



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ANTONIO JERFFESON LIMA ARAÚJO

CORROSÃO EM EQUIPAMENTOS DE UMA ACADEMIA AO AR LIVRE

PAU DOS FERROS - RN

2022

ANTONIO JERFFESON LIMA ARAÚJO

CORROSÃO EM EQUIPAMENTOS DE UMA ACADEMIA AO AR LIVRE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Josy Eliziane Torres Ramos

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 tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A663c Araújo, Antonio Jerffeson Lima.
CORROSÃO EM EQUIPAMENTOS DE UMA ACADEMIA AO AR
LIVRE. / Antonio Jerffeson Lima Araújo. - 2022.
69 f. : il.

Orientadora: Josy Eliziane Torres Ramos.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2022.

1. Materiais metálicos. 2. Equipamentos. 3.
Deterioração. 4. Triângulo da corrosão. 5.
Tratamento da corrosão. I. Ramos, Josy Eliziane
Torres, 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 JERFFESON LIMA ARAÚJO

CORROSÃO EM EQUIPAMENTOS DE UMA ACADEMIA AO AR LIVRE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 08 / 06 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

JOSY ELIZIANE
TORRES

RAMOS:65863917334

Assinado de forma digital por
JOSY ELIZIANE TORRES
RAMOS:65863917334
Dados: 2022.06.08 13:59:13
-03'00'

JOSY ELIZIANE TORRES RAMOS, Prof^ª. Dra. (UFERSA)
Presidente

JENNEF CARLOS

TAVARES:08541907406

Assinado de forma digital por
JENNEF CARLOS
TAVARES:08541907406
Dados: 2022.06.08 16:46:16 -03'00'

JENNEF CARLOS TAVARES, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
ADLA KELLEN DIONÍSIO SOUSA DE OLIVEIRA
Data: 08/06/2022 16:53:25-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

ADLA KELLEN DIONÍSIO SOUSA DE OLIVEIRA, Prof^ª. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Aos meus avós paternos, Francisca Gomes da Silva e Manoel Fernandes de Lima (In Memoriam), que sempre me ensinaram durante toda minha infância a essência da vida.

*Dedico a Deus, o maior instrutor da vida.
À minha família, em especial aos meus pais,
Luzanira de Souza Araújo Lima e José Gomes
de Lima, por não medirem esforços e fazerem
sempre o possível e impossível para o alcance
dos meus objetivos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre me dar forças e persistência em minhas conquistas, por escutar minhas preces e me guiar em teus passos.

À Prof^a Dra. Josy Eliziane Torres Ramos, por ter me concedido a honra de poder trabalhar em conjunto da mesma na elaboração deste trabalho, pelo auxílio nas ideias, pelo tempo despendido a soluções de dúvidas, e pelos ensinamentos contribuídos para o desenvolvimento do mesmo. A você minha orientadora, toda admiração pelo profissionalismo.

À Prof^a Dra. Sanderlir Silva Dias, pelos ensinamentos passados acerca da temática do trabalho proposto durante a disciplina Química Aplicada à Engenharia.

À minha família, em especial aos meus pais, Luzanira de Souza Araújo Lima e José Gomes de Lima, por não medirem esforços e fazerem sempre o possível e impossível para o alcance dos meus objetivos.

Aos meus avós maternos, Rita Basílio de Souza e José Rosa de Araújo, por instruírem minha vida a base do esforço e dedicação.

Aos meus avós paternos, Francisca Gomes de Lima e Manoel Fernandes de Lima (In Memoriam), que sempre me ensinaram durante toda minha infância a essência da vida.

Agradeço ao meu irmão, minha cunhada e sobrinha, Francisco Jelson Lima, Camila Freitas Feitosa e Maria Heloísa Freitas Lima, por sempre estarem ao meu lado com todo o apoio necessário.

Aos meus amigos da faculdade e da vida, por sempre estarem apoiando de forma direta e indiretamente nas minhas conquistas.

Agradeço a banca examinadora por todas as considerações e contribuições necessárias para o enriquecimento desse trabalho.

Agradeço a todos os professores da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa) campus Pau dos Ferros/RN, que contribuíram de alguma forma ao longo dessa jornada.

À todos, o meu muito obrigado.

“Regozijai-vos sempre. Orai sem cessar. Em tudo dai graças, porque esta é a vontade de Deus em Cristo Jesus para convosco”.

1 Tessalonicenses 5:16-18

RESUMO

O processo corrosivo em estruturas metálicas, provoca possíveis perdas totais do material, exigindo-se substituições de peças inutilizadas, ou causa perdas parciais, proporcionando a possibilidade de tratamentos para o retardamento e/ou a inibição desse fenômeno. O presente trabalho tem como objetivo analisar e avaliar a degradação sofrida em uma academia ao ar livre no ginásio poliesportivo João Nazário do município de Rodolfo Fernandes/RN. Contudo, foi realizado um acompanhamento destinado para a avaliação sobre a corrosão nos equipamentos da academia ao ar livre, por meio de visitas *in loco* e análises fotográficas. Desse modo, a partir do acompanhamento, averiguou-se a presença de diversas formas corrosivas, dentre elas, a corrosão uniforme, puntiforme ou por pites, galvânica, em torno do cordão de solda, alveolar e por placas, assim como também, a existência do processo corrosivo pelos fatores mecânicos, sob tensão e por atrito, causados pelas ações intempéries e o mal uso dos usuários. Portanto, a ocorrência do avanço do processo corrosivo em um material aponta a necessidade urgente de um tratamento acompanhado de manutenções periódicas, assim, a fim de solucionar tais problemas sugeriu-se a execução do uso de revestimentos orgânico, aplicação de inibidores, e para os equipamentos em que se encontravam em processo de desgaste, como elíptico mecânico individual, é sugerida a sua substituição.

Palavras-chave: Materiais metálicos. Equipamentos. Deterioração. Triângulo da corrosão. Tratamento da corrosão.

ABSTRACT

The corrosive process in metal structures causes possible total losses of the material, requiring replacements of unused parts, or causes partial losses, providing the possibility of treatments for the retardation and/or inhibition of this phenomenon. This study aims to analyze and evaluate the degradation suffered in an outdoor gym in the João Nazário sports gym in the municipality of Rodolfo Fernandes/RN. However, a follow-up was carried out for the evaluation of corrosion in outdoor gym equipment, through on-site visits and photographic analysis. In this way, from the accompaniment, the presence of several corrosive forms was verified, among them, the uniform corrosion, puntiforme or pites, galvanic, around the weld cord, alveolar and by plates, as well as, the existence of the corrosive process by mechanical factors, under tension and by friction, caused by the weather actions and the misuse of users. Therefore, the occurrence of the corrosive process advance in a material points out the urgent need for a treatment accompanied by periodic maintenance, so in order to solve such problems it was suggested the execution of the use of organic coatings, application of inhibitors, and for equipment in which it was in process of wear, as individual mechanical elliptical, it is suggested to replace it.

Keywords: Metal materials. Equipment. Deterioration. Corrosion triangle. Corrosion treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Corrosão química causando desgaste em concreto.	23
Figura 2: Corrosão eletrolítica em uma tubulação industrial.	23
Figura 3: Pilha de corrosão eletroquímica com dois eletrodos diferentes.	24
Figura 4: Formas de corrosão.	26
Figura 5: Corrosão uniforme em pilar.	27
Figura 6: Corrosão intergranular da solda em um aço inoxidável.....	27
Figura 7: Corrosão por placas em parafusos de fixação A.	27
Figura 8: Corrosão alveolar em tubos de aço.	28
Figura 9: Corrosão por pite em chapa de alumínio.	28
Figura 10: Corrosão intragranular em aço inoxidável.	28
Figura 11: Corrosão filiforme sobre alumínio.	28
Figura 12: Corrosão por empolamento em corrimão.....	29
Figura 13: Corrosão em torno do cordão de solda sofrida pela tubulação.	29
Figura 14: Corrosão por esfoliação em pormenor de uma escada metálica.	29
Figura 15: Corrosão galvânica em uma bomba de drenagem de estágio simples.	29
Figura 16: Reação geral da corrosão de materiais metálicos.....	31
Figura 17: Corte esquemático de um sistema de revestimento.	33
Figura 18: Triângulo corrosivo.....	36
Figura 19: Fluxograma da pesquisa.....	38
Figura 20: Mapa de localização geográfica da área de estudo, (a) mapa brasileiro, (b) localização do município de Rodolfo Fernandes, no estado do Rio Grande do Norte, (c) localização da cidade e o ginásio poliesportivo João Nazário.....	39
Figura 21: (a) ginásio poliesportivo João Nazário do municio de Rodolfo Fernandes/RN, (b) e (c) equipamentos da academia ao ar livre.	40
Figura 22: Equipamento espaldar.	40
Figura 23: Equipamento esqui individual.....	41
Figura 24: Equipamento elíptico mecânico individual.....	41
Figura 25: Equipamento bicicleta de cadeira individual.	41
Figura 26: Equipamento pressão de pernas duplo.	42
Figura 27: Equipamento puxador peitoral duplo.....	42
Figura 28: Equipamento massageador duplo.....	42
Figura 29: Equipamento paralela dupla.....	43

Figura 30: Equipamento espaldar, a) região superior da lateral direita com corrosão uniforme, b) região superior da lateral direita com corrosão puntiforme ou por pites, c) região centro com corrosão galvânica.	44
Figura 31: a) base do equipamento espaldar nos primeiros três meses (90 dias) de acompanhamento, b) base do equipamento espaldar nos últimos três meses (90 dias) de acompanhamento.	45
Figura 32: Aparelho esqui individual, a) região frontal direita do bastão para apoio das mãos com corrosão uniforme, b) tubo posterior lateral esquerdo com corrosão uniforme, c) chapa de apoio de pé esquerdo com corrosão uniforme.	47
Figura 33: Equipamento elíptico mecânico individual, a) região frontal do lado direito do bastão de apoio para mãos com corrosão uniforme, b) tubo frontal do lado esquerdo com corrosão uniforme, c) tubo de rotação inferior do lado esquerdo com corrosão em torno do cordão de solda, por atrito e galvanização, d) base de apoio estrutural com corrosão uniforme.	48
Figura 34: a) chapa de apoio de pé do equipamento elíptico mecânico individual nos primeiros três meses (90 dias) de acompanhamento, b) chapa de apoio de pé do equipamento elíptico mecânico individual nos últimos três meses (90 dias) de acompanhamento.	50
Figura 35: Aparelho bicicleta de cadeira individual, a) região de assento do aparelho com corrosão uniforme, b) região frontal de encostamento com corrosão por placas, c) base de apoio do aparelho com corrosão galvanizada.	51
Figura 36: Equipamento de pressão de pernas duplo, a) cadeira de assento com corrosão uniforme, b) região superior de assentamento do equipamento com corrosão alveolar, c) barra frontal de apoio para as mãos com corrosão uniforme.	52
Figura 37: Equipamento de pressão de pernas duplo, a) região superior do lado esquerdo do assento com corrosão uniforme e galvanizada, b) região superior do lado direito do assento com corrosão uniforme, por pites e galvanizada.	53
Figura 38: Aparelho puxador peitoral duplo, a) região superior do lado direito de rotação do equipamento com corrosão uniforme, galvaniza e em torno do cordão de solda, b) região frontal de acostamento do assento com corrosão alveolar e uniforme, c) região inferior frontal da base do assento com corrosão em torno do cordão de solda e uniforme, d) assento do equipamento com corrosão uniforme.	55
Figura 39: a) base de apoio estrutural do aparelho puxador peitoral duplo nos primeiros três meses (90 dias) de acompanhamento, b) base de apoio estrutural do aparelho puxador peitoral duplo nos últimos três meses (90 dias) de acompanhamento.	56

Figura 40: Equipamento massageador duplo, a) região posterior do lado direito com corrosão uniforme, b) região posterior do lado esquerdo com corrosão uniforme e em torno do cordão de solda, c) região da base do lado direito com corrosão uniforme, galvanização e em torno do cordão de solda, d) região superior do equipamento com corrosão uniforme e galvanização. 58

Figura 41: Aparelho paralela dupla, a) região frontal com corrosão uniforme, b) região posterior da base com corrosão uniforme e galvanizada, c) região posterior do lado direito do equipamento com corrosão alveolar. 59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais formas corrosivas.....	27
Quadro 2: Equipamentos da academia ao ar livre.	40

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Reação de oxidação do ferro.....	25
Equação 2: Reação de redução da água.....	25
Equação 3: Formação do hidróxido de ferro II.....	25
Equação 4: Formação do hidróxido de ferro III	25
Equação 5: Formação da ferrugem.....	25
Equação 6: Reação de oxidação do ferro.....	47
Equação 7: Reação de redução do oxigênio.	47
Equação 8: Formação do ácido clorídrico.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APUD	Citado Por
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CTF	Corrosão sob Tensão Fraturante
ET AL	Colaboradores
ETC	Restantes
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	Organização Internacional de Normalização
NBR	Norma Brasileira
PB	Paraíba
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PNB	Produto Nacional Bruto
RN	Rio Grande do Norte
SC	Santa Catarina
TPC	Taxa de Penetração da Corrosão
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
\$	Cifrão
ΔE	Variação do potencial padrão de redução da semi-reação
E^0	Potencial padrão de redução da semi-reação
mm	Milímetro
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
e ⁻	Elétrons
H ₂ O	Molécula de Água
CO ₂	Dióxido de Carbono
Fe	Ferro
Fe ²⁺	Íons de Ferro com nox +2
Fe(OH) ₂	Hidróxido de Ferro II
Fe(OH) ₃	Hidróxido de Ferro III
Fe ₂ O ₃ ·H ₂ O	Ferrugem
FeCl ₃	Cloreto de Ferro
HCl	Ácido Clorídrico
H ⁻	Ânion de Hidrogênio
OH ⁻	Hidroxila
H ₂	Gás Hidrogênio
O ₂	Gás Oxigênio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	20
2.1 GERAL	20
2.2 ESPECÍFICOS	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1 CORROSÃO.....	21
3.2 TIPOS DE CORROSÃO	22
3.2.1 Corrosão química	22
3.2.2 Corrosão eletrolítica	23
3.2.3 Corrosão eletroquímica	24
3.3 FORMAS CORROSIVAS.....	26
3.4 A IMPORTÂNCIA DAS DIFICULDADES DE CORROSÃO.....	30
3.5 CORROSÃO EM MATERIAIS METÁLICOS	31
3.6 MANEIRAS DE PREVENÇÃO CONTRA A CORROSÃO	32
3.6.1 Revestimento.....	32
3.6.2 Proteção catódica	33
3.6.3 Proteção anódica	34
3.6.4 Inibidores corrosivos.....	35
3.7 TRIÂNGULO CORROSIVO	36
4 METODOLOGIA.....	37
4.1 DESCRIÇÃO METODOLÓGICA.....	37
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE RODOLFO FERNANDES/RN.....	38
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DA ACADEMIA AO AR LIVRE ..	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1 ESPALDAR.....	44
5.2 ESQUI INDIVIDUAL	46
5.3 ELÍPTICO MECÂNICO INDIVIDUAL.....	48
5.4 BICICLETA DE CADEIRA INDIVIDUAL	50
5.5 PRESSÃO DE PERNAS DUPLO	51
5.6 PUXADOR PEITORAL DUPLO	54
5.7 MASSAGEADOR DUPLO.....	57
5.8 PARALELA DUPLA	59

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1 INTRODUÇÃO

A corrosão é um fenômeno que possui áreas com características podendo ser conhecidas, e que grande parte desse processo necessita-se de uma maior importância. Em toda humanidade pode-se encontrar diversas explicações para esse fenômeno, seja da sua forma representativa, ou de formas que são desenvolvidas de maneira implícitas. Entretanto, a representatividade deste acontecimento pode ser pela deterioração causada por meio da interferência da corrosão em que acarreta de forma significativa nas alterações prejudiciais aos materiais. Porém, boa parte das ações desta ocorrência é posto como despercebido por inúmeros casos, viabilizando um problema, enquanto que o mesmo quando agravado acarreta possíveis acidentes que podem ser decorrentes de falhas de uma alta corrosividade.

No entanto, a corrosão é um método que vem sendo abordado desde os primórdios, quando o homem deu início a utilização dos minerais extraídos para produção de metais. Assim sendo, segundo Gentil (2007) o processo corrosivo pode ser considerado como uma forma espontânea levando em consideração que os materiais utilizados para a construção de estruturas metálicas são formadas através da ligação de minerais que tendem a voltar para o seu estado natural. Assim sendo, a ocorrência de acontecer um processo corrosivo é ainda maior, quando essas estruturas não passam por revitalizações rotineiramente.

Todavia, a partir da superfície de um determinado material metálico, esse fenômeno pode ser classificado como um processo de deterioração. Conforme Merçon *et al.* (2004) “a primeira associação em que se faz é com a ferrugem, a camada de cor marrom-avermelhada sendo formada em superfícies metálicas. Apesar da estreita relação com os metais, esse processo ocorre em outros materiais, como concreto, polímeros orgânicos e entre outros”.

Em Fortaleza, capital do estado do Ceará, ocorreu-se o desabamento do Edifício Andrea, no ano de 2019. Segundo a polícia militar, o engenheiro da obra, José Andreson Gonzaga dos Santos, proprietário da empresa Alpha Engenharia, prestou depoimento afirmando que as armaduras dos pilares do prédio estavam com nível alto de corrosão, sendo que a sessão de aço estava completamente comprometida com ferrugem (GAMA, 2019). Em casos mais recentes, no ano de 2021, uma piscina desabou em cima da garagem de um prédio em Itaparica, no município de Vila Velha, no Espírito Santo. De acordo com o major Fábio Maurício Rodrigues Pereira, chefe do Departamento de Prevenção da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Espírito Santo, o motivo do desabamento foi devido a uma corrosão na estrutura de amarramento que sustentava a piscina (ISTOÉ, 2022).

Entretanto, a corrosividade torna-se cada vez mais presentes nas superfícies de materiais que são utilizados em academias ao ar livre. Essas ações são recorrentes devido a fatores internos e externos, como intervenções do meio, do tempo e as formas inapropriadas da população que usufrui e utiliza-se desses equipamentos expostos. Assim, esse fenômeno é um processo que transforma constantemente os materiais metálicos, em que afeta diretamente a durabilidade e o seu desempenho, deixando de satisfazer os fins que se esperam destes materiais, inibindo-se em muitos casos, a completa inutilização dos mesmos.

As grandes causas dos processos corrosivos estão relacionados através das modificações dos meios, sendo que, essas modificações ocorrem a partir da natureza do meio em que se encontra o determinado material. Desse modo, os essenciais meios corrosivos diagnosticados com grande frequências podem ser considerados através do solo, umidade, temperatura e pH.

Apesar disso, a vida útil das estruturas acarreta em um estudo abrangente de todas as etapas do processo construtivo, propagando-se monitoramentos e manutenções preventivas (PINHO, 2008). Dessa maneira, um determinado equipamento tem-se atribuição de assegurar e manter condições de utilização para a finalidade no qual foi arquitetado. Mas, é nítido que todo equipamento possui a existência de sua vida útil, sendo que, a falta de manutenções pode acarretar perdas em aspectos primordiais, que podem gerar prejuízo para os usufruidores.

Segundo Oliveira (2012), os metais são determinados como materiais que se tem uma maior proporcionalidade de ocorrer um processo corrosivo. Dessa forma, perante o que foi enfatizado, a presente pesquisa surgiu com o intuito de minimizar custos com reparações e substituições dos equipamentos, viabilizando a necessidade de determinadas maneiras de prevenção e/ou proteção corrosivas a serem adotadas por responsáveis do município estudado.

Assim, a importância do estudo dá-se pela prevenção da corrosão, sendo que, em determinados casos foi possível diagnosticar manifestações patológicas por meio de análises e estudos *in loco* em vários aparelhos presentes na área da academia ao ar livre do ginásio poliesportivo João Nazário, no município de Rodolfo Fernandes/RN, de modo que, ocorresse a procedência de avaliar se os equipamentos são seguros para suprir as necessidades da população ou se é necessário estabelecer intervenções desejadas.

Desse modo, é nítido que a proposta exposta na presente pesquisa busca elucidar as possíveis variáveis que aceleram o processo de deterioração de um determinado material, assim como, o estudo da determinação de uma forma preventiva para prolongar a vida útil desses equipamentos do município, a fim de conseguir um custo menor de reparação, ao ser identificado as possíveis falhas nas estruturas metálicas.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar a degradação nos equipamentos de uma academia ao ar livre, oriundo de processos corrosivos.

2.2 ESPECÍFICOS

- Investigar os possíveis problemas determinantes para o surgimento da corrosividade;
- Avaliar os fatores corrosivos de deterioração dos equipamentos e explicar os riscos que podem acontecer sobre o efeito da corrosão;
- Desenvolver o triângulo de corrosão, explanando a utilização de cada parâmetro;
- Sugerir a substituição dos equipamentos, caso a corrosão tenha se manifestado de maneira agressiva, não sendo mais possível o reparo dos mesmos;
- Indicar medidas preventivas e corretivas aplicadas a fim de maximizar a vida útil dos equipamentos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CORROSÃO

É de grande importância o estudo sobre os processos corrosivos, posto que, a corrosão degrada com frequência um determinado material metálico, limitando-se a sua vida útil. Desse modo, segundo Gentil (1996) e Roberge (1999) definem o fenômeno de corrosão como a deterioração de um material provocada pela ação química ou eletroquímica do meio ambiente, o que geralmente resulta em alterações não desejáveis às propriedades dos materiais, assim sendo, um fenômeno de uma imensa relevância industrial. Ainda para Roberge (1999), o mesmo estima que os custos com problemas agregados à corrosão, orientam-se em torno de 3 a 5% do produto bruto interno em relação ao bruto dos países industrializados.

Além do mais, Helene (1986, p.01) explana que “pode-se definir corrosão como a interação destrutiva de um material com o ambiente, que seja por reação química, ou eletroquímica”. Desta maneira, pode-se concretizar que a corrosão é um processo que atua de forma conjunta com os fatores ambientais, em que leva-se a danificação de qualquer estrutura.

Todavia, a deterioração é provocada em materiais que apresentam características funcionais, como: resistências, resiliência, durabilidade, confiabilidade, entre outras, altamente comprometidas, prejudicando diretamente sua utilização. Assim, o processo corrosivo dos metais e suas ligas podem ser detectados em situações, como: na rede elétrica e cabos de comunicação, tanques de detenção de fluídos, meios de transporte, todos os tipos de aparelhos eletrônicos e eletrodomésticos, construções, tubulações e etc. (TOLENTINO, 2015).

No entanto, a representação das alterações indesejáveis que tornam-se desapropriadas para o uso, tais como, desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, são dadas através da degradação de materiais metálicos provocada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional. Desse modo, as manifestações patológicas corrosivas podem ser passíveis a inúmeros tipos de materiais, como ligas metálicas, plásticos, e entre outros.

Contudo, as normas técnicas como a ABNT NBR 8800:2008 e a ISO 12944-3:1998 ressaltam a importância das recomendações para a precaução da corrosão em estruturas metálicas. Assim, como a norma NBR 14643 (ABNT, 2001) que determina a classificação da agressividade atmosférica à metais e ligas metálicas em categoria de corrosividade, baseando-se em dados (tais como, tempo de superfície úmida, teor de cloretos e taxa de sulfatação) e/ou medidas de taxas de corrosão de metais-padrão.

Desse modo, os tipos de corrosão em materiais metálicos podem ser determinados como químicos, eletroquímicos e eletrolíticos, variando-se apenas o material utilizado, o meio corrosivo e as condições operacionais as quais o material são submetidas (GENTIL, 2011). Além disso, é possível identificar a corrosão conforme a sua própria natureza, assim como também, pela sua morfologia (forma). Em relação a natureza, a corrosão pode ser eletroquímica ou química. Já de acordo com a sua morfologia, a mesma pode ser determinada como, uniforme, puntiforme, por placas, intergranular, intragranular, alveolar, por empolamento, filiforme, por esfoliação, galvânica, em torno da solda, e entre outros (POLITO, 2006).

3.2 TIPOS DE CORROSÃO

Segundo Gentil (2011), os tipos de corrosão são utilizados para caracterizar processos em que as perdas possuem a capacidade de ocorrer de forma total, parcial e superficial, por ataques químicos, eletrólitos ou eletroquímicos. Desse modo, torna-se relevante estabelecer e compreender, diante dos fatos expostos, os tipos pelas quais a corrosão se comporta.

3.2.1 Corrosão química

A corrosão química relaciona-se ao processo do ataque de um agente químico diretamente a superfície de um material, sem o deslocamento de elétrons de uma área para outra (MERÇON *et al.*, 2004). Todavia, esse tipo de corrosão baseia-se na reação química entre o material e o meio corrosivo no qual se foi evidenciado, tendo-se a formação de um produto de corrosão sobre a superfície do material como um resultado final (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014). Desse modo, este processo acontece com menos frequência na natureza. Assim, é válido mencionar a exposição conforme a Figura 1, da estrutura interna do concreto em um poste, causada pela ação do composto CO₂ em relação aos seus constituintes.

Figura 1: Corrosão química causando desgaste em concreto.



Fonte: MERÇON, *et al.* 2004.

3.2.2 Corrosão eletrolítica

A corrosão eletrolítica, é um processo eletroquímico não espontâneo que requer a existência de uma corrente externa (BAPTISTA; CATINHEIRAS, 2009). É um tipo de corrosão que atinge com uma determinada frequência estruturas metálicas enterradas ou submersas, como tubulações de petróleo, cabos telefônicos, tanques de postos de gasolina etc. Assim, esse processo resulta da deficiência de aterramento e de isolamento de alguma parte da estrutura (EMÍDIO, 2018). Conforme a demonstração da Figura 2, ocorre-se a oxidação do metal no ponto de saída, devido a corrosão eletrolítica acontecer na perfuração do material condutor, tornando-se um polo positivo (cátodo) na entrada, e um polo negativo (ânodo) na saída.

Figura 2: Corrosão eletrolítica em uma tubulação industrial.



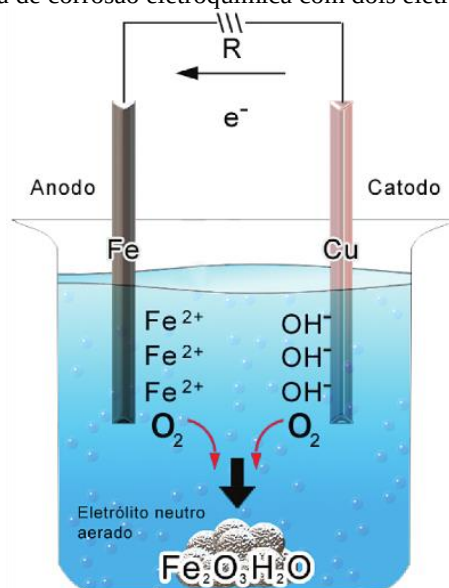
Fonte: SILVA, 2011.

3.2.3 Corrosão eletroquímica

A corrosão eletroquímica é aquela em que ocorre por um processo espontâneo, passível de suceder quando o metal está diretamente conectado com um eletrólito, em que acontecem, simultaneamente, reações anódicas e catódicas. É mais frequente na natureza e caracteriza-se por surgir na presença de água, na maioria das vezes a temperatura ambiente e com a formação de uma pilha de corrosão (MERÇON *et al.*, 2004).

Segundo Coutinho (2021), esse tipo de corrosão acontece através da formação de uma pilha. Sendo que, em uma pilha de corrosão, precisa acontecer a reação de oxidação e de redução juntas. Desse modo, a ilustração da Figura 3 esboça esse tipo de corrosão apresentando-se um sistema de uma pilha de corrosão eletroquímica com dois eletrodos diferentes.

Figura 3: Pilha de corrosão eletroquímica com dois eletrodos diferentes.



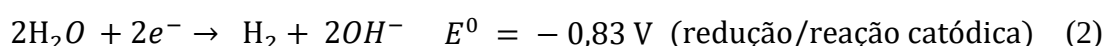
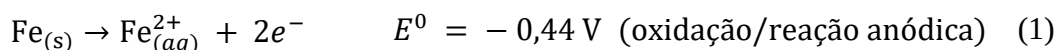
Fonte: MERÇON, *et al.* 2004.

Portanto, de acordo com Florido e Freire (2016), a Figura 3 apresenta-se uma região anódica de ferro que acontece o desgaste, sendo que o fluido eletrólito não é detalhado, possibilitando ser um meio qualquer, ou seja, o ar ou até mesmo a própria água. Assim, a uma formação de uma pilha de condução quando o metal entra em contato com eletrólito, já que o próprio eletrólito envolve simultaneamente áreas anódicas e catódicas do elemento metálico.

No entanto, a oxidação e a redução são processos que acontecem de forma simultaneamente em reações que ocorre o deslocamento de elétrons entre os átomos. Todavia, a oxidação acontece quando há uma perda de elétrons e o aumento do número de oxidação, e a

redução acontece quando há um ganho de elétrons e a diminuição do número de oxidação. Desse modo, estes processos também podem ser considerados como oxirredução, oxirredução ou redox.

De acordo com Nascimento *et al.* (2015), o mesmo descreve que o processo de corrosão da oxidação do ferro, acontece através das seguintes reações demonstrada nas Equações (1) e (2).

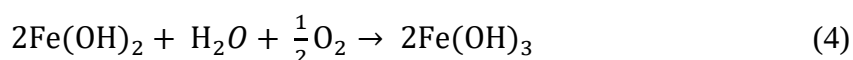


Entretanto, pode-se observar na Equação (1) o processo de oxidação que resulta no cátion Fe^{2+} , com perda de dois elétrons. O processo, então, continua com as reduções suscetíveis a ocorrerem, sendo a mais significativa a da água (H_2O), conforme a demonstração da Equação (2). Já que o composto ferro oxida-se com mais facilidade quando é evidenciado a essa substância.

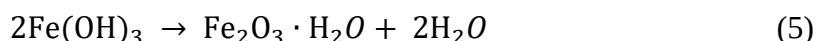
Segundo Ribeiro (2014), a medida em que os cátions Fe^{2+} deslocam-se para o pólo negativo (cátodo), os ânions OH^{-} movimentam-se para o pólo positivo (ânodo), ocorrendo-se a formação do composto hidróxido ferroso ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), como ilustrado na reação da Equação (3).



Contudo, na presença de oxigênio, essa substância é oxidado a hidróxido de ferro III ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), de acordo com a reação da Equação (4).



Assim sendo, sobre a ação de perda de água, a substância oxidado a hidróxido de ferro III ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) formado na reação da Equação (4), se transforma no óxido de ferro III monohidratado ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), conforme a elucidação da reação na Equação (5). Desse modo, forma-se uma substância que possui como característica a coloração castanho-avermelhada, determinado como ferrugem.



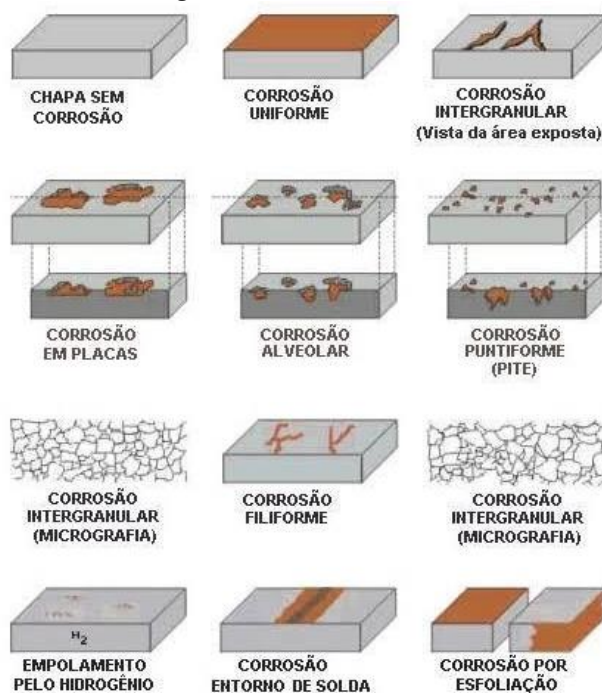
Portanto, segundo Mendonça *et al* (2004), “a variedade de reações químicas que envolvem oxidação-redução no cotidiano é surpreendente”. Assim, essas reações redox estão presentes em corrosão de metais, queima de combustíveis, e dentre outros meios representativo.

3.3 FORMAS CORROSIVAS

Segundo Pannoni (2015) “o conhecimento acerca dos processos corrosivos possui grande importância para prevenir problemas que futuramente possam acontecer”. Assim sendo, a aparência de uma determinada superfície corroída pode ser definida através das principais formas de corrosão, ou seja, de como elas podem se manifestar.

Entretanto, pode-se identificá-los visualmente, na maioria das vezes, através das suas formas, causas e mecanismos. Dessa forma, essas manifestações podem ser definidas pelas principais formas corrosivas, dentre elas estão a corrosão, uniforme, puntiforme, por placas, intergranular, intragranular, alveolar, por empolamento, filiforme, por esfoliação, galvânica, e em torno da solda. Assim, de acordo com a ilustração da Figura 4, apresenta-se as principais formas de corrosão definidas por Gentil (2011).

Figura 4: Formas de corrosão.



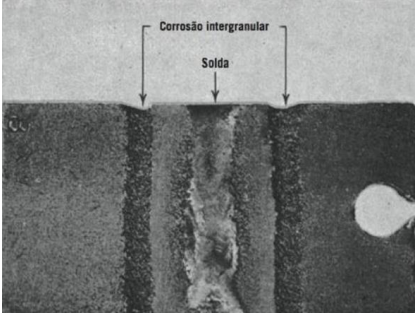
Fonte: GENTIL, 2011.

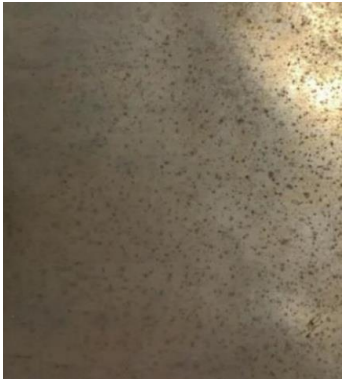
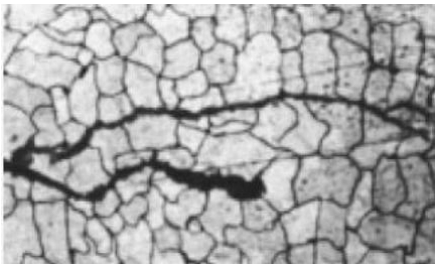
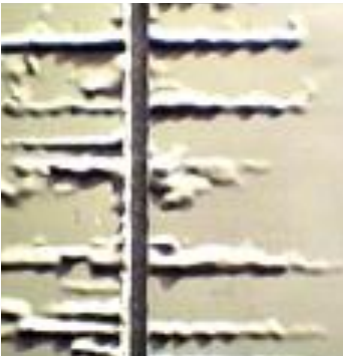
Conforme evidenciado na Figura 4, o processo corrosivo apresenta-se de diferentes maneiras, podendo-se ser identificados pela sua morfologia (forma), como uniforme, puntiforme, intergranular, e entre outros. Assim como também, podendo-se ser caracterizada por suas causas como, aeração diferencial, galvânica, em torno do cordão de solda, e pelos fatores mecânicos como, atrito e sob tensão. Desse modo, é considerável a exposição do

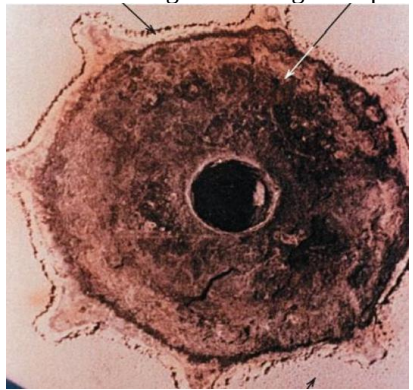
pensamento de Gentil (2011), quando o mesmo afirma que um aliado bastante significativo para prevenir o fenômeno corrosivo é entender a sua morfologia.

Assim, as principais formas corrosivas podem ser classificadas a partir dos seus danos de acordo com as seguintes categorias, como ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1: Principais formas corrosivas.

Formas	Características	Ilustrações
Uniforme	• Presente em toda a superfície do material metálico (GENTIL, 2011); • Perda uniforme da espessura; (PANONNI, 2015); • Fácil de ser detectada e controlada (PANONNI, 2015).	Figura 5: Corrosão uniforme em pilar.  Fonte: BESSA, 2019.
Intergranular	• Ocorre ao longo dos contornos de grãos (CALLISTER, 2010); • Pode ser letal para os materiais (ROBERGE, 2008).	Figura 6: Corrosão intergranular da solda em um aço inoxidável.  Fonte: CALLISTER, 2010.
Por placas	• Acontece em algumas regiões da superfície metálica (COELHO, 2015); • Formação de placas que se desprendem da superfície do material (COELHO, 2015).	Figura 7: Corrosão por placas em parafusos de fixação A.  Fonte: JÚNIOR, 2019.

Por alveolar	• Formação de sulco ou escavações (COELHO, 2015); • Possui uma profundidade menor que o seu diâmetro (GENTIL, 2007).	Figura 8: Corrosão alveolar em tubos de aço.  Fonte: MAIA, 2020.
Puntiforme ou por pites	• É uma forma localizada (CALLISTER, 2010); • Formação de pequenos pites (CALLISTER, 2010); • Possui uma profundidade maior do que o seu diâmetro (CALLISTER, 2010).	Figura 9: Corrosão por pite em chapa de alumínio.  Fonte: DA LUZ, 2018.
Intragranular	• Corrosão na rede cristalina (OLIVEIRA, 2012); • Perda das propriedades mecânicas (GENTIL, 2011); • Apresenta fraturas do material (GENTIL, 2011).	Figura 10: Corrosão intragranular em aço inoxidável.  Fonte: CALLISTER, 2010.
Filiforme	• Formação de filamentos finos não profundos (GENTIL, 2011); • Alta umidade do ar e revestimentos permeáveis a tornam mais propensa (COELHO, 2015).	Figura 11: Corrosão filiforme sobre alumínio.  Fonte: DE CIRIA, 2019.

Por empolamento	• Formação de bolhas, devido à pressão gerada pelo hidrogênio (TALBOT; TALBOT, 1998); • Ocorre a degradação do material metálico (GENTIL, 2011).	Figura 12: Corrosão por empolamento em corrimão.  Fonte: COLARES <i>et. al.</i>, 2021.
Em torno do cordão de solda	• Ocorre pela presença de elétrons sob tensão (ARRUDA, 2009); • Apresenta corrosão em torno da solda do material (PEREIRA, 2013).	Figura 13: Corrosão em torno do cordão de solda sofrida pela tubulação.  Fonte: CARVALHO <i>et. al.</i>, 2016.
Por esfoliação	• Ocorre a desintegração do material (GENTIL, 2007); • Acontece de forma paralela à superfície (GENTIL, 2007); • Formação de placas paralelas ao material (GENTIL, 2007).	Figura 14: Corrosão por esfoliação em pormenor de uma escada metálica.  Fonte: CASIMIRO, 2010.
Galvânica	• Ocorre entre metais (CALLISTER, 2010); • Resultante de célula eletroquímica (CALLISTER, 2010).	Figura 15: Corrosão galvânica em uma bomba de drenagem de estágio simples.  Fonte: CALLISTER (2010).

3.4 A IMPORTÂNCIA DAS DIFICULDADES DE CORROSÃO

As dificuldades de corrosão geram importância de acordo com dois principais fatores distinguidos. Primeiramente, o fator econômico é levado em consideração devido à elevação expansiva dos seus custos assumirem valores máximos, e fundamentado em estimativas do Produto Nacional Bruto (PNB) de cada país, sendo que, alguns países expressam valores elevados de acordo com este índice. Contudo, segundo Alves (2018) a corrosão tem um elevado impacto econômico, ambiental e de segurança na sociedade, podendo ser avaliada através da análise dos seus custos diretos e indiretos. Desse modo, para Gentil (2011), “as perdas diretas são caracterizadas quanto aos custos associados à inibição da corrosão, a sua manutenção, ou a substituição da própria peça. Já as perdas indiretas, são aquelas que trazem mais danos, mas que geralmente não se podem quantificar”. Assim, o processo corrosivo amplifica paralelamente com o progresso tecnológico de um país, ou seja, com as evidências pode-se concluir que quanto mais evoluído tecnologicamente for um país, mais elevado é o seu gasto com a corrosão.

No entanto, o segundo fator está relacionado com a preservação, uma vez que o processo corrosivo é uma ação espontâneo, e que consome determinados metais. Para Neto (2016), “esse processo espontâneo mencionado é o elemento, em forma metálica, em um nível de energia interna maior do que o elemento oxidado. A tendência universal de um sistema diminuir sua energia interna constitui a força motriz para os processos de corrosão”. Dessa maneira, é considerável a preocupação do material utilizado na confecção do mesmo, definindo se o próprio é conveniente para consumo, assim como, a necessidade de ter a cautela no controle e prevenção do processo corrosivo dos materiais que estão sendo utilizado.

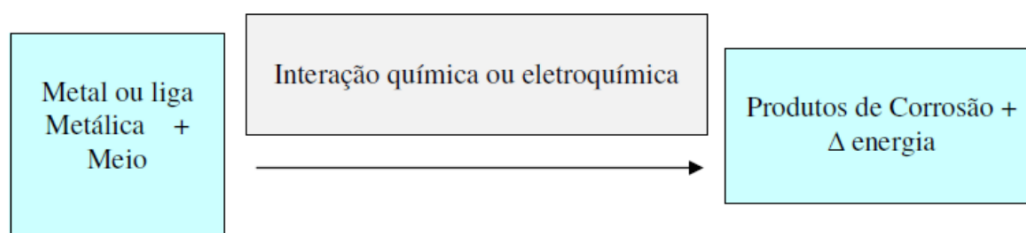
Apesar disso, o surgimento da corrosão muda as propriedades e características químicas e físicas de qualquer material, sendo um dos maiores responsáveis por desastres ambientais. Entretanto, esse fenômeno ocasiona como consequência em um determinado material, uma fraqueza, proporcionando ainda mais uma passividade ao meio externo. De acordo com Finamore (2016) “os engenheiros e técnicos possuem um desafio diário em encontrar soluções, técnicas, econômicas e ambientais possíveis para redução dos processos corrosivos”. Segundo Januário *et. al.* (2017) um estudo desenvolvido pela empresa norte-americana CCTechnologies demonstra o impacto da corrosão do aço na economia. O avanço da pesquisa analisou que entre 1 e 5% do PIB dos países é consumido pela corrosão. Outros estudos realizados, de acordo com a revista In The Mine (2019), demonstraram que cerca de 30% da produção mundial em relação ao aço e ferro é descartada com a corrosão. Sendo que, no Brasil, no ano de 2019, obteve-se

uma perda equivalente a 4% do PIB com manutenção da corrosão, o que equivale a R\$ 290 bilhões.

3.5 CORROSÃO EM MATERIAIS METÁLICOS

Devido à natureza do material, os principais problemas ocasionados nas estruturas metálicas estão relacionados ao processo de corrosão. A corrosão é um processo espontâneo que quando o aço não está devidamente protegido é atingido naturalmente pelo processo, que dependendo do meio no qual o material se encontra, a corrosão pode ser acelerada (PANNONI, 2002; FILHO *et. al.*, 2018). Para Panossian (1993), o mesmo define-se o processo da corrosão metálica de acordo com a Figura 16.

Figura 16: Reação geral da corrosão de materiais metálicos.



Fonte: PANOSSIAN (1993).

Na Figura 16, ilustra-se que o processo corrosivo metálico é uma reação que envolve energia. Desse modo, se o metal ou próprio meio perder energia esta reação será denominada como uma reação espontânea, isto é, se a variação de energia no decorrer do processo de corrosão representar-se negativamente. Caso contrário, se a variação da energia for representada positivamente, a reação não será denominada como espontânea, isto é, terá a necessidade do fornecimento de energia para o metal ou o meio de modo em que a reação ocorra.

Entretanto, a corrosão envolve um deslocamento de cargas na interface material e solução, isto é, um deslocamento de cargas entre um determinado condutor eletrônico, eletrodo, e um condutor iônico, eletrólito. Assim, este tipo de processo pode ser chamado de reação eletroquímica, que envolve a corrosão por meio da dissolução eletroquímica de materiais metálicos em meios úmidos condutores (WOLYNEC, 2003).

De acordo com Panossian (1993), o metal em um processo corrosivo, poderá ser inutilizado para uso se os produtos de corrosão forem solúveis no meio ou formarem produtos não-compactados e não aderentes ao metal. Consequentemente, o tempo determinado para sua

inutilização será tanto menor, quanto maior a velocidade da reação. De outro modo, a velocidade de reação será bem mais lenta, se os produtos de corrosão formarem uma camada compacta, uniforme e aderente ao metal.

Portanto, considerando-se a espontaneidade dessas reações, grande parte dos metais são encontrados na natureza de forma oxidada, a exemplo os óxidos e sulfetos, em virtude que esses óxidos retratam uma energia livre menor do que o elemento em seu estado metálico (GENTIL, 1996). Assim sendo, a corrosão pode ter consequências dramáticas, posto que há-se uma perda das propriedades mecânicas do material corroído, podendo-se vir a ocorrer falhas comprometedoras em suas estruturas (GENTIL, 2007).

3.6 MANEIRAS DE PREVENÇÃO CONTRA A CORROSÃO

3.6.1 Revestimento

Uma das maneiras de impossibilitar a exposição do material metálico com o meio corrosivo é revesti-lo com um outro determinado material, de forma a proporcionar uma barreira física que impossibilita o substrato de manter contato com o eletrólito, evitando assim, a formação das reações catódicas (CARDOSO, 2013). Dessa maneira, as tintas podem ser definidas como revestimentos não metálicos de classe orgânica (CASTRO, 1999; OLIVEIRA, 2012).

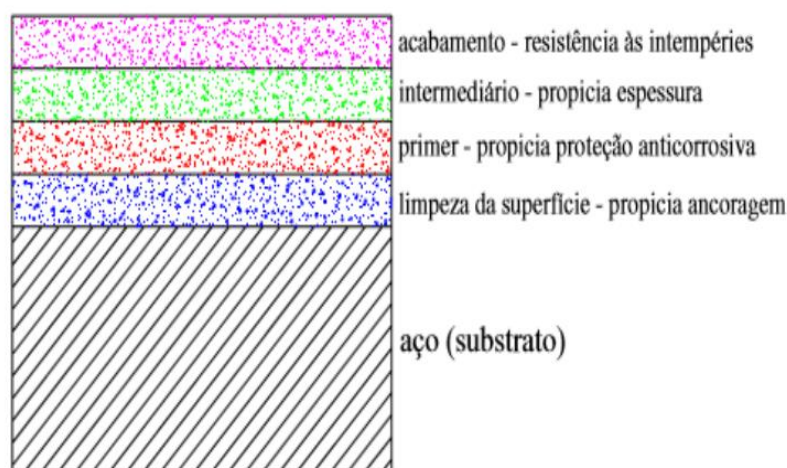
Segundo Castro (1999), “os revestimentos orgânicos são classificados em convencionais e de alta espessura, sendo o primeiro utilizado em estruturas expostas em ambientes atmosféricos, e o segundo para proteger estruturas enterradas ou submersas em águas”. Consequentemente, a tinta quando executada sobre a superfície de um determinado material, passa por um processo de secagem tornando-se um filme sólido de espessura consideravelmente fina, tendo-se como esperado: impermeabilidade, aderência e flexibilidade (FRAUCHES-SANTOS, *et al.* 2013).

No entanto, o processo de revestimento é retratado de acordo com a norma NBR 15156 que define-se “a tinta é um produto líquido, pastoso ou em pó, com propriedades de formar película após secagem ou cura, composto por uma mistura formada de resinas, pigmentos, solventes, cargas e aditivos”. Essa definição está relacionada com a norma que enfatiza pinturas industriais.

Apesar disso, um revestimento adequado, assim como a sua maneira de aplicação irá depender da agressividade do meio em que o elemento metálico está inserido. Todavia, de

acordo com Castro (1999) e Magnan (2011) há um processo para se manter a competência desse sistema de proteção. Sendo que, para esse procedimento a primeira camada de tinta, conhecida como “primer”, tem a funcionalidade de proteger e nivelar a superfície metálica. Logo após, há uma aplicação da segunda camada (tintas intermediárias) que tem o propósito de aumentar a espessura da camada de tinta e melhorar a proteção através do aumento da barreira física. Entretanto, conforme a dependência do meio corrosivo, aplica-se a terceira camada de tinta (tinta de acabamento) cujo o objetivo é dá espessura, acabamento, cor e textura, sendo essa camada a que tem o contato direto com o meio agressor. Assim, em um meio de pouca ou média agressividade, pode ser utilizado apenas o primer. Desse modo, a Figura 17 representa um corte padrão de um sistema de revestimento.

Figura 17: Corte esquemático de um sistema de revestimento.



Fonte: NUNES (1990, *apud* CASTRO, 1999).

Por consequência, ainda que se trate de um procedimento econômico, para a garantia de uma boa qualidade do cobrimento com a pintura, é fundamental seguir um processo rigoroso. Apesar disso, caso não seja realizado o processo devidamente adequado, em poucos dias é possível perceber as características como, a formação de bolhas, empolamento, enrugamento, entre outros. Tendo-se o surgimento desses acontecimentos, ocasiona assim, um desempenho ineficiente do revestimento aplicado (HIGASHI, 2016).

3.6.2 Proteção catódica

Conforme exposto por Callister (2010), a proteção catódica é um dos meios mais eficazes para a prevenção da corrosão, podendo-se ser utilizada em praticamente todos os tipos

existente de degradação. Para Neto (2016), este é um “método que controla a corrosão em superfícies metálicas ou submersas consistindo na transformação da estrutura para proteger o catodo de uma célula eletroquímica ou eletrolítica.” Dessa maneira, este processo de proteção ocorre a inibição da corrosão em áreas onde possa haver falhas ou insuficiência no revestimento anticorrosivo.

Todavia, de acordo com Gentil (2011), a funcionalidade deste processo constitui em dois mecanismos definidos como, por ânodo de sacrifício e por corrente impressa. Entretanto, o material considerado menos nobre, isto é, que expressa um potencial de redução mais negativo, o mesmo atua como ânodo de sacrifício. Enquanto de modo contrário, o material com um potencial considerado menos negativo, atua como cátodo, sendo este procedimento chamado de proteção catódica por ânodos de sacrifício.

Apesar disso, a proteção catódica por corrente impressa corresponde na adição de uma fonte geradora de corrente elétrica continua a estrutura metálica que se deseja proteger e a um anodo inerte, fazendo-se com que o metal escolhido como anodo apresente um potencial de redução mais negativo. Dessa forma, a estabilidade da corrente ao longo do material faz com que haja uma formação de películas passíveis (GENTIL, 1996; OLIVEIRA, 2012).

3.6.3 Proteção anódica

A proteção anódica compreende-se pela formação de uma película protetora em metais por meio da aplicação de corrente externa. Assim, os óxidos formados são constituídos do próprio metal a ser protegido, também chamado de passivação do metal (TOMASHOV, 1967).

Apesar disso, a aplicação da proteção anódica faz com que a dissolução do filme de óxido seja impossível e qualquer falha que apareça no filme é reparado de maneira automática pela formação de um novo filme de óxido. Dessa forma, este tipo de proteção só pode ser efetuada a metais ou ligas que se passivem, com o ferro, níquel, cromo e respectivas ligas, e não pode ser aplicada para zinco, prata e cobre (GENTIL, 2007).

Segundo Gentil (1996), há dois parâmetros que são necessários para aplicação da proteção anódica, tais que, o material metálico deve apresentar passivação no meio corrosivo em que se encontra; e todas as partes expostas do material devem apresentar passivação, caso contrário, se cria uma grande área catódica inerte e, como consequência, surge ataque localizado.

Desse modo, a proteção anódica é aplicada para a proteção em meios extremamente corrosivos e também oferece maneiras de monitorar as taxas de corrosão desses processos em ambientes mais severos (ROBERGE, 1999).

3.6.4 Inibidores corrosivos

De acordo com Ahmad (2006) “um inibidor é uma substancia ou mistura de substancia capaz de suprimir significativamente um processo de corrosão ativo”. No entanto, essas substancia quando presente em concentrações adequadas, no meio corrosivo, reduz ou elimina a corrosão. Contudo, há certas situações em que o uso desses inibidores não é recomendado, como em equipamentos e componentes sujeitos a fluxo turbulento, condições acima dos limites de estabilidade do inibidor, equipamentos sujeitos a alto grau de velocidades.

Todavia, a interação do inibidor com uma determinada superfície do aço e o mecanismo de ação pode mudar conforme as condições experimentais. Alguns fatores que interferem na formação de um filme protetor em soluções acidificadas são: a concentração, o pH, a natureza do ânion proveniente do ácido, presença de outras espécies na solução, extensão da reação para formar inibidores secundários e a natureza do metal (RAHIM, 2005).

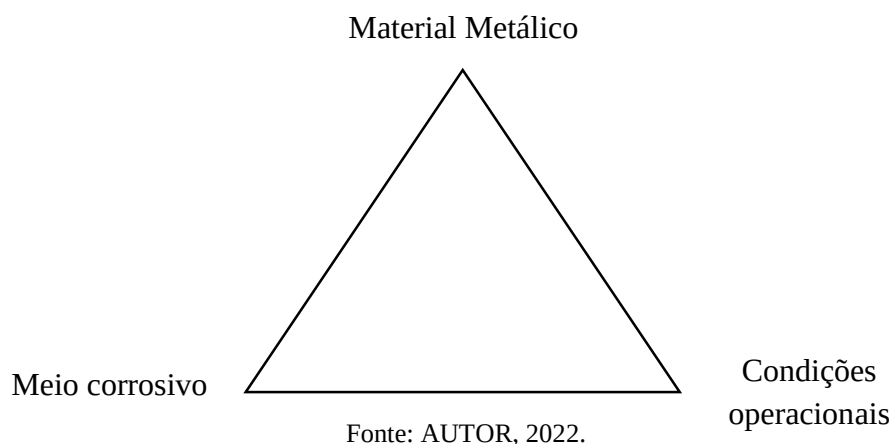
No entanto, para que os inibidores de corrosão exerçam sua função é necessário avaliar e analisar os aspectos seguintes: causas da corrosão, custo da utilização dos inibidores, propriedades e mecanismos de ação dos inibidores e condições adequadas de adição e controle (GENTIL, 2003). Segundo Rani *et al.* 2012, outros aspectos que também devem ser analisados quando se trabalha com inibidores de corrosão são: toxicidade, disponibilidade, impacto ambiental, meio de exposição (temperatura, pressão, etc.) e custo/benefício, além das condições da superfície do aço ao carbono utilizado e sua microestrutura.

Entretanto, são existente diversas classificações para inibidores, os mais estudados estão relacionados quanto a composição química e quanto ao seu comportamento. Com relação à composição, os inibidores podem ser classificados como orgânicos e inorgânicos. E em referência ao comportamento podem ser classificados como, oxidantes, não-oxidantes, anódicos, catódicos e de adsorção (GENTIL, 2011). Dessa forma, para inibir ou retardar um processo de corrosão e ampliar a proteção contra este fenômeno em determinadas superfícies metálicas, pode-se utilizar inibidores de corrosão de acordo com o seu tipo de classificação. Assim, esse processo de inibir dá-se pela ocorrência de uma formação de película protetora na superfície do metal de forma a protege-lo contra os ataques corrosivos.

3.7 TRIÂNGULO CORROSIVO

Para os mecanismos básicos do processo corrosivo, são existentes fatores de significância. Todavia, algumas variáveis desse processo requerem análises mais atenciosas, pois estas podem possibilitar um melhor estudo sobre a ocorrência e prevenção da corrosão (GENTIL, 2011). Desse modo, ainda de acordo com Gentil (2011), a formação do triângulo da corrosão se dá por três elementos essenciais, sendo eles, o material metálico, o meio corrosivo e as condições operacionais. Assim, pode-se ser averiguado esses processos do triângulo corrosivo através da representação da Figura 19.

Figura 18: Triângulo corrosivo.



Segundo Gentil (2011, p. 52), estas três variáveis ilustrada na Figura 17, podem ser definidas como:

material metálico: composição química, presença de impurezas, processo de obtenção, tratamentos, tratamentos térmicos e mecânicos, estado da superfície, forma, união de materiais (solda, rebites etc.), contando com outros metais; meio corrosivo: composição química, concentração, impurezas, pH, temperatura, teor de oxigênio, pressão, sólidos suspensos; condições operacionais: solicitações mecânicas, movimento relativo entre material metálico e meio, condições de imersão no meio (total ou parcial), meios de proteção contra a corrosão, operação continua ou intermitente.

4 METODOLOGIA

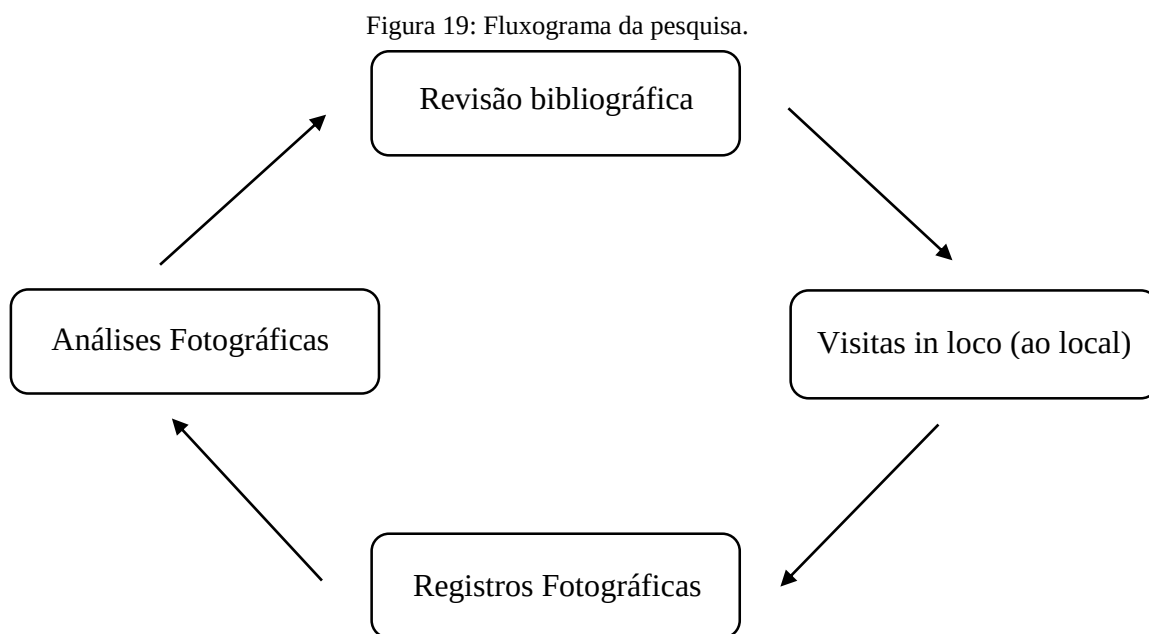
4.1 DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

Para a identificação do estudo referente as manifestações patológicas geradas pela corrosão em estruturas metálicas, inicialmente, foi utilizado a metodologia de revisão bibliográfica em periódicos, artigos, teses, dissertações e livros, sobre os principais tipos de corrosão e seus respectivos conceitos, assim como também, uma análise para se obter mais conhecimento e identificação do material metálico a ser trabalhado. O estudo de caso foi realizado pelo método da observação nos equipamentos da academia ao ar livre no ginásio poliesportivo João Nazário localizado no município de Rodolfo Fernandes/RN, sendo que, de acordo com Lakatos *et al.* (2003), este método de estudo tem como objetivo registrar e acumular informações para então compreender como ocorre o fenômeno estudado.

Para a coleta de dados foi realizada experimentações diretas em que “o pesquisador sai a campo e observa diretamente o consumidor utilizando o produto” (ROZENFELD, 2006). Desse modo, a efetivação dessa coleta de dados para a presente pesquisa foi obtida por meio de visitas ao determinado local, sendo significativamente desempenhados registros fotográficos para documentar e identificar as possíveis causas das manifestações patológicas e os meios corrosivos atuantes nos equipamentos. Brinck *et al* (2005) utilizou-se também de um procedimento metodológico semelhante ao presente estudo para uma análise da corrosão na avaliação da integridade estrutural da ponte Marechal Hermes do Rio São Francisco em Minas Gerais, em que o próprio autor realizou visitas *in loco*, sobre filmagem e registros fotográficos, realizando-se assim, ao final do processo, o comparativo dos registros com os estudos bibliográficos referenciados na sua própria pesquisa.

Consecutivamente, realizou-se, de maneira sucinta, uma analogia entre a pesquisa bibliográfica de forma simultânea com o estudo de caso, realizado no objeto de estudo, durante um período de acompanhamento da problemática da corrosão estimado em seis meses (agosto, setembro, outubro, janeiro, fevereiro, março). Essa forma de acompanhamento aconteceu através de registros fotográficos, em que, inicialmente, teve-se uma coleta previamente nos primeiros 90 dias com o intuito de obter informações em relação ao período climático determinado como mais quente, no segundo semestre do ano. Assim, nos últimos 90 dias de acompanhamento foi destinado para a coleta de dados fotográficos em um período climático determinado como mais chuvoso, no primeiro semestre do ano, de modo a associar o avanço do processo corrosivo nos equipamentos através desses fatores que influenciam na corrosão.

Assim sendo, após a conclusão deste acompanhamento, por meio de visitas ao local e registros fotográficos foi realizado as apresentações dos aspectos gerais das irregularidades obtidas nas etapas anteriores e a elaboração de hipóteses das possíveis causas dessas irregularidades identificadas neste estudo de caso, fundamentadas nas revisões bibliográficas dos autores referenciados neste atual trabalho. E por fim, diante de todas as etapas anteriores, foi necessário a elaboração de análises, discussões e conclusões da pesquisa com base em diagnósticos mais provável estabelecidos no estudo de caso. A Figura 20 apresenta o fluxograma com os processos adotados na construção de cada etapa para o desenvolvimento da presente pesquisa.



Fonte: AUTOR, 2022.

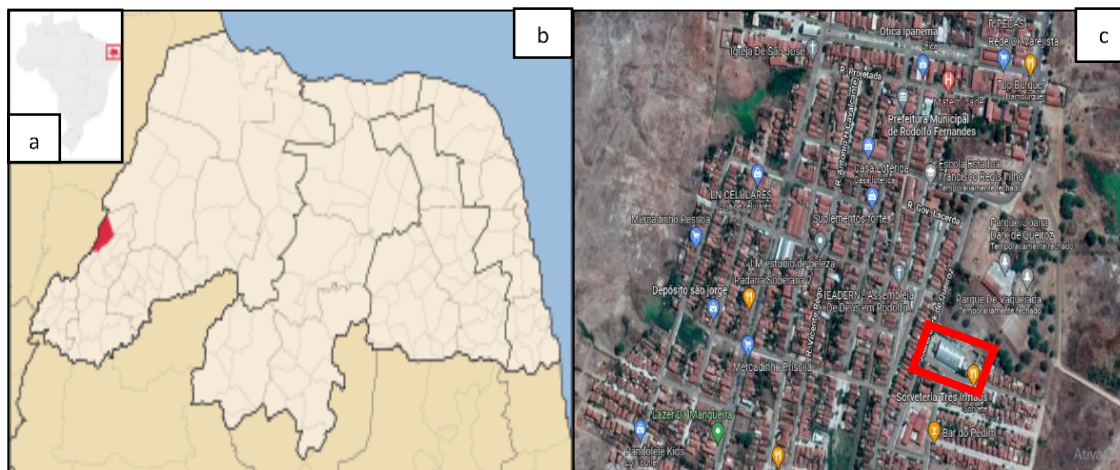
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE RODOLFO FERNANDES/RN

O município de Rodolfo Fernandes está localizado no interior do Rio Grande do Norte, a uma longitude de 369 km da capital Natal. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), constatou-se uma população estimada de 4.462 habitantes no último censo realizado no ano de 2021, sobre uma área territorial 154,840 km².

O clima da cidade, por sua vez, é semiárido, possuindo temperaturas elevadas durante todo o ano e chuvas centralizadas no primeiro semestre. Segundo a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), no ano de 2021, o atual município possui registrado o segundo maior acumulado de chuva em 24 horas com 115 mm em 27 de dezembro

de 2021, e o recorde anual pertence ao ano de 2009, com 1.287,2 mm. Apesar disso, o serviço de abastecimento de água do município é realizado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), que possui um escritório local na cidade. Assim, a Figura 21 elucida a representatividade de mapas em que se concentra o local do estudo desta pesquisa.

Figura 20: Mapa de localização geográfica da área de estudo, (a) mapa brasileiro, (b) localização do município de Rodolfo Fernandes, no estado do Rio Grande do Norte, (c) localização da cidade e o ginásio poliesportivo João Nazário.



Fonte: IBGE, 2021.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DA ACADEMIA AO AR LIVRE

Para o presente estudo, os equipamentos analisados são de uma academia ao ar livre no ginásio poliesportivo João Nazário localizado no município de Rodolfo Fernandes/RN. Entretanto, o município conteve a implementação dos principais tipos de equipamentos na academia ao ar livre: espaldar, esqui individual, elíptico mecânico individual, bicicleta de cadeira individual, pressão de pernas duplo, puxador peitoral duplo, massageador duplo e paralela dupla, conforme a Figura 22.

Figura 21: (a) ginásio poliesportivo João Nazário do municio de Rodolfo Fernandes/RN, (b) e (c) equipamentos da academia ao ar livre.



Fonte: AUTOR, 2022.

No Quadro 2 apresenta-se os equipamentos da academia ao ar livre do estudo de caso, assim como também, os seus respectivos materiais utilizados para a fabricação.

Quadro 2: Equipamentos da academia ao ar livre.

Equipamentos	Materiais de fabricação	Ilustrações
Espaldar	• Fabricado com tubos de aço carbono; • Tubos de dimensões variados.	Figura 22: Equipamento espaldar. Fonte: AUTOR, 2022.

Esqui individual	• Fabricado com tubos de aço carbono; • Tubos de dimensões variados; • Chapas em aço carbono para ponto de fixação do equipamento; • Barras chata; • Pinos.	Figura 23: Equipamento esqui individual.  Fonte: AUTOR, 2022.
Elíptico mecânico individual	• Fabricado com tubos de aço carbono; • Chapas em aço carbono para reforços do equipamento; • Rolantes duplos conectados em dois pisantes com bordas arredondadas e sem quinas.	Figura 24: Equipamento elíptico mecânico individual.  Fonte: AUTOR, 2022.
Bicicleta de cadeira individual	• Fabricado com tubos e chapas em aço carbono de alta resistência; • Banco com apoio; • Haste horizontal com pedal móvel.	Figura 25: Equipamento bicicleta de cadeira individual.  Fonte: AUTOR, 2022.

Pressão de pernas duplo	• Fabricado com tubos e chapas em aço carbono de alta resistência; • Dois bancos com encostos; • Apoio para os pés recobertos com borrachas.	Figura 26: Equipamento pressão de pernas duplo.  Fonte: AUTOR, 2022.
Puxador peitoral duplo	• Fabricado com tubos e chapas em aço carbono; • Hastes longas de tubo de aço carbono; • Acento com encostamento fabricado com chapas.	Figura 27: Equipamento puxador peitoral duplo.  Fonte: AUTOR, 2022.
Massageador duplo	• Fabricado com tubos e chapas em aço carbono; • Hastes recobertas com borrachas.	Figura 28: Equipamento massageador duplo.  Fonte: AUTOR, 2022.

Paralela dupla	• Fabricado com tubos e chapas de aço carbono de alta resistência; • Hastes longas de ferro maciço.	Figura 29: Equipamento paralela dupla.  Fonte: AUTOR, 2022.
-----------------------	---	--

Fonte: AUTOR, 2022.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

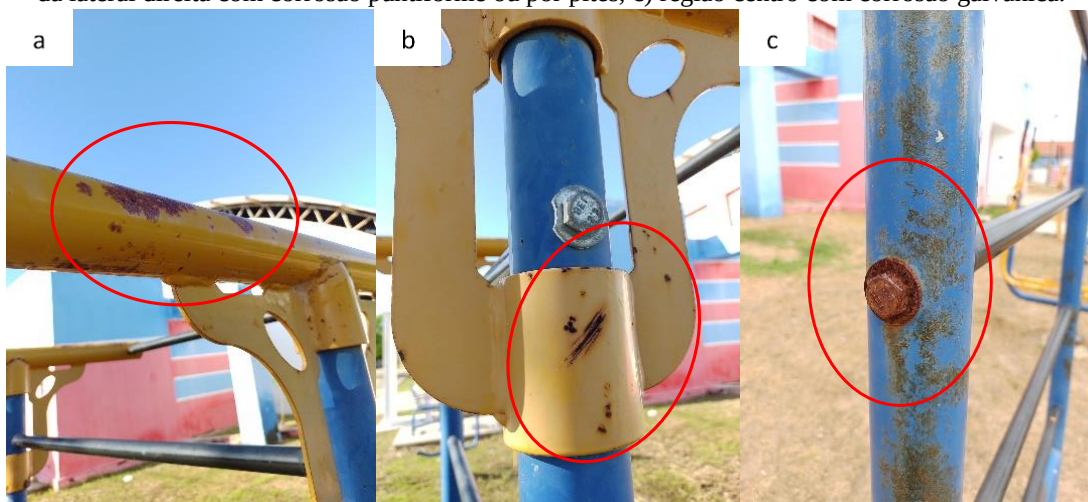
A partir das análises fotográficas e visitas ao local realizadas nesta referida pesquisa, foram obtidos registros significativo de manifestações patológicas do processo corrosivo nos equipamentos que constituem a academia ao ar livre.

5.1 ESPALDAR

De acordo com as análises fotográficas realizadas neste referido estudo, constatou-se algumas formas do processo corrosivo presentes no equipamento espaldar da academia ao ar livre no ginásio poliesportivo João Nazário no município de Rodolfo Fernandes/RN.

Na Figura 30 (a) pode-se identificar a corrosão uniforme, em que, segundo Gentil (1996), essa forma se caracteriza pela perda homogênea da espessura em toda a superfície do material. No entanto, a outra forma corrosiva identificada no mesmo equipamento foi a corrosão puntiforme ou por pites, conforme a Figura 30 (b), sendo que, de acordo com Oliveira (2012) essa forma se manifesta através de pequenas áreas localizadas na superfície metálica, sendo possível a identificação por apresentar furos de pequenos diâmetros. Contudo, ao longo do elemento estrutural é notável ainda a presença de arranhões da pintura protetora, deixando exposto o tubo de aço em que possibilita o favorecimento do aumento da presença corrosiva, como é possível ser analisado na Figura 30 (b).

Figura 30: Equipamento espaldar, a) região superior da lateral direita com corrosão uniforme, b) região superior da lateral direita com corrosão puntiforme ou por pites, c) região centro com corrosão galvânica.



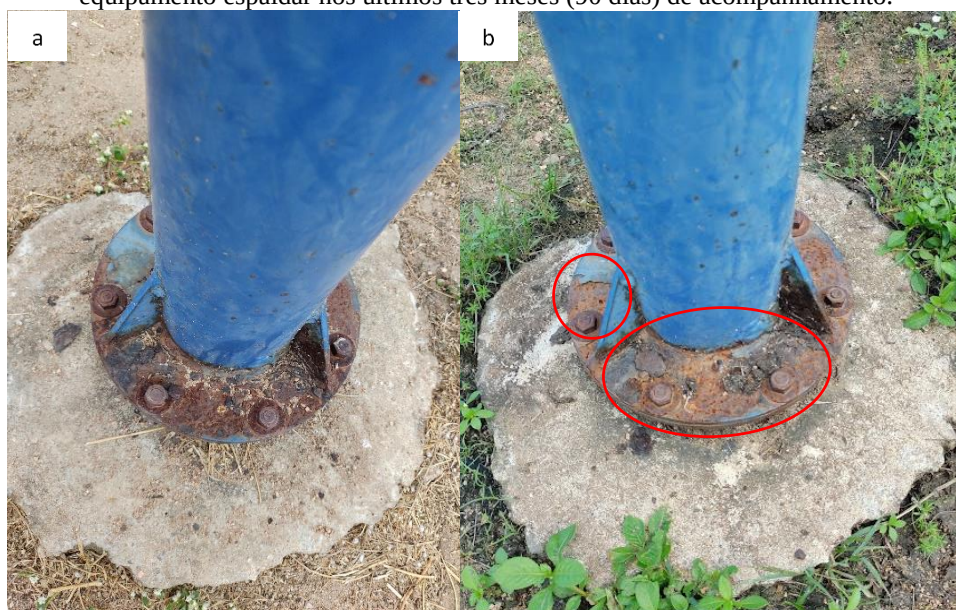
Fonte: AUTOR, 2022.

Bessa (2019) ao realizar um estudo sobre casos da corrosão, causas e consequências em pilares treliçados na cidade de Água Nova - RN, encontrou-se também ao longo dos elementos estruturais a presença de arranhões, que deixavam a exposição do aço mais propício a corrosão dos pilares.

Ainda sobre a Figura 30 (c), pode-se ser analisado a presença de um tipo de processo eletroquímico no mesmo equipamento na parte identificado como centro do equipamento, como a corrosão galvânica. Sendo que, a ocorrência desse tipo de corrosão é pela formação de uma pilha eletroquímica quando existe a junção de dois metais diferentes, ocorrendo comumente em ligações parafusadas (FLORES e BRITO, 2005; SERRA, 2012). Desse modo, a Figura 30 (c) demonstra-se um exemplo desse tipo de corrosão, em que os parafusos entram em contato com tubos de aço do equipamento, fazendo-se com que o zinco se torne um metal de sacrifício, sofrendo corrosão primeiro na estruturação.

Na Figura 31 (a) e (b), ilustra a base do equipamento espaldar ao longo dos seis meses de acompanhamento. Em ambos casos, é possível analisar a forma de corrosão galvanizada em que acontece nos parafusos ao decorrer do contato com uma chapa metálica do tubo de aço do equipamento, ocasionando assim, um processo mais agressivo devido o avanço da forma corrosiva uniforme e o surgimento da corrosão por placa nos últimos três meses (90 dias) de acompanhamento, conforme a Figura 31 (b). Esse processo pode ter sido ocasionado por vários fatores, como a água empossada, detritos, vegetação, e até mesmo por tensão aplicada do próprio equipamento.

Figura 31: a) base do equipamento espaldar nos primeiros três meses (90 dias) de acompanhamento, b) base do equipamento espaldar nos últimos três meses (90 dias) de acompanhamento.



Fonte: AUTOR, 2022.

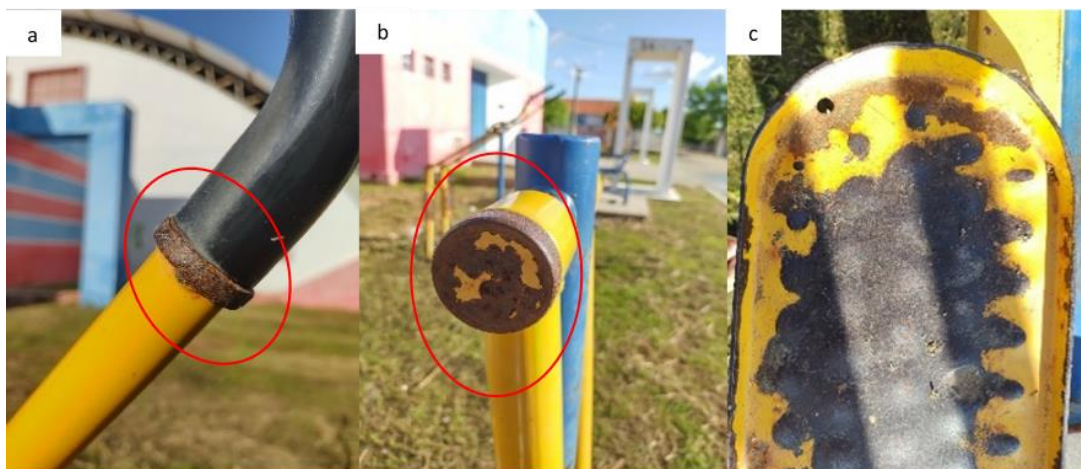
Além do mais, é notável que, a Figura 31 (b) apresenta-se uma base de concreto bastante desgastada nas suas extremidades, em que encontra-se em contato com a base do equipamento. Para Comim *et. al.* (2017), alguns fatores que podem ocasionar a corrosão do concreto estão associados a porosidade do material e a umidade. Dessa maneira, pela agressividade da corrosão na base do equipamento pode-se comprometer a sua estruturação, favorecendo assim, a perda total do aparelho.

Por meio da análise, a solução viável para este equipamento espaldar, é a aplicação do revestimento orgânico que deve-se seguir as quatro etapas que foram apresentadas anteriormente na pesquisa, no item 3.6.1. Essa aplicação do revestimento orgânico minimizaria a velocidade de corrosão no equipamento, tendo-se o reparo de possíveis danos corrosivos. Esse procedimento se dá com a aplicação de limpeza, tinta de fundo ou primer, pintura intermediária e pintura de acabamento. Todavia, em relação a base de concreto que sustenta o equipamento, existe a necessidade de uma reconstrução devido ao seu estado, visto que apresenta-se bastante desgastada. Desse modo, para a base do equipamento, deve-se ser realizada a aplicação de inibidores, já que na mesma foi diagnosticado uma evolução no processo corrosivo durante o acompanhamento do estudo.

5.2 ESQUI INDIVIDUAL

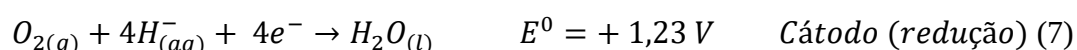
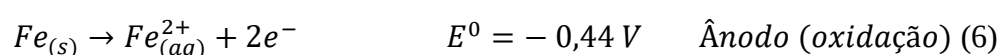
A Figura 32 apresenta a composição do aparelho esqui individual, com algumas formas corrosivas na superfície da estrutura metálica, sendo que, supostamente o surgimento dessas formas corrosivas podem ter sido provocadas pelas ações intempéries, e condições climáticas alteradas, consideradas como a maior causa da presença desse fenômeno. No entanto, Castro (1999) ressalta que a exposição de tubos de aço sob condições atmosféricas como, chuva, sol, umidade, e até mesmo o contato direto com o solo, são fatores que contribuíram para um meio propício à corrosão. Todavia, na Figura 32 (a), é notório na peça do aparelho a presença do processo corrosivo de grau avançado pela forma da corrosão uniforme, que caracteriza-se pela perda homogênea de espessura protetora em toda a superfície do material, assim como também, é identificado de maneira gradativa a presença desse mesmo processo corrosivo na Figura 32 (b).

Figura 32: Aparelho esqui individual, a) região frontal direita do bastão para apoio das mãos com corrosão uniforme, b) tubo posterior lateral esquerdo com corrosão uniforme, c) chapa de apoio de pé esquerdo com corrosão uniforme.



Fonte: AUTOR, 2022.

Além do mais, na Figura 32 (c), também é notório o processo corrosivo uniforme de forma mais agressiva, que possivelmente ocorreu-se pelo o uso constante dos usuários ao praticarem atividades físicas, assim como também, a possível presença de umidade no ambiente decorrente das chuvas na região, ocasionando um acúmulo de água no próprio equipamento. No entanto, devido as mudanças climáticas, como sol e chuva, em que o meio na presença das mesmas origina-se a formação de uma pilha por aeração diferencial. Visto que, de acordo com Gentil (1996), as reações que ocorrem na corrosão por aeração diferencial estão representadas nas Equações (6) e (7).



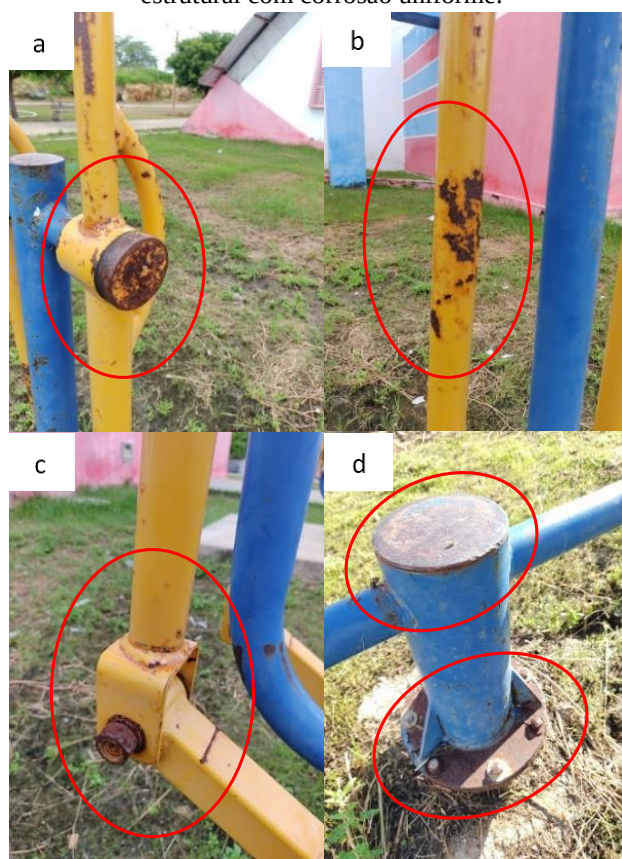
Consequentemente, essa forma corrosiva também desencadeou-se pelo contato dos pés dos usuários ao manusearem o aparelho, devido a necessidade de acontecer um arraste para a execução do equipamento acelerando o processo corrosivo pelo desgaste na área da peça apresentada. Barra (2021), ao desenvolver o estudo e análise corrosiva nos equipamentos de uma academia ao ar livre na cidade de Severiano Melo – RN, também verificou-se o mesmo processo corrosivo na chapa de apoio do pé do aparelho simulador de caminhada duplo.

Dessa forma, para este aparelho esqui individual a solução é a utilização do processo de revestimento orgânico, conforme empregado anteriormente, de modo que, esse revestimento possibilite a minimização do processo corrosivo nas áreas do aparelho.

5.3 ELÍPTICO MECÂNICO INDIVIDUAL

Para o equipamento elíptico mecânico individual constatou-se uma maior agressividade da forma corrosiva uniforme nos casos da Figura 33 (a), (b) e (d). No entanto, é perceptível a análise dessa presença corrosiva em estado bastante avançado, após o cobrimento do material corrosivo em quase toda a peça que compõe o equipamento, conforme a ilustração da Figura 33 (a). Além do mais, essa corrosão agressiva da corrosão uniforme no aparelho, pode ser devido a decorrência da exposição do mesmo ao meio ambiente em que se tem uma maior ação de intempéries como, variação de temperatura, chuva, incidência de raios solares e entre outros.

Figura 33: Equipamento elíptico mecânico individual, a) região frontal do lado direito do bastão de apoio para mãos com corrosão uniforme, b) tubo frontal do lado esquerdo com corrosão uniforme, c) tubo de rotação inferior do lado esquerdo com corrosão em torno do cordão de solda, por atrito e galvanização, d) base de apoio estrutural com corrosão uniforme.



Fonte: AUTOR, 2022.

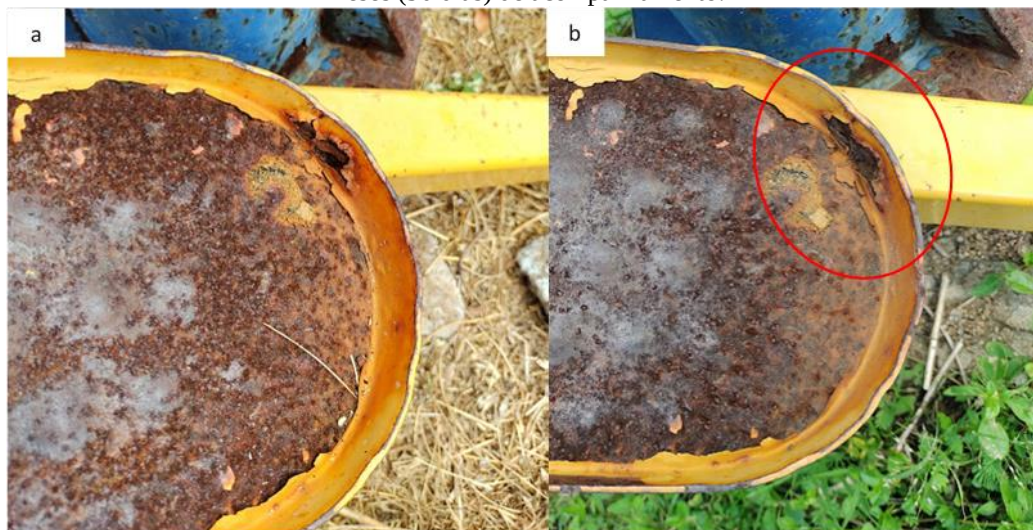
No entanto, na região inferior do tubo de rotação da estrutura do equipamento, verificou-se a ocorrência e possíveis causas de corrosão. Na Figura 33 (c) averiguou-se o surgimento da corrosão em torno de cordão de solda, em que esse fenômeno é ocasionado através de altas temperaturas no processo de soldagem. Entretanto, a mesma região do equipamento apresenta-

se a forma galvanizada quando se tem a junção do parafuso com a chapa metálica, isto é, tendo-se dois materiais distintos que favorece a presença dessa forma corrosiva. Assim como também na mesma região do equipamento, provavelmente, apresenta-se uma corrosão por meio de fatores mecânicos, como o atrito. Esse processo corrosivo certamente ocorreu devido a danificação na interface entre as duas superfícies do equipamento devido as mesmas estarem sujeitas a movimentos oscilatórios, conforme a Figura 33 (c). Sendo que, segundo Gilbert (1997), a corrosão por atrito é um processo de corrosão que ocorre devido à formação de fresta combinada com o atrito nas interfaces metálicas submetidas ao movimento relativo.

Ostroski (2019), ao desenvolver uma pesquisa referente a avaliação da velocidade de corrosão nos equipamentos portuários, certificou-se no sistema de abertura do funil alguns processos corrosivos na superfície metálica que favoreceram pela ocorrência do atrito das cargas.

Além disto, a Figura 34 (a) e (b), apresenta a chapa de apoio de pé do equipamento durante o período de acompanhamento de seis meses. Todavia, é possível analisar a forma de corrosão por placa em ambos casos, visto que esse processo foi desencadeando constantemente o seu avanço ao longo do tempo, conforme a ilustração da Figura 34 (b). Dessa maneira, ao ter um comparativo do período inicial dos primeiros três meses (90 dias) de acompanhamento, com o período final de acompanhamentos nos três últimos meses (90 dias), verifica-se a evolução desse processo corrosivo por placa, visto que esse fenômeno pode ter sido causado pelo detrimento de fatores que ocasionaram o desenvolvimento dessa corrosão como, o acúmulo de água na chapa de sustentação do apoio de pé e/ou pelas ações intempéries que enfatizam na deterioração do material. Desse modo, segundo Gentil (1996), a corrosão por placas ocorre pelo desprendimento de pequenas placas ao longo do material, provocando o desprendimento de películas protetoras.

Figura 34: a) chapa de apoio de pé do equipamento elíptico mecânico individual nos primeiros três meses (90 dias) de acompanhamento, b) chapa de apoio de pé do equipamento elíptico mecânico individual nos últimos três meses (90 dias) de acompanhamento.



Fonte: AUTOR, 2022.

De acordo com a Figura 24 (p. 41) desta referida pesquisa, o equipamento não apresenta mais funcionalidade devido a desmembração de sua estruturação pelo o mal uso dos usuários, dessa maneira, a substituição da peça é a prática mais apropriada para este caso.

5.4 BICICLETA DE CADEIRA INDIVIDUAL

No aparelho de bicicleta de cadeira individual, é possível identificar a degradação do material metálico através da corrosão. O aparelho apresenta-se duas formas de corrosão na sua estruturação metálica, dentre elas, a corrosão uniforme e por placas, conforme a Figura 35 (a) e (b). No entanto, a Figura 35 (c) demonstra-se a possibilidade da iniciação da presença do processo corrosivo na base de sustentação do aparelho em contato com a base de apoio de concreto, evidenciando assim, a corrosão galvanizada quando se tem o contato da chapa metálica, o parafuso, e o concreto, matérias distintos.

Figura 35: Aparelho bicicleta de cadeira individual, a) região de assento do aparelho com corrosão uniforme, b) região frontal de encostamento com corrosão por placas, c) base de apoio do aparelho com corrosão galvanizada.



Fonte: AUTOR, 2022.

Além do mais, essas formas corrosivas constatados nas superfícies metálicas do aparelho foram provavelmente decorrentes das ações da chuva, ventos, diferença de temperatura, mais conhecidos pelo fenômeno de intempéries, que afetam a composição do material ao sofrer um nível elevado de exposição. Desse modo, esse aparelho está mais condicionado à luz solar durante o período integral do dia, pois a localidade da mesma não dispõe de arborização necessária para sombrear tal elemento em partes do dia. Vasconcelos e Brambilla (2011) ressaltam que a radiação solar influencia diretamente na superfície do material metálico, e propicia intervalos de seco e molhado, além disso a elevação da temperatura pode aumentar ou reduzir a corrosão por secagem, o que acarreta o envelhecimento do material.

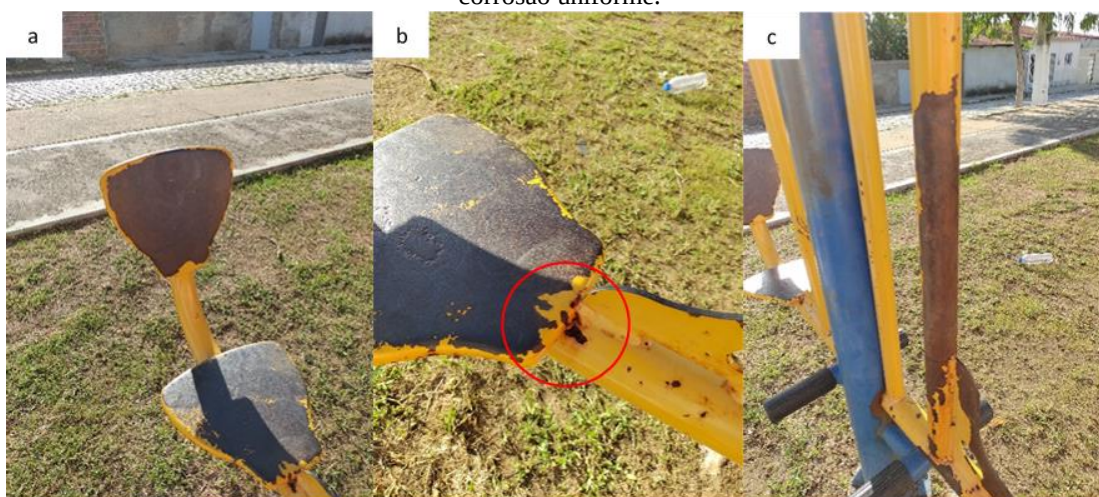
Para o aparelho de bicicleta de cadeira individual a solução é utilizar o processo de revestimento orgânico, conforme supracitado anteriormente. Desta forma, para a base do aparelho, recomenda-se bases poliméricas afim de evitar o contato entre o metal e o concreto da base de apoio do aparelho.

5.5 PRESSÃO DE PERNAS DUPLO

Para o equipamento de pressão de pernas duplo, identificou-se duas formas de corrosão por toda extensão das estruturas metálicas, sendo elas, corrosão uniforme e a corrosão alveolar, respectivamente, conforme são observados nas Figuras 36 (a), (b) e (c). A análise visual da

corrosão uniforme presente neste equipamento é bastante discrepante, visto que esse processo provavelmente pode ter ocorrido devido a rotatividade de usuários utilizarem o assento para descanso, e o tubo frontal como apoio de equilíbrio. No entanto, na realização das atividades físicas que possibilita um contato com as estruturas do equipamento, os usuários previamente produzem líquidos transpirantes, mais conhecido como suor, que segundo Gnecco (2003) o suor apresenta-se um pH entre 4,5 e 7,5 sendo eliminado através dos poros da pele. Dessa maneira, a presença do suor nas mãos dos usuários ou agregadas em suas vestimentas fazem com que ocorra o processo corrosivo após a imersão desse contato.

Figura 36: Equipamento de pressão de pernas duplo, a) cadeira de assento com corrosão uniforme, b) região superior de assentamento do equipamento com corrosão alveolar, c) barra frontal de apoio para as mãos com corrosão uniforme.

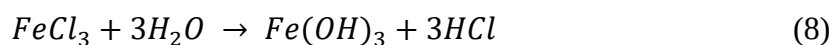


Fonte: AUTOR, 2022.

Segundo Vicente (2020), o contato entre componentes metálicos e o suor humano que é produzido pelas glândulas sudoríparas do corpo, acontece frequentemente na utilização de ferramentas e equipamentos. Entretanto, devido o suor ter uma composição ácida e salina, o mesmo pode atuar como meio corrosivo nos metais, promovendo sua degradação. Desse modo, ao produzir o contato com a presença do suor em uma determinada superfície metálica coberta por revestimento de pintura, pode-se gerar manchas que causam bolhas nas tintas e aceleram o processo de corrosão.

Desse modo, a concentração de sais dissolvidos (íons) na água tem-se influência de forma direta na capacidade da água em absorver oxigênio, uma vez que o aumento da salinidade diminui a solubilidade do oxigênio (O_2) presente na água (FILHO & FIORUCCI, 2005). Para Gentil (2011), alguns tipos de sais são eficientemente agressivos e podem acelerar o processo

da corrosão, como o cloreto de ferro ($FeCl_3$), que ao reagir com água (H_2O) tem-se a produção do ácido clorídrico (HCl), de acordo com a reação da Equação (8).



Ainda assim, o mesmo equipamento apresenta-se outras formas de corrosão na estruturação da superfície metálica, dentre elas, podem ser identificadas a corrosão, uniforme, por pites, e a galvanização nos parafusos do equipamento, conforme a demonstração da Figura 37 (a) e (b). Esse processo da corrosão por pites pode ter sido ocasionado pelas condições climáticas que favorecem o avanço da proliferação dessa forma corrosiva na superfície do material, devido as trocas eletrolíticas do ferro (Fe) com elementos presentes na atmosfera. De acordo com Gentil (1996), essa forma é uma corrosão localizada que se caracteriza por uma perfuração no material metálico, com furos de pequenos diâmetro, onde na maioria dos casos, são encontradas em aços inoxidáveis.

Figura 37: Equipamento de pressão de pernas duplo, a) região superior do lado esquerdo do assento com corrosão uniforme e galvanizada, b) região superior do lado direito do assento com corrosão uniforme, por pites e galvanizada.



Fonte: AUTOR, 2022.

No equipamento de pressão de pernas duplo a solução ideal para o problema é a utilização fundamental do processo de revestimento anticorrosivo, seguido rigorosamente dos passos para a aplicação correta da mesma, conforme ilustrada no item 3.6.1.

5.6 PUXADOR PEITORAL DUPLO

Ao ser analisado o aparelho puxador peitoral duplo averiguou-se diversas formas corrosivas presente no equipamento, de acordo com a Figura 38, em que é perceptível a corrosão alveolar, uniforme, galvanização, em torno da solda, assim como as suas causas, por atrito e tensão, que são ocorridas pelo detrimento das forças exercidas pelos usuários e/ou pelas ações intempéries que favorecem o surgimento dessas causas pelo processo corrosivo no equipamento.

Na Figura 38 (a) é evidenciado uma corrosão em torno do cordão de solda, e a galvanizada com agressividade nos parafusos que estão em contato com a chapa metálica do aparelho, sendo um processo favorável para a ocorrência desse fenômeno corrosivo quando se tem dois materiais diferentes. Pode-se perceber a corrosão uniforme que se caracteriza em grande parte das peças que compõe a área de rotação do equipamento, sendo que, essa forma corrosiva pode ter sido ocasionada pelos esforços mecânicos que foram desenvolvidos pela decorrência do uso constante desses aparelhos nas atividades físicas, como também, a associação da existência do atrito das partes que constituem ao movimento de rotação, em que ao atritarem, provoca um desgaste metálico levando-se ao aparecimento de folgas entre as superfícies de contato do aparelho. Desse modo, segundo Gentil (2007), a deterioração de um determinado material metálico pode estar aliada ou não a esforços mecânicos causados pelo atrito.

Figura 38: Aparelho puxador peitoral duplo, a) região superior do lado direito de rotação do equipamento com corrosão uniforme, galvaniza e em torno do cordão de solda, b) região frontal de acostamento do assento com corrosão alveolar e uniforme, c) região inferior frontal da base do assento com corrosão em torno do cordão de solda e uniforme, d) assento do equipamento com corrosão uniforme.



Fonte: AUTOR, 2022.

Todavia, na Figura 38 (b) verifica-se o surgimento da corrosão uniforme e alveolar na superfície metálica do encosto do assentamento do aparelho, sendo que, o fenômeno corrosivo alveolar apresenta-se na formação de furo com um diâmetro maior do que a sua profundidade. Esse processo provavelmente foi ocasionado em detrimento das condições atmosféricas como a chuva ou o sol. Na Figura 38 (d) apresenta-se uma corrosão uniforme com um maior grau de corrosão, a nível visual, assim como também, é notório o rompimento da parte do assento que possivelmente foi ocasionado por fatores mecânicos como, sob tensão, originado pelo fato do aparelho receber uma carga considerada alta em relação a carga que é destinada a ser suportada, visto que, essa carga de alta agressividade pode ter sido aplicada pelos usuários ao realizarem as atividades físicas. Desse modo, de acordo com Mariano (2002), a corrosão sob tensão é um processo resultante do contato simultânea entre um material metálico que é submetido a níveis de tensão e um meio de agressividade relativa, provocando-se o surgimento de micro trincas levando o material à fratura precoce.

Com relação a Figura 38 (c) fica evidenciado o possível processo de desgaste por meio do fenômeno corrosivo em torno da solda e uniforme, uma vez que, o equipamento não possui uma fixação própria da base, evidenciando ainda mais a exposição do material ao meio corrosivo. Consequentemente, esse fenômeno decorre-se do mal uso do aparelho pelos usuários que praticam atividades físicas, da exposição ao sol, e o acúmulo de água da chuva quando não se havia uma base provisória para o próprio aparelho, assim como também, a ação desse processo corrosivo pode ter sido decorrente pela causa dos fatores mecânicos, como aplicação de uma tensão superior ao suportado pelo mesmo.

Além disto, é visível a identificação pela análise fotográfica na Figura 39, uma evolução da corrosão ao passar do tempo pela mudança climática e as ações intempéries (chuva, vento, temperatura etc.), que entram em contato com a base do equipamento na parte inferior provocando o processo de corrosão em suas áreas compostas. A Figura 39 (a) e (b) ilustram a presença da corrosão uniforme, galvanização, por placa e em torno do cordão de solda, assim é nítido a identificação do avanço da forma corrosiva por placas, como também, de maneira gradativa, o desencadeamento da forma corrosiva uniforme entorno do ponto de fixação da junção do equipamento. No entanto, esse avanço do processo analisado é diagnosticado na Figura 39 (b) a partir do período final de acompanhamentos nos três últimos meses (90 dias), podendo-se ser comparativo com a Figura 39 (a) que é designado pelo acompanhamento inicial dos três primeiros meses (90 dias).

Figura 39: a) base de apoio estrutural do aparelho puxador peitoral duplo nos primeiros três meses (90 dias) de acompanhamento, b) base de apoio estrutural do aparelho puxador peitoral duplo nos últimos três meses (90 dias) de acompanhamento.



Fonte: AUTOR, 2022.

Desse modo, como supracitado anteriormente, as causas evolutivas desses processos corrosivos diante do equipamento estão associada com as mudanças climáticas da estação do ano como o verão e inverno, denominados em períodos mais quentes e chuvosos. Assim, de acordo com Souza (1998), além do clima que faz construções de pequeno a grande porte sofrerem com mudanças de temperatura, chuvas, poluições e ambientes agressivos, fatores como falhas de projeto, erros de fabricação, problemas na montagem devido negligência quanto ao controle de qualidade e falta de manutenção, são causas primordiais para o surgimento de patologias nas edificações metálicas.

Para o aparelho puxador peitoral duplo recomenda-se a utilização de inibidores corrosivos, suprimindo as reações eletroquímicas corrosivas que irão funcionar como uma barreira contra corrosão. Na parte do assento do aparelho, a solução ideal é a sua substituição, visto que a mesma apresenta-se bastante desgastada. Em relação a base de sustentação da estrutura do aparelho, propõe-se utilizar o processo de revestimento orgânico o quanto antes, já que a mesma apresenta um avanço evolutivo da corrosão conforme diagnosticado durante o acompanhamento.

5.7 MASSAGEADOR DUPLO

O equipamento massageador duplo apresentou duas formas corrosivas diante da demonstração da Figura 40. A corrosão uniforme é bastante presente no equipamento conforme a ilustração da Figura 40 (a), (c) e (d), podendo verificar que, na Figura 40 (c), também efetiva-se a possível iniciação do processo de corrosão em torno do cordão de solda e a galvanização nos parafusos que compõe o equipamento, assim como também na Figura 40 (d), ilustra-se a presença do processo corrosivo por galvanização. Todavia, na Figura 40 (a), denota-se a corrosão uniforme, e uma das causas identificadas pelo o processo da manifestação dessa patologia no equipamento provavelmente foi ocorrido devido aos usuários utilizarem a barra lateral como apoio ao realizarem as atividades físicas, mantendo-se um contato físico com presença do suor nas mãos ao praticarem esses exercícios físicos com o equipamento, fazendo com que ocorra o processo de corrosão. Desse modo, evidentemente, o suor é considerado como um agente de responsabilidade pelo processo corrosivo no bastão de apoio, pelo fato de ser uma reação espontânea e conter a presença de sais eficientemente agressivos, como é evidenciado na reação da Equação (8).

Figura 40: Equipamento massageador duplo, a) região posterior do lado direito com corrosão uniforme, b) região posterior do lado esquerdo com corrosão uniforme e em torno do cordão de solda, c) região da base do lado direito com corrosão uniforme, galvanização e em torno do cordão de solda, d) região superior do equipamento com corrosão uniforme e galvanização.



Fonte: AUTOR, 2022.

Entretanto, na Figura 40 (b) é possível identificar a forma corrosiva através da análise visual, por meio da fotografia, que há uma ocorrência da manifestação do processo corrosivo uniforme e em torno do cordão de solda. Esse processo em torno do cordão de solda possivelmente aconteceu devido a uma diferenciação na concentração de íons de ferro (Fe) decorrente do excesso de alta temperatura no processo de soldagem. Conforme Pereira (2013), a corrosão em torno dos cordões de solda ocorre especificamente em aços inoxidáveis não estabilizados. Assim como também essa forma corrosiva pode-se ter sido ocasionada pelo fato das ações intempéries, em que a mesma interfere também nas mudanças nocivas da composição dos moldes à base de polipropileno, sofrendo um desgaste com presenças de rachaduras que possivelmente foi ocorrido pela ação da mudança de clima, ou seja, durante o verão, conforme evidenciado na Figura 40 (b).

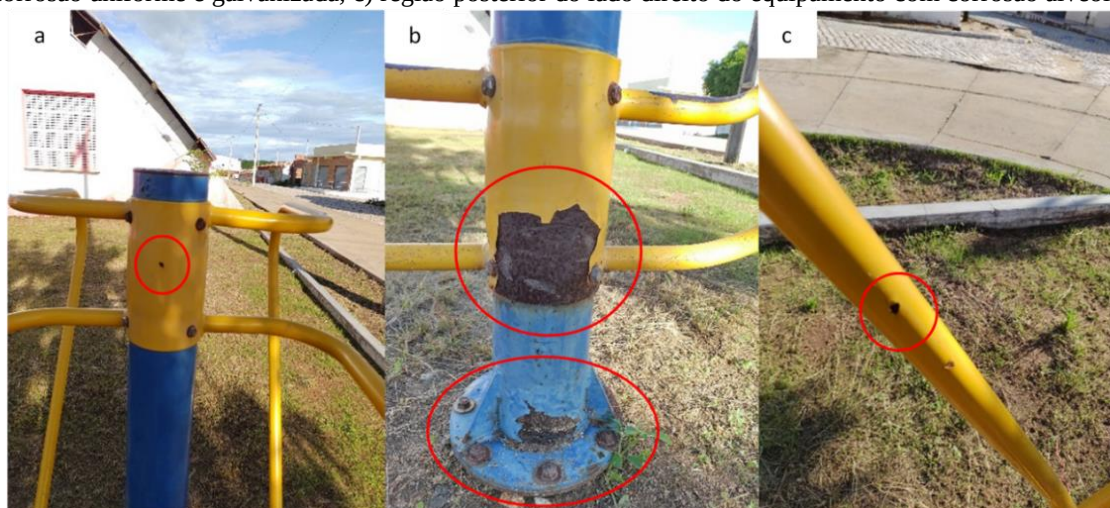
Para o equipamento massageador duplo é possível utilizar o processo de revestimento orgânico, de acordo com a descrição das etapas no item 3.6.1. Desse modo, recomenda-se essa

solução devido esse processo instaurar uma barreira que impede a transferência de cargas eletroquímicas, evitando-se assim, o contato do ar e da umidade com a superfície do aparelho.

5.8 PARALELA DUPLA

O aparelho paralela dupla apresenta-se em um estado corrosivo consolidado como menos agressivo, após a análise fotográfica, conforme a exposição da Figura 41 (a). No entanto, o equipamento detém-se de seus tubos de aço em quase perfeitas condições, apenas com uma pequena presença da forma corrosiva uniforme, podendo-se ser tratada o mais previamente possível para que a mesma não se manifeste de maneira agressiva e danifique o aparelho.

Figura 41: Aparelho paralela dupla, a) região frontal com corrosão uniforme, b) região posterior da base com corrosão uniforme e galvanizada, c) região posterior do lado direito do equipamento com corrosão alveolar.



Fonte: AUTOR, 2022.

Os possíveis surgimentos das formas corrosivas presente no aparelho são de forma uniforme, galvanização e alveolar. A presença do processo corrosivo uniforme e galvanizada está mais evidenciado na base do aparelho, em que possivelmente aconteceu devido as ações das chuvas, raios solares e até a presença de sujeiras, podendo acelerar ainda mais o processo de corrosão, conforme a Figura 41 (b). O surgimento da forma corrosiva alveolar no aparelho, ainda não é evidenciado em grande escala, em que o mesmo apresenta apenas um pequeno furo de uma profundidade inferior ao seu próprio diâmetro, de acordo com a Figura 41 (c). Mas, essa forma corrosiva não sendo reparada, consequentemente pode se agravar com o passar do tempo.

Maia (2020) também verificou, nos aparelhos de academia ao ar livre, a presença da forma corrosiva alveolar ocasionada possivelmente pela exposição a intempéries e esforços

mecânicos, ao trabalhar com a análise da corrosão em uma praça da cidade de Pau dos Ferros – RN.

Para o aparelho paralela dupla, a solução recomendada é o revestimento orgânico na base de sustentação da estrutura do aparelho. Em relação a parte dos tubos que encontra-se em estado menos agressivo do processo corrosivo, também é recomendado a aplicação do mesmo revestimento de tinta orgânica, afim de remover o produto da corrosão presente em poucas quantidades no aparelho.

Desse modo, a partir do triângulo corrosivo em que se tem um conhecimento prévio à cerca dos elementos que atuam diretamente no processo corrosivo do ambiente, proporcionou a identificação do processo de corrosão e as suas necessidades exigidas para cada caso específico, e uma devida recuperação através de manutenções periódicas por revestimento nos equipamentos, ou substituições de peças em que não apresentam mais funcionalidade, encontradas em estado de maior desgaste.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos fatos evidenciados na presente pesquisa, pôde-se averiguar que a corrosão está associada a deterioração dos materiais, que são frequentemente presente em materiais metálicos. Contudo, este fenômeno ocorre de forma espontânea e está comumente presente em nosso cotidiano.

Por meio dos registros fotográficos, foi possível constatar que a academia ao ar livre no ginásio poliesportivo João Nazário do município de Rodolfo Fernandes/RN, apresenta relevância nas formas corrosivas como, uniforme, puntiforme ou por pites, galvânica, em torno do cordão de solda, alveolar e por placas, assim como também, a existência do processo corrosivo pelos fatores mecânicos, sob tensão e por atrito, em que grande parcela da sua existência é devido as ações intempéries e o mal uso dos usuários. Os quais foram possíveis serem identificados, analisado a sua origem determinante, e realizado a classificação quanto a tipologia de cada caso. Assim como também, foi possível desenvolver um levantamento de técnicas aplicáveis para a sua prevenção e tratamento.

Mediante o uso das análises fotográficas, da listagem de verificação, das observações efetuadas e dos resultados obtidos, percebe-se o avanço da presença do processo corrosivo ocasionando perdas nos equipamentos da academia ao ar livre, devido a vários fatores de esforços mecânicos e ações intempéries, como a chuva, raios solares, umidade, mudança de temperatura, e etc. Tal como, pela presença dos sais no suor das mãos transmitidos pelos usuários que, de certa forma, desfrutam desses aparelhos.

Em decorrência dos resultados obtidos em cada equipamento na presente pesquisa, a presença de corrosão nos aparelhos analisados denotam uma necessidade no seu tratamento, com relação ao esqui individual, bicicleta de cadeira individual, pressão de pernas duplo, massagador duplo, paralela dupla, fazendo-se necessário o uso de revestimentos orgânicos como forma de retardar o progresso desse fenômeno.

Por outro lado, devido o avanço dos processos corrosivos de alguns casos identificados durante as análises de acompanhamento, como o espaldar, o elíptico mecânico individual e o puxador peitoral duplo, é apropriado que estes equipamentos que apresentam o avanço desse fenômeno sejam providenciado um tratamento imediato, considerando-se que, para todos os casos deve haver manutenções periódicas a fim de preservar a estrutura metálica.

Desse modo, nesta pesquisa foi possível construir o triângulo de corrosão através da identificação dos três parâmetros, o meio, o metal e as condições operacionais, proporcionando um maior levantamento do conhecimento de técnicas adequadas de proteção, a fim de

minimizar ou até mesmo eliminar possíveis deteriorações destes aparelhos provocados pelo processo da corrosão.

Sugere-se como trabalhos futuros, a continuidade do estudo presente, bem como a efetuação de análises sobre as características do solo e a topografia da região estudada. Assim, ainda é sugerido ensaios de corrosão para um panorama completo das características dos processos corrosivos sobre o metal, análises de microscopia ótica para a melhor identificação da corrosão, além de análise metalográfica para o melhor estudo da morfologia e estrutura dos metais, e a execução de análise da taxa de penetração da corrosão (TPC) para o cálculo da taxa de corrosão.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT **NBR 15156:2004**. Pintura industrial – Terminologia. Industrial paint – Terminology. Palavra-chave: Pintura. Descriptor: Painting. ICS 01.040.87. p. 8. 2004.

AHMAD, ZAKI. **Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control**. 1ed. USA. Elsevier ltd. 656p. 2006.

ALVES, Ferdinando Pismel; **Corrosão, causa, proteção e seus prejuízos**, 2018. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/corros%C3%A3o-causa-prote%C3%A7%C3%A3o-e-seus-preju%C3%ADzos-ferdinando-pismel-alves/?originalSubdomain=pt>>. Acesso em: 18 jan. 2022.

ARRUDA, E. **Estudo comparativo do processo corrosivo do aço patinável e do aço carbono comum**. Belém 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14643**. Corrosão atmosférica – Classificação da corrosividade das atmosferas. Rio de Janeiro: ABNT. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2008**: Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2 ed. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008. 237 p.

BAPTISTA, Walmar; CASTINHEIRAS, Wilson G. C; **Corrosão e Proteção Catódica**. In: FREIRE, José Luiz de França; Engenharia de Dutos. Rio de Janeiro: Transpetro; ABCM, 2009. Cap 13 p.13.1-13.16.

BARRA, Vitor Gomes Melo. **Estudo e análise corrosiva nos equipamentos de uma academia ao ar livre na cidade de Severiano Melo – RN**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação): Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Pau dos Ferros. 62p. 2021.

BESSA, Antonio Ronivon de Oliveira. **Manifestações patológicas em estrutura metálica: Um estudo de caso da corrosão, causas e consequências em pilares treliçados na cidade de Água Nova-RN**. 2019. 73p. Monografia: Bacharel em Engenharia Civil - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2019.

BRAMBILLA, K. J. C. **Investigação do grau de corrosividade sobre materiais metálicos das redes aéreas de distribuição de energia elétrica (RD) da região metropolitana de Salvador - BA**. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

BRINCK, Fabiana Malta; CÂNDIDO, Luiz Cláudio; NEVES, Francisco de Assis das. **Avaliação da Integridade Estrutural da Ponte Marechal Hermes - Rio São Francisco/MG**. 2005. 4 f. Deciv/ufop, Ouro Preto, 2005.

CAERN - Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. **Carta de serviços ao cidadão**. Disponível em: <<https://agencia.caern.com.br/assets/documentos/novos/carta-de-servicos-aos-cidadaos.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2022.

CALLISTER, Willian D. Jr. e RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. 8ª ed. Rio de Janeiro. Ed. LTC, 2010.

CARDOSO, Renata. **Pintura para metais como proteção anticorrosiva**. Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CARVALHO, Carla Caroline Alves; DA SILVA, Manoel Mariano Neto; GOMES, William Vieira; JUNIOR, Almir Mariano de Sousa; LIMA, Daniela De Freitas. **Análise do processo corrosivo sofrido nos equipamentos e tubulações do reservatório de abastecimento hídrico da cidade de Pau dos Ferros/RN**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Rafain Palace Hotel & Convention Center - Foz do Iguaçu – PR, 2016.

CASIMIRO, Paulo Jorge Nico. **Materiais de contacto com água para consumo humano, mecanismos de degradação e contaminação**. Dissertação: Mestre em Engenharia dos Materiais - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2010.

CASTRO, E. M. C. **Patologia dos Edifícios em Estrutura Metálica**. Orientador: Ernani Carlos de Araújo. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, 1999. Disponível em: <https://repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6247/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_PatologiaEdif%C3%ADciosEstrutura.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2022.

COELHO, Pedro; **Diferentes tipos e formas de corrosão**, 2015. Disponível em: <<https://www.engquimicasantosp.com.br/2015/06/diferentes-tipos-e-formas-de-corrosao.html>>. Acesso em: 16 jan. 2022.

COLARES, R. P.; MURCHIE, H. M.; VASCONCELOS, R. P. **Identificação e análise de manifestações patológicas em estruturas metálicas dos terminais de ônibus na cidade de Manaus**. 2021. CONPAT2021, Brasil, vol. 1. DOI: <https://doi.org/10.4322/conpat2021.573>.

COMIM, K. W.; ESTACEHEN, T. A. C. **Causas e alternativas de reparo da corrosão em armaduras para concreto armado**. Construindo, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p.36-47, dez. 2017.

COUTINHO, Rosemary. **O Que É Corrosão Eletroquímica; O Pintor Consultoria**, 2021. Disponível em: <<https://opintorconsultoria.com/o-que-e-corrosao-eletroquimica/>>. Acesso em: 13 jan. 2022.

DA LUZ, Ederson Gean. **Monitoramento da corrosão no aço carbono sae 1020, aço galvanizado, alumínio e cobre, considerando as condições climáticas serranas e litorâneas de santa catarina**. 2018. 65p. Monografia: Bacharel em Engenharia Mecânica - Centro Universitário Unifacvest, Lages – SC, 2018.

DE CIRIA, Carlos Paseiro. **Corrosão filiforme, da origem à prevenção**. Portal TS, 2019. Disponível em: <<https://www.portaltts.com.br/corrosao-filiforme-da-origem-a-prevencao>>. Acesso em: 16 jan. 2022.

EMÍDIO, G. **Influência da Atmosfera Marinha Sobre Chapas de Aço Revestidas**. 2018. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Balneário Camboriú, 2018.

EMPARN - Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. **Relatório pluviométrico**. Disponível em: <<http://meteorologia.emparn.rn.gov.br/relatorios/relatorios-pluviometricos>>. Acesso em: 27 jan. 2022.

FILHO, Carlos Augusto Bonifácio Pires et al. **Corrosão em estruturas metálicas – Estudo de caso**. Revista Educação, Meio Ambiente e Saúde, Manhauçu, v. 8, n. 2, p.25-42, jul. 2018.

FILHO, E. B; FIORUCCI, A. **A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos**. Química nova na escola, n. 22, 2005.

FINAMORE, D. J. **Avaliação da corrosão uniforme e puntiforme em meio aquoso aerado utilizando a técnica de cupons de perda de massa / Dilhermando José Finamore. – Campos dos Goytacazes**, 2016. xxi, 120 f. : il. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados. Campos dos Goytacazes, 2016.

FLORES, Inês; BRITO, Jorge de. **Patologia e reabilitação de construções em estrutura metálica**. Apontamento da Cadeira de Reabilitação de Edifícios. Agosto de 2005.

FLORIDO, W. L.; FREIRE, A. S. **Controle da corrosão nos dutos da indústria do petróleo**. Dissertação (curso superior de tecnologia em manutenção industrial) - Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2016.

FRAUCHES-SANTOS, C. et al. **A corrosão e os agentes anticorrosivos**. Revista Virtual de Química, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p.293-309, abr. 2014.

GAMA, Aliny. **Bombeiros encerraram os resgates ao encontrar a nona vítima, 2019**. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2019/10/19/bombeiros-localizam-corpo-de-sindica-nos-escombros-de-predio-em-fortaleza.htm>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

GENTIL, V. **Corrosão**. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GNECCO, C. **Tratamento de superfície e pintura** / Celso Gnecco, Roberto Mariano, Fernando Fernandes. -- Rio de Janeiro: IBS/SBCA, 2003. 94 p.; 29cm. -- (Série Manual de Construção em Aço) Acesso em: 14/05/2021.

GILBERT, J., JACOBS, J. **The Mechanical and Electrochemical Processes Associated with Taper Fretting Crevice Corrosion: A Review**. In: Intergovernmental Panel on Climate Change, editor. Modularity of Orthopedic Implants [Internet]. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959: ASTM International; p. 45-45-15; 1997.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: Pini LTDA, 1986.

HIGASHI, M. M. Y. **Reforço em estruturas de betão armado com chapas de aço**. **Orientador: Prof. Doutor Carlos Filipe Guedes Rodrigues**. 2016. 83 p. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre Em Engenharia Civil – Ramo De Estruturas. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Disponível em: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/9171/1/DM_MarcosHigashi_2016_MEC.pdf. Acesso em: 21 jan. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e estados: Rodolfo Fernandes**. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/rodolfo-fernandes.html>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

ISTOÉ. **Piscina desaba sobre garagem após estrutura ser corroída por infiltração**, 2022. Disponível em: <<https://www.istoedinheiro.com.br/piscina-desaba-sobre-garagem-apos-estrutura-ser-corroida-por-infiltracao/>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

ITM, São Paulo: Nexa Resources Promove Batalha Da Galvanização. **IN THE MINE**, [s.i], 21 de set. 2020. Disponível em: <<https://www.inthemine.com.br/site/nexa-resources-promovebatalha-da-galvanizacao/>>. Acesso em: 18 jan. 2022.

JANUÁRIO, Marcelo; FOGAÇA, Melina; GRAMPA, Renato L.; VELOSO, Norwil; **Aço na construção**, 2017. Disponível em: <<https://grandesconstrucoes.com.br/Materias/Exibir/brasil-perde-4-do-pib-com-corrosao>>. Acesso em: 18 jan. 2022.

JÚNIOR, Aury Paulino de Araújo. **Análise dos processos corrosivos na barragem capivara em Uiraúna-PB**. 2019. 69p. Monografia: Bacharelado em Ciência e Tecnologia - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2019.

LAKATOS, E. M. et al. **Metodologia científica**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MAGALHÃES, Fátima Cristina; BATISTA, Walmar; OLIVEIRA, Mônica de Penna; DOMINGOS, Edilson da Silva; BARRETO, Herval de Oliveira e CARLOS, José Moreira da Costa. **Critérios para avaliação da corrosividade de solos por bactérias redutoras de sulfato**, In: 6º Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos (COTEQ), Salvador – Brasil, 2002.

MAGNAN, M. de C. **Pintura na Proteção Anticorrosiva**. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011.

MAIA, Ana Luiza Elias. **Análise da corrosão em uma praça da cidade de Pau dos Ferros – RN**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação): Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Pau dos Ferros. 53p. 2020.

MARIANO, N. A. **Suscetibilidade a corrosão sob tensão por deslocamento constante**. Universidade São Francisco: Engenharia e Ciência dos Materiais. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais. Natal. 2002.

MENDONÇA, R. J. CAMPOS, A.F. JÓFILI, Z.M. S. **O conceito de oxidação-redução nos livros de Química Orgânica do Ensino Médio**. Química Nova na Escola. n.20, p. 45-48, 2004.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P.I.C.; MAINER, F.B. **Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico**. Química Nova na Escola, n. 19, p. 11-14, 2004.

NASCIMENTO, F. B. C.; SOARES, A. P. F.; VASCONCELOS, L. T. **Corrosão em armaduras de concreto**. Ciências exatas e tecnológicas. Maceió. v. 3. n.1. p. 177-188. nov. 2015.

NETO, Luiz Vitorino Dantas. **O processo de corrosão e a proteção catódica**. 2016. 56p. Monografia: Curso de Aperfeiçoamento para Oficial de Máquinas - Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. Rio de Janeiro. 2016.

NUNES, L. P; LOBO, A. C. O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990.

OLIVEIRA, Antônio Roberto de. **Corrosão e tratamento de superfície**. Belém: IFPA; Santa Maria: UFSM, 104p. 2012.

OSTROSKI, Vanessa Cunha. **Avaliação da velocidade de corrosão nos equipamentos portuários**. Rev. Gestão & Sustentabilidade Ambiental. Florianópolis, v. 8, n. 1, p.848-880, jan/mar. 2019.

PANNONI, Fábio Domingos. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. [S. l.: s. n.], 2002.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 6ª ed. Gerda, 2015.

PANOSSIAN, Zehbour. **Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas**. IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo 1993.

PEREIRA, A. P. **Resistência a corrosão de aços austeníticos utilizados em meio a glicerina ácida em uma planta de produção de biodiesel**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Química) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2013.

PINHO, F. O. **Quando construir em aço?**. Técnica, São Paulo, 01 maio 2008.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação**. 2006. Dissertação (Especialização em Avaliação e perícia) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

RAHIM, A. A. **Caractérisations physico-chimiques des tannins de Mangrove comme inhibiteurs de corrosion**. França. 2005. 230p. Tese (Doutorado em Química dos Materiais) Physique et Chimie de la Matière et des Matériaux. Universidade Henri Poincaré Nancy-I, França. 2005.

RANI, B. E. A.; BASU, B. B. J. **Green Inhibitors for Corrosion Protection of Metals and Alloys: An Overview**. International Journal of Corrosion, p. 1-15, 2012.

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

ROBERGE, Pierre R.; **Corrosion Engineering Principles and Practice**. 1ed. Estados Unidos: The McGraw-Hill Companies Inc, 754p. 2008.

ROBERGE, Pierre R. **Handbook of Corrosion Engineering**. Estados Unidos: The McGraw-Hill Companies Inc, 1999.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SERRA, A. H. GARRIDO FERREIRA. **Análise de patologias em estruturas construídas em ambiente marítimo**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2009.

SILVA, M.L.D. **Análise de dutos metálicos com defeitos de corrosão**. Tese de D. Sc., PGMEC/UFF, Niterói, RJ, Brasil, 2011.

SOUZA, V. C. M. de; Ripper, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Ed. Pini, 1998.

TALBOT, David; TABOLT, James; **Corrosion Science and Technology**. 2ed. Boca Raton: CRC Press LLC. 552p. 1998.

TOLENTINO, N. M. **Processos Químicos Industriais: Matérias-primas, técnicas de produção e métodos de controle de corrosão**. São Paulo: Érica, 2015.

TOMASHOV, N.D. CHERNOVA, G.P. **Passivity and Protection of Metals Against Corrosion**. Plenum Press, New York, 1967.

VASCONCELOS, J. S. de; BROSEGUINI, M. **Estudo de caso: Corrosão em tubulação de aço carbono provocado por água doce**. 2013. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

VICENTE, Francsico Alves. **Avaliação da resistência à corrosão do aço SAE 1020 Nitretado e com filme de DLC, utilizando-se como soluções eletrolíticas suor artificial e NACL 3,5**. Monografia: Curso de Graduação em Engenharia de Materiais - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2020.

WOLYNEC, S. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão**, Edusp. 2003.