TCC (Graduação) - Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2019.
- COSTA, R. N.; SILVA, S. A. da. **Análise de corrosão em estrutura de concreto armado**. 2020. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2020.
- DANTAS, I. E. S. **Análise de patologias e propostas de recuperação de estruturas de pontes de concreto**. 2018. 72 f. TCC (Graduação) - Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2018.
- FERNANDES, A. V. **Análise e estudo da corrosão em estruturas de concreto armado: estudo de caso**. 2019. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2019.
- FRAUCHES-SANTOS, C.; ALBUQUERQUE, M. A.; OLIVEIRA, M. C. C.; ECHEVARRIA, A. The Corrosion and the Anticorrosion Agents. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 293-309, 2014. Sociedade Brasileira de Química (SBQ).
- FREIRE FILHO, F. C. M.; TOGAWA, E. H. V.; CANTANHEDE, G. A.; SANTANA, C. G. de; MULLER, R. M. L. Avaliação das taxas de corrosão e deposição em meio atmosférico na região metropolitana de São Luís - MA. In: Congresso Técnico Científico Da Engenharia e da Agronomia, 75., 2018, Maceió-AL. **Anais [...]**. Maceió-AL: SOEA, 2018. p. 1-5.
- GENTIL, V. **Corrosão**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 376 p.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pau dos Ferros (RN)**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/pau-dos-ferros.html>. Acesso em: 25 out. 2022.
- MAIA, A. L. E. **Análise da corrosão em uma praça da cidade de Pau dos Ferros - RN**. 2020. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2020.

- MAIA, D. J.; SEGRE, N.; SCATIGNO, A. C.; STELLA, M. B. Experimento sobre a Influência do pH na Corrosão do Ferro. **Química Nova na Escola**, [s.l.], v. 37, n. 1, p. 71-75, fev. 2015.
- MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C.; MAINIER, F. B. Corrosão: Um exemplo usual do fenômeno químico. **Química Nova na Escola**, [s.l.], v. 19, p. 11-14, maio 2004.
- MORAIS, J. M. P. de; SILVA, A. M. da; BARBOZA, E. N.; SILVA, E. M. da; OLIVEIRA, B. B. de. Análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: uma revisão. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 9, n. 7, p. 1-32, 11 jun. 2020.
- OSTROSKI, V. C. Avaliação da velocidade de corrosão nos equipamentos portuários. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.848-880, 4 abr. 2019.
- PAU DOS FERROS-RN. CÂMARA MUNICIPAL DE PAU DOS FERROS. **INDICAÇÃO: 0112/2019**. 2019. Disponível em: <https://www.camarapaudosferros.rn.gov.br/materias.php?id=720>. Acesso em: 25 out. 2022.
- RIBEIRO, D. V. **Corrosão em estruturas de concreto armado**: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Campus, 2014. 272 p.
- SANTOS, F. P. S. L. dos. **Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2017. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.
- SILVA, A. F. P. da; BARROS, H. E. B.; FERREIRA, D. S.; NASCIMENTO, L. G. do; LIMA, F. É. G.; BEZERRA, L. de O. PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: estudo de caso / pathologies in reinforced concrete structures. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 363-374, 2021.
- SILVA, D. R. F. da; TELES, E. C; BARROS, E. N. de S. Patologias em estruturas de concreto armado em ambiente industrial. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [s.l.], v. 06, n. 10, p. 14-41, out. 2020.
- SILVA, G. F. da. **Patologia em estruturas de concreto armado**: um estudo de caso de um reforço feito no centro especializado de reabilitação - CER em Pau dos Ferros/RN. 2017. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2017.
- SOARES, A. P. F.; VASCONCELOS, L. T.; NASCIMENTO, F. B. C. do. Corrosão em armaduras de concreto. **Cadernos de Graduação: Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, v. 3, p. 177-188, nov. 2015.
- SOUZA, R. B. de; REBOITA, M. S.; WERLE, A. P.; COSTA, E. B. C. Influência das variáveis atmosféricas na degradação dos materiais da construção civil. **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 1-19, 31 ago. 2016.
- VIEIRA, G. **Cálculo de concreto armado**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. 252 p.