



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

JOÃO CESÁRIO GOMES NETO

**ESTUDO DO PROCESSO CORROSIVO NA PONTE DO DISTRITO DE SÃO
GONÇALO NA CIDADE DE SOUSA-PB**

PAU DOS FERROS

2022

JOÃO CESÁRIO GOMES NETO

**ESTUDO DO PROCESSO CORROSIVO NA PONTE DO DISTRITO DE SÃO
GONÇALO NA CIDADE DE SOUSA-PB.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias

PAU DOS FERROS

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.

C421e Cesário, João .
ESTUDO DO PROCESSO CORROSIVO NA PONTE DO
DISTRITO DE SÃO GONÇALO NA CIDADE DE SOUSA-PB /
João Cesário. - 2022.
36 f. : il.

Orientadora: Sanderlir Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de --Selecione um
Curso ou Programa--, 2022.

1. Corrosão . 2. Ponte metálica. 3. Métodos
anticorrosivos. 4. Materiais metálicos. I. Silva,
Sanderlir , 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.

JOÃO CESÁRIO GOMES NETO

**ESTUDO DO PROCESSO CORROSIVO EM UMA PONTE NO DISTRITO DE SÃO
GONÇALO NA CIDADE DE SOUSA-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 25 / 11 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias (Orientadora)

Dra. Arnayra Sonayra de Brito Silva Carreiro (1ª Examinadora)

Dra. Tycianne Janyne de Oliveira Cabral (2ª Examinadora)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças todo esse tempo para enfrentar todas as dificuldades nessa caminhada da jornada acadêmica, que serviram como aprendizado.

À minha mãe, Redjane Xavier Gomes Lopes, minha maior inspiração e que me incentiva todos os dias a lutar pelos meus objetivos de vida.

Ao meu pai, José Ilson Lopes Calado, que é meu espelho de homem batalhador, no qual me inspiro e almejo ser como ele algum dia.

Aos meus irmãos, José Ilson Lopes Calado Júnior e Paulo Victor Gomes Calado, que mesmo longe se fazem presentes todos os dias, e espero incentivá-los, sempre prezando pelos estudos.

Aos meus avôs José Lopes, Ilza Calado, Rita Xavier (in memoria) e João Cesário (in memoria) que me ensinaram valores importantes e contribuíram com minha educação.

Aos meus padrinhos Levi Dantas e Janailza Calado pelo apoio e torcida por mim desde o começo.

À minha namorada, Laura Beatriz Arruda da Silva, por ser minha maior incentivadora e sempre acreditar em mim. Obrigado toda compreensão, companheirismo e estar ao meu lado durante todos os momentos e decisões.

À minha família e amigos, meu muito obrigada por sonharem junto comigo por esse momento. E que seja apenas o começo dessa longa jornada.

À minha orientadora Dra. Sanderlir Silva Dias, pela paciência e tempo disponibilizado nesse trabalho, assim como também os ensinamentos passados em sala de aula e à UFERSA por ter me proporcionado a graduação.

RESUMO

Uma das maiores preocupações dos engenheiros é a corrosão, principalmente na esfera industrial, que frequentemente causa paradas na produção. Por isso, é importante entender os tipos, formas e materiais que o processo corrosivo ocorre para encontrar uma maneira eficaz de combatê-los, aumentando a durabilidade do material e evitando perdas futuras. Nesse contexto, o presente trabalho realizou um estudo de caso realizou-se um estudo de caso das patologias causadas pela corrosão nos materiais metálicos da estrutura localizada no distrito de São Gonçalo na cidade de Sousa-PB. A visualização da estrutura por meio de registros fotográficos e revisão bibliográfica foram utilizados como metodologia para encontrar as causas, efeitos e soluções para as anomalias descobertas durante a inspeção. Ao fim, foi possível concluir que o ambiente ao qual a ponte se encontra é corrosivo e determinante para a corrosão lá encontrada, as principais formas de corrosão encontrada foram uniforme e em torno do corsão de solda. Também foi possível sugerir métodos de proteção eficazes, como o revestimento com tintas, além da galvanização dos materiais metálicos, para que assim seja possível prolongar os efeitos da corrosão e evitar gastos com manutenções frequentes.

Palavras-chave: Corrosão; Ponte metálica; Métodos anticorrosivos; Materiais metálicos.

ABSTRACT

One of the biggest concerns for engineers is corrosion, especially in the industrial sphere, which often causes production stoppages. Therefore, it is important to understand the types, forms and materials that the corrosive process occurs in order to find an effective way to combat them, increasing the durability of the material and avoiding future losses. In this context, the present work carried out a case study of the pathologies caused by corrosion in metallic materials of the structure located in the district of São Gonçalo in the city of Sousa-PB. Visualization of the structure through photographic records and bibliographic review were used as a methodology to find the causes, effects and solutions for the anomalies discovered during the inspection. In the end, it was possible to conclude that the environment in which the bridge is located is corrosive and determinant for the corrosion found there, the main forms of corrosion found were uniform and around the weld corrosion. It was also possible to suggest effective protection methods, such as coating with paints, in addition to galvanizing metallic materials, so that it is possible to prolong the effects of corrosion and avoid spending on frequent maintenance.

Keywords: Corrosion; Metal bridge; Anticorrosive methods; Metallic materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pilha de corrosão eletroquímica com dois eletrodos diferentes.

Figura 2: Metal desgastado devido a corrosão química.

Figura 3: Corrosão eletrolítica em tubos de aço-carbono provocada por corrente de fuga.

Figura 4: Formas de corrosão.

Figura 5: Corrosão uniforme.

Figura 6: Corrosão em placas.

Figura 7: Corrosão por pite.

Figura 8: Corrosão alveolar em tubo de aço-carbono.

Figura 9: Corrosão intergranular.

Figura 10: Corrosão transgranular em aço inoxidável.

Figura 11: Corrosão filiforme.

Figura 12: Corrosão por esfoliação.

Figura 13: Corrosão grafítica do ferro fundido.

Figura 14: Parte interna da válvula de latão apresentando corrosão por dezincificação.

Figura 15: Tubo de aço-carbono com empolamento pelo hidrogênio, ocasionado por H_2S e água.

Figura 16: Corrosão em torno de cordão de solda com formação de pites e/ou alvéolos.

Figura 17: Representação esquemática das tintas que compõem um esquema de tintura.

Figura 18: Ilustração do triângulo da corrosão.

Figura 19: Fluxograma.

Figura 20: Mapa panorâmico do Estado da Paraíba.

Figura 21: Vista da ponte A) Lateral; B) Frontal.

Figura 22: Corrimão A) Base sustentadora B) Extensão do corrimão.

Figura 23: Parte inferior da ponte A) Extensão da ponte; B) Vigas de aço; C) Aproximação da viga; D) Parafuso.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão de Águas
CEAM	Centro de Estudos de Estruturas de Aço e Misturas de Aço e Concreto
ET AL	Colaboradores
KM	Quilômetro
PB	Paraíba
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
e^-	Elétron
<i>Fe</i>	Ferro
H ₂	Hidrogênio
H ₂ O	Água
NaCl	Cloreto de sódio
O ₂	Oxigênio

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Reação de oxidação do ferro	32
Equação 2: Reação de redução do ar atmosférico	32
Equação 3 Reação global	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO	16
3.1	CORROSÃO	16
3.1.1.	Conceito de patologia.....	16
3.1.2.	Corrosão eletroquímica	16
3.1.3.	Corrosão química	17
3.1.4.	Corrosão eletrolítica	18
3.2.	FORMAS DE CORROSÃO	18
3.2.1.	Corrosão uniforme.....	19
3.2.2.	Corrosão em placas	20
3.2.3.	Corrosão por pites	20
3.2.4.	Corrosão alveolar	21
3.2.5.	Corrosão intergranular.....	21
3.2.6.	Corrosão transgranular	22
3.2.7.	Corrosão filiforme	22
3.2.8.	Corrosão por esfoliação.....	23
3.2.9.	Corrosão grafítica.....	24
3.2.10.	Corrosão por dezincificação	24
3.2.11.	Corrosão empolamento por hidrogênio	25
3.2.12.	Corrosão em torno de solda.....	25
3.3.	MEIOS CORROSIVOS.....	26
3.3.1.	Atmosfera	26
3.3.2.	Fontes naturais de água	26
3.3.3.	Solo.....	27
3.4.	MÉTODOS DE COMBATE À CORROSÃO.....	27
3.4.1.	Inibidores de corrosão	27
3.4.2.	Proteção catódica.....	28
3.4.3.	Proteção anódica.....	28
3.4.4.	Revestimento	28
4.	METODOLOGIA	30

4.1.	SÃO GONÇALO	30
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1.	MÉTODOS DE PROTEÇÃO CONTRA AS FORMAS DE CORROSÃO ENCONTRADAS.....	35
6.	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

Nos primórdios, as pontes surgiram de forma natural, sendo elas feitas de madeiras, possibilitando assim a travessia dos povos antigos à outra margem do rio. Com o passar do tempo e o aperfeiçoamento da tecnologia através do conhecimento do homem, as pontes foram ganhando mais durabilidade e resistência, aumentando o seu número de utilidade para travessia de carros e possibilitar a passagem de navegações sob a estrutura (BRINK, 2004).

Devido a fragilidade da madeira, abriu-se espaço para a construção das pontes com materiais mais resistentes. Durante o século XVIII, a Revolução Industrial teve como um marco importante o minério de ferro para construção de máquinas, embarcações e ferrovias, o que deu espaço também para a utilização do ferro nas construções. A primeira ponte com esse material construída no mundo foi em 1779 na cidade de Coalbrookdale, sobre o Rio Severn, na Inglaterra (CEAM-UFGM, 2013).

Assim como todos os materiais têm suas vantagens e desvantagens, os materiais metálicos são os mais sujeitos às ações da corrosão. Sendo esse um processo espontâneo e um problema que surge particularmente quando esses materiais entram em contato direto com um meio oxidante, tendo como resultado a degradação do material, diminuindo assim a sua durabilidade e desempenho da função, logo se medidas preventivas não forem tomadas, é possível ter como resultado a inutilidade do objeto e devido aos altos custos de recuperação, é mais aconselhável que todos os recursos que seriam utilizados para a substituição do material sejam utilizados desde o início em técnicas de prevenção de corrosão, como o uso de revestimentos e inibidores de corrosão. Em alguns casos, os materiais danificados podem custar de 20% a 50% a mais, dificultando sua restauração (MERÇON et al, 2004).

A corrosão é o processo de deterioração de um material, seja ele metálico ou não, decorrente da ação química ou eletroquímica do meio ao qual está submetido, seja relacionado a esforços mecânicos ou não. De um modo geral, esta ação do meio sobre um determinado material leva à sua degradação (GENTIL, 2011).

Nesse sentido, o trabalho irá realizar uma análise da corrosão da estrutura metálica da ponte localizada no distrito de São Gonçalo/Sousa-PB que interliga duas comunidades para a travessia apenas de pedestres passam águas da transposição do Rio São Francisco pelo Rio Piranhas, que é um dos principais meios oxidantes para a deterioração do ferro, por esse motivo a estrutura encontra-se em avançado estado de degradação por falta de manutenções preventivas causando assim ação corrosiva. Este estudo se propõe a realizar uma análise dos mecanismos

de corrosão e sugerir medidas de proteção que reduzam ou eliminem a ação corrosiva dos materiais encontrados na sua construção.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o processo corrosivo que acontece na ponte do distrito de São Gonçalo-Sousa/PB, identificando os tipos de corrosões presentes na estrutura, o nível de degradação e os agentes causadores, propondo possíveis soluções para minimizar ou prevenir a deterioração do material, a partir de vistorias e dados obtidos.

2.2 Objetivos específicos

- Compreender os processos corrosivos e suas causas;
- Avaliar os dados obtidos através de registros fotográficos da ponte de São Gonçalo/Pb;
- Identificar os tipos de corrosão nos materiais metálicos da ponte;
- Apresentar soluções para minimizar ou erradicar os danos.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 Corrosão

Segundo Gentil (2011) uma definição amplamente aceita de corrosão é a degradação de um material, tipicamente metálico, devido à ação química ou eletroquímica do ambiente que está relacionada ou não a esforços mecânicos. A degradação provocada pela interação físico-química entre o material e seu método operacional acarreta alterações desfavoráveis ao objeto, como resíduos, variações químicas ou modificações estruturais que o tornam impróprio para uso.

Em geral, as reações de corrosão são reações redox espontâneas nas quais um metal é atacado por uma substância em seu ambiente e transformado em um composto indesejável, impedindo que sua durabilidade e desempenho, atendam aos propósitos pretendidos. Nesse sentido é possível classificar corrosão em eletroquímica, química e eletrolítica (Brown et al, 2005).

3.1.1. Conceito de patologia

Para Helene (1993) o estudo dos sintomas, mecanismos, causas e origens dos defeitos de construção civil é conhecido como patologia, que é a compreensão dos diversos componentes que compõem o diagnóstico de um problema.

Souza e Ripper (1998) classificam o termo "patologia estrutural" como geralmente a área da engenharia de construção que se concentra na compreensão das causas, modos de manifestação, efeitos e mecanismos de ocorrência de defeitos estruturais e sistemas com mau funcionamento.

3.1.2. Corrosão eletroquímica

Para materiais metálicos, a corrosão normalmente toma a forma de uma reação eletroquímica na qual os elétrons são transferidos de um tipo de produto químico para outro. Caracteristicamente, no que é conhecido como reação de oxidação, os átomos dos metais perdem ou cedem elétrons (CALLISTER et al, 2021).

A corrosão eletroquímica se trata de uma reação espontânea, passível de ocorrer quando o metal está em contato com um eletrólito (uma solução aquosa que transporta íons). Esse processo pode ocorrer como resultado de reações anódicas e catódicas simultâneas, sendo mais

comum na natureza e distingue-se por desempenhar-se principalmente em presença de água, geralmente à temperatura ambiente (MERÇON et al, 2004).

Esse processo pode ocorrer quando um metal entra em contato com eletrólito ou quando dois metais diferentes entram em contato um com o outro na presença de um eletrólito. A diferença de potencial entre esses materiais produzirá uma corrente de elétrons que corroerá o metal mais frágil, ou seja, o ânodo, que tem a maior taxa de oxidação, perdendo seus elétrons à medida que são transferidos para o cátodo, metal que sofre redução e, como resultado, o ânodo sofre corrosão (Atom 2020). A Figura 1 ilustra como essa reação ocorre.

Figura 1: Pilha de corrosão eletroquímica com dois eletrodos diferentes.



Fonte: Atom (2020).

3.1.3. Corrosão química

A corrosão química, muitas vezes conhecida como corrosão seca por não necessitar de água, é a aplicação direta de um agente químico no material, sem a passagem de elétrons de uma área para outra. No caso de um metal, o processo envolve uma reação química entre a substância corrosiva e o metal, que causa a formação de um produto de corrosão na superfície do metal (MERÇON et al, 2004).

Na área de engenharia civil tem-se o concreto armado das construções que pode sofrer corrosão com o passar do tempo por agentes nocivos que podem ter em sua formação, silicatos, aluminatos de cálcio e óxido de ferro que são decompostos por ácidos. A Figura 2 demonstra como pode-se encontrar a corrosão química na estrutura de concreto armado.

Figura 2: Metal desgastado devido a corrosão química.



Fonte: Mapa da Obra (2017).

3.1.4. Corrosão eletrolítica

A corrosão eletrolítica caracteriza-se por ser um processo eletroquímico que resulta da aplicação de uma corrente elétrica externa, ou seja, uma corrosão não espontânea. Esse fenômeno é provocado por correntes fugitivas, muitas vezes conhecidas como parasitas ou correntes estranhas, e frequentemente afeta tubulações de petróleo e água potável, além de gabinetes de telecomunicações enterrados e tanques de postos de gasolina, entre outros locais (Merçon et al, 2004). A Figura 3 ilustra como pode ser encontrado a corrosão eletrolítica.

Figura 3: Corrosão eletrolítica em tubos de aço-carbono provocada por corrente de fuga.



Fonte: Merçon et al (2004).

3.2. Formas de corrosão

Segundo Gentil (2003), os diversos tipos de corrosão podem ser apresentados levando em consideração a aparência ou modo de ataque, bem como suas diversas causas e mecanismos, e entender essas formas é crucial para compreender os processos corrosivos. De acordo com a morfologia, a classificação mais comum é utilizada na elucidação dos mecanismos e na

aplicação das medidas de proteção adequadas. A seguir tem-se a Figura 4 demonstrando as formas de corrosão.

Figura 4: Formas de Corrosão.



Fonte: Gentil (2003).

3.2.1. Corrosão uniforme

O ataque uniforme é um tipo de corrosão eletroquímica que frequentemente resulta em uma incrustação ou depósito e ocorre com intensidade equivalente à da corrosão ao longo de toda a superfície exposta. De uma perspectiva microscópica, as reações de oxidação e redução ocorrem ao acaso na superfície. Alguns exemplos conhecidos incluem a ferrugem generalizada em ferro e aço, bem como o escurecimento de pratarias. Esta é talvez a forma mais comum de corrosão. Ela também é a menos polêmica porque é muito simples de prever e levar em conta nos projetos (Callister et al, 2021). A Figura 5 ilustra esta forma de deterioração.

Figura 5: Corrosão uniforme



Fonte: Rijeza Metalurgia (2022).

3.2.2. Corrosão em placas

Para o autor Gentil (2022) a corrosão em placas afeta apenas algumas áreas da superfície do metal e não a totalidade dela, deixando placas com escavações (Figura 6).

Figura 6: Corrosão em placas



Fonte: Gentil (2022).

3.2.3. Corrosão por pites

Outra forma muito localizada de ataque corrosivo onde se formam pequenos pites ou buracos é a corrosão por pites. Esse tipo de corrosão extremamente sorrateira frequentemente passa despercebida e resulta em perdas de material muito pequenas até que ocorra uma falha. Esse processo se desenvolve através de perfurações no metal e pode atingir uma extensão e profundidade razoáveis (Schweitzer, 2010). A Figura 7 ilustra este tipo de corrosão.

Figura 7: Corrosão por pite

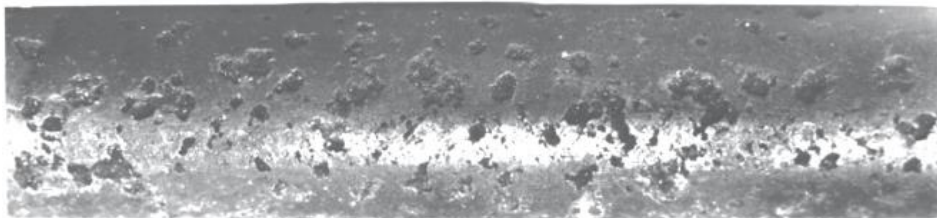


Fonte: Rijeza Metalurgia (2022).

3.2.4. Corrosão alveolar

Segundo Gentil (2022) a corrosão alveolar ocorre na superfície do metal, produzindo sulcos tipo alvéolos ou escavações com fundo irregular e profundidades muitas vezes menores que seu diâmetro (Figura 8).

Figura 8: Corrosão alveolar em tubo de aço-carbono.

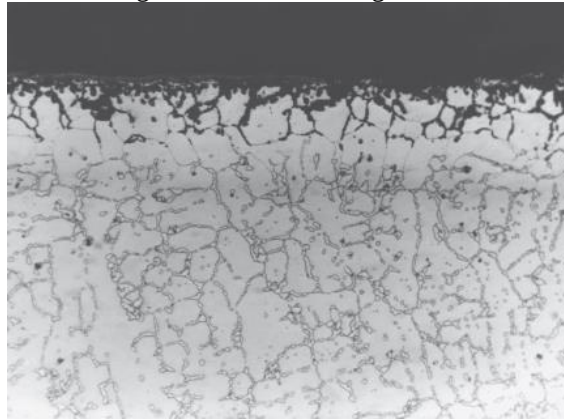


Fonte: Gentil (2022).

3.2.5. Corrosão intergranular

Para algumas ligas e em alguns ambientes, a corrosão intergranular ocorre principalmente ao longo dos contornos de grão. O resultado final deste procedimento é uma amostra de tamanho macroscópico que se desintegra ao longo de seus limites de grão. Este tipo de corrosão (Figura 9) afeta principalmente alguns materiais inoxidáveis (CALLISTER et al, 2021).

Figura 9: Corrosão intergranular.

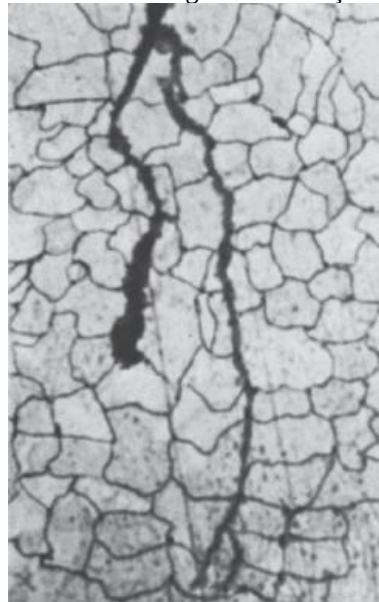


Fonte: Gentil (2022).

3.2.6. Corrosão transgranular

A corrosão transgranular ocorre nos grãos da rede cristalina, perdendo suas propriedades mecânicas e gerando trincas, com potencial de fratura em solicitações mecânicas mais fracas. Também pode ocorrer quando a corrosão está sob uma tensão de tração que é frágil como demonstrado na Figura 10 (OLIVEIRA, 2012).

Figura 10: Corrosão transgranular em aço inoxidável.



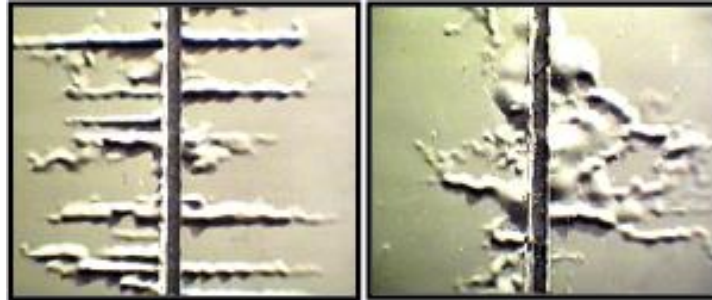
Fonte: Gentil (2022).

3.2.7. Corrosão filiforme

Corrosão filiforme ocorre na forma de finos filamentos não profundos na superfície do material, que se espalham em diferentes direções e não se cruzam devido ao estado coloidal possuir carga positiva, resultando no processo de repulsão como demonstrado na Figura 11. Gentil (2022) afirma o seguinte:

“a corrosão se processa sob a forma de finos filamentos, mas não profundos, que se propagam em diferentes direções e que não se ultrapassam, pois admite-se que o produto de corrosão, em estado coloidal, apresenta carga positiva, daí a repulsão. Ocorre geralmente em superfícies metálicas revestidas com tintas ou com metais, ocasionando o deslocamento do revestimento. Tem sido observada mais frequentemente quando a umidade relativa do ar é maior que 85% e em revestimentos mais permeáveis à penetração de oxigênio e água ou apresentando falhas, como riscos, ou em regiões de arestas.” Gentil (2022, p. 59).

Figura 11: corrosão filiforme.



Fonte: Portal TS (2019).

3.2.8. Corrosão por esfoliação

Gentil (2022) afirma que esse tipo de corrosão é processado paralelamente com a superfície metálica. Esse processo ocorre em chapas ou componentes extrudados que tiveram seus grãos alongados e achatados, criando as condições para que inclusões ou segregações sejam convertidas mecanicamente em plaquetas alongadas. Esse tipo de corrosão pode ser representada na Figura 12.

Figura 12: corrosão por esfoliação.

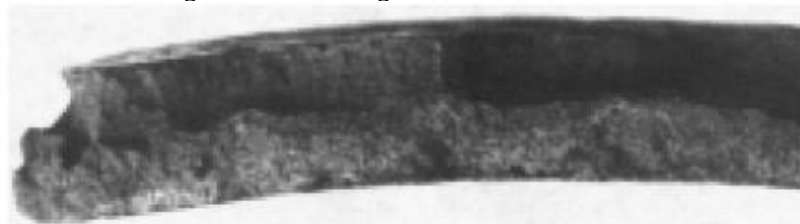


Fonte: Rijeza Metalurgia (2022).

3.2.9. Corrosão grafítica

A Corrosão Grafítica é realizada em um ferro fundido cinza à temperatura ambiente, transformando o ferro metálico em produtos de corrosão, deixando o grafite intacto. Quando colocada em papel branco e atraída, a área corroída assume uma aparência opaca característica do grafite. Isso pode ser removido com facilidade usando uma espátula (Gentil, 2022). Esse tipo de corrosão está representado na Figura 13.

Figura 13: corrosão grafítica do ferro fundido.



Fonte: Gentil (2022)

3.2.10. Corrosão por dezincificação

A dezincificação (Figura 14) é um tipo de corrosão que afeta as conexões de liga de cobre-zinco, caracterizando-se pelo aparecimento de regiões avermelhadas. Nesse tipo de corrosão, o zinco corrói preferencialmente, enquanto o cobre remanescente se destaca por sua distinta cor avermelhada.

Figura 14: Parte interna da válvula de latão apresentando corrosão por dezincificação.



Fonte: Gentil (2022).

3.2.11. Corrosão empolamento por hidrogênio

Segundo Gentil (2022) na corrosão empolamento por hidrogênio atômico, esse elemento penetra no metal e se difunde rapidamente. Em regiões com descontinuidades, como inclusões e vazios, transforma-se no hidrogênio molecular, H_2 , exercendo pressão e provocando a formação de bolas, daí o nome do empolamento. Esse tipo de corrosão é representado na Figura 15.

Figura 15: Tubo de aço-carbono com empolamento pelo hidrogênio, ocasionado por H_2S e água.

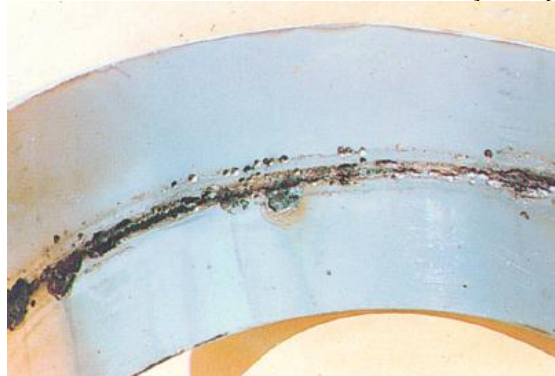


Fonte: Gentil (2022).

3.2.12. Corrosão em torno de solda

A corrosão em torno de solda ocorre em aços **inoxidáveis** não estabilizados ou com teores de carbono maiores que 0,03%, e a corrosão se processa intergranularmente (Gentil, 2022). A Figura 16 ilustra esse tipo de corrosão.

Figura 16: Corrosão em torno de cordão de solda com formação de pites e/ou alvéolos.



Fonte: Gentil (2022).

3.3. Meios corrosivos

Segundo Gentil (2022) os meios corrosivos mais comuns incluem atmosfera, fontes naturais de água, solo e produtos químicos. Portanto, saber o em qual ambiente se encontra a estrutura metálica é de suma importância para elaborar um projeto para evitar uma ação corrosiva agressiva.

3.3.1. Atmosfera

A corrosão provocada pela atmosfera no material estar condicionada aos seguintes fatores: Umidade relativa, substâncias poluentes (gases como: oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono e etc.), a duração do filme de eletrólito na superfície metálica e a temperatura. Gentil (2022, p. 72) afirma o seguinte:

“A influência da umidade na ação corrosiva da atmosfera é acentuada, pois se sabe que o ferro em atmosfera de baixa umidade relativa praticamente não sofre corrosão; em umidade relativa em torno de 60%, o processo corrosivo é lento, mas acima de 70% ele é acelerado. A umidade relativa pode ser expressa pela relação entre o teor de vapor d’água encontrado no ar e o teor máximo que pode existir no mesmo, nas condições consideradas, ou, então, pela relação entre a pressão parcial de vapor d’água no ar e a pressão de vapor d’água saturado, na mesma temperatura; ela é expressa em porcentagem.”
Gentil (2022, p.22).

3.3.2. Fontes naturais de água

Ambientes aquosos também podem apresentar uma variedade de composições e características relacionadas à corrosão. A água doce contém oxigênio dissolvido e minerais, muitos dos quais são responsáveis pela turbidez da água. A água do mar contém aproximadamente 3,5% de sal (predominantemente NaCl), alguns minerais, juntamente com materiais orgânicos. Em geral, a água do mar é mais corrosiva do que a água doce, frequentemente causando corrosão por pites e em frestas. Ferro fundido, alumínio, cobre, latão, treliça e algumas ligas inoxidáveis são adequadas para uso em água doce (CALLISTER et al, 2021).

3.3.3. Solo

Uma grande variedade de composições e suscetibilidades à corrosão são evidentes nos solos. As variáveis de composição apresentam: a umidade, teor de oxigênio, teor de sais, alcalinidade, acidez e a presença de várias formas bacterianas. Os materiais mais econômicos para estruturas subterrâneas são ferro fundido e aços-carbono comuns, com e sem revestimentos de superfície de proteção (CALLISTER et al, 2021).

3.4. Métodos de combate à corrosão

Talvez o método mais popular e direto de prevenir a corrosão seja a seleção cuidadosa de materiais após a identificação do ambiente corrosivo. As referências padrão sobre corrosão são úteis a este respeito e o custo pode ser um fator significativo neste caso. Empregar um material que ofereça excelente resistência à corrosão nem sempre é economicamente viável; ocasionalmente, outra liga ou outra medida deve ser usada (CALLISTER et al, 2021).

Ainda segundo Gentil (2022) no estudo de um processo corrosivo devem ser sempre consideradas as variáveis dependentes do material metálico, da forma de emprego e do meio corrosivo. Somente o estudo conjunto dessas variáveis permitirá indicar o material mais adequado para determinado meio corrosivo.

3.4.1. Inibidores de corrosão

O resultado dos inibidores de corrosão é uma substância ou mistura de substâncias que, nas concentrações corretas, podem reduzir ou eliminar a corrosão em meios corrosivos, formando uma barreira protetora entre materiais metálicos e o eletrólito (ABRACO, 2007).

Gentil (2022) pontua que para a utilização dos inibidores seja satisfatória, é preciso considerar, fundamentalmente, quatro aspectos:

- A primeira diz respeito às causas de deterioração do sistema, a fim de identificar eventuais problemas que possam ser resolvidos pelo uso de inibidores;
- O custo de seu uso vem a seguir, para ver se supera ou não as perdas provocadas pelo processo corrosivo;
- As propriedades e mecanismos de ação dos inibidores serão a seguir utilizados para avaliar sua compatibilidade com o processo em andamento e os materiais metálicos empregados;

- Finalmente, existem as condições adequadas de adição e controle para evitar possíveis inconvenientes, como formação de espuma em função de agitação do meio e possíveis problemas de saúde podem ocorrer nos trabalhadores referentes à toxidez de alguns produtos usados como inibidores de corrosão.

3.4.2. Proteção catódica

A proteção catódica baseia-se em fazer com que toda a superfície de uma estrutura metalizada adquira comportamento catódico, provendo a estrutura de um fluxo de corrente de proteção oriunda de uma fonte externa, com intensidade que seja capaz de anular as correntes de corrosão das diversas pilhas existentes na superfície metalizada. Com isso, a corrosão é transferida para um material metálico de custo relativamente mais baixo que é usado com ânodo. Gentil (2022) afirma que essas técnicas são comuns em instalações submersas enterradas.

A proteção catódica envolve simplesmente o suprimento, a partir de uma fonte externa, de elétrons para o metal a ser protegido, tornando-o um catodo, onde acontece o fenômeno chamado de anodo de sacrifício, no qual o metal a ser protegido é conectado eletricamente a outro, esse apresenta oxidação e, ao ceder elétrons, vai proteger o metal principal da corrosão (CALLISTER et al, 2021).

3.4.3. Proteção anódica

A proteção anódica é uma técnica de proteção contra a corrosão muito parecida com a catódica. A diferença consiste, basicamente, no esquema de ligação entre o retificador, os ânodos inertes e a estrutura metálica a ser protegida. Segundo Gentil (2022), a técnica tem suas raízes em um artigo de 1954 escrito por Edeleanu que pesquisou o seu emprego. Esta baseia-se, de forma simples, na formação de uma película protetora em materiais metálicos através da aplicação de uma corrente anódica externa o que permite a passivação do material metálico. Este procedimento é conhecido como anodização e é bastante utilizado em meios fortemente agressivos como em tanques de armazenamento e trocadores de calor para ácido sulfúrico.

3.4.4. Revestimento

O método chamado revestimento evita o contato prolongado entre o oxigênio do ar e o material metálico. O revestimento pode ser metálico, não metálico inorgânico e não metálicos

orgânicos, como as tintas e polímeros. O acabamento metálico pode ser utilizado para diversas finalidades, desde a decoração até o fortalecimento da resistência de um material a processos corrosivos. Por outro lado, a formação de revestimento não metálico inorgânico resulta do depósito direto de compostos inorgânicos em superfícies metálicas ou da formação desses compostos sobre a superfície. Portanto, uma das técnicas de proteção anticorrosiva mais populares é a aplicação de pintura ou padrões de pintura como técnica de proteção anticorrosiva (GENTIL, 2022).

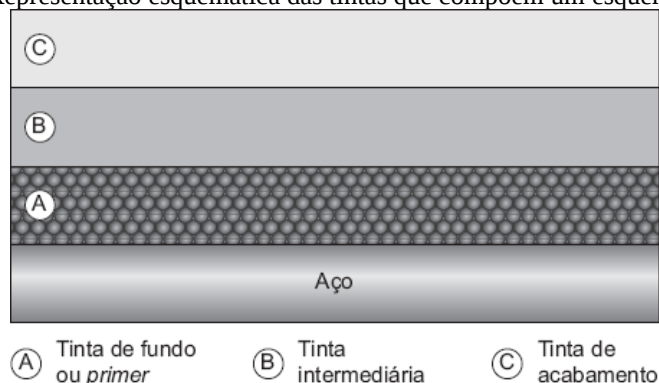
Gentil (2022) afirma que a pintura possui uma série de qualidades significativas, como facilidade de aplicação e manutenção e relação custo-benefício atrativa, podendo ainda apresentar outras qualidades em paralelo, como:

- Finalidade estética – tornar o ambiente agradável;
- Identificação de fluidos em tubulações ou reservatórios;
- Impermeabilização;
- Permitir maior ou menor absorção de calor, por meio do uso correto das cores.

Para a eficácia da pintura Gentil (2022) afirma que o revestimento deve conter a aplicação de três tipos de tinta, como demonstrado na Figura 17:

- Tinta de fundo ou primária (prime): Aplicação direta sobre o substrato. São totais ou parcialmente opacas, possuem pigmentos anticorrosivos em sua composição e têm a função de aderir às demais camadas;
- Tinta intermediária: Ao aumentar a espessura do revestimento com um menor número de demão, melhora a proteção do material criando uma barreira;
- Tinta de acabamento: Atribuem resistência química à peça, pois ela interage diretamente com a atmosfera e também é responsável pelo acabamento e pela estética do material.

Figura 17: Representação esquemática das tintas que compõem um esquema de tintura.



Fonte: Gentil (2022).

4. METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, não tendo como objetivo medir, enumerar ou empregar na análise dos dados métodos estatísticos, mas sim de gerar dados descritivos, obtidos através do contato do pesquisador com a situação de estudo (GODOY, 1995).

É uma pesquisa de caráter descritivo, com objetivo de realizar detalhamento de características de determinado fenômeno ou população. Sendo utilizada na metodologia a pesquisa bibliográfica, que é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos (GIL, 2002).

Durante o estudo foram realizadas vistorias no local e registros por meio de fotografias da parte estrutural da ponte, como as treliças que à sustentam e canos na parte externa que fazem parte da distribuição da água para a comunidade.

A Figura 19 mostra as etapas que foram seguidas para o estudo do processo corrosivo na ponte de São Gonçalo-PB.

Figura 19: Fluxograma.



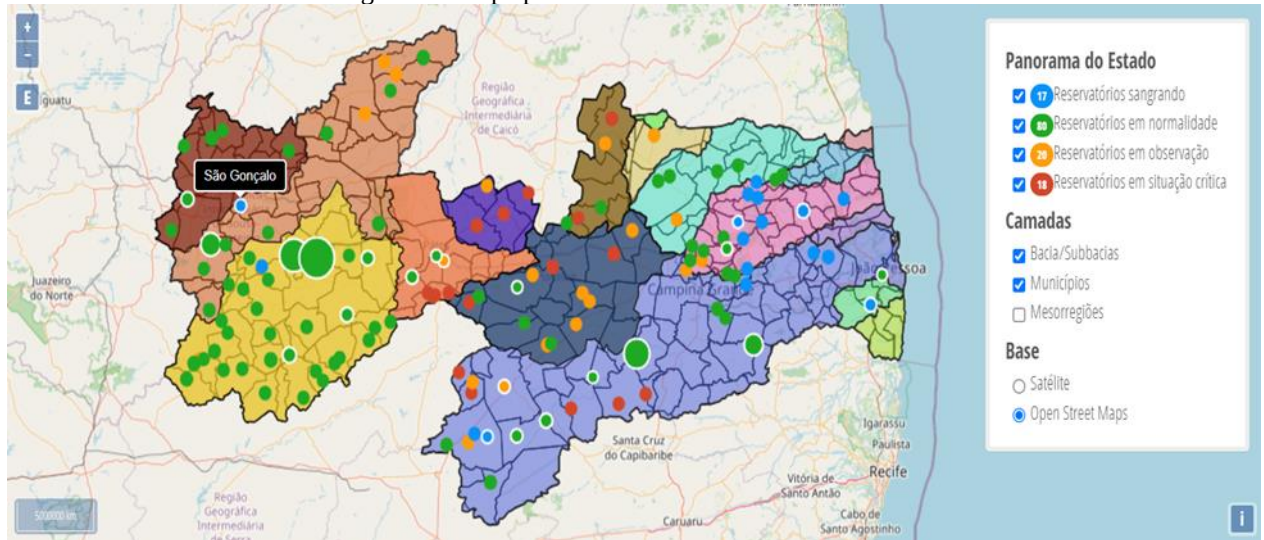
Fonte: Autor (2022).

4.1. São Gonçalo

O estudo é realizado em São Gonçalo que é um distrito da cidade de Sousa-PB, sendo uma macrorregião localizada a 448,00 km da capital João Pessoa. No distrito está localizado o açude São Gonçalo com capacidade máxima de 44.600.000 m³ (AESAs et al., 2022), quando superado esse limite há o transbordamento para o rio Piranhas no qual situa-se o objeto de estudo. Segundo o site do Governo Federal, o açude teve início das obras em 1922 e sua

inauguração foi em 1936, com o objetivo de sanar a escassez hídrica da região de Sousa, além de servir como fonte de irrigação para as plantações. Em fevereiro de 2022, o açude recebeu água da transposição do rio São Francisco e atualmente o rio se encontra perene. A Figura 20 ilustra a localização do distrito.

Figura 20: Mapa panorâmico do Estado da Paraíba.

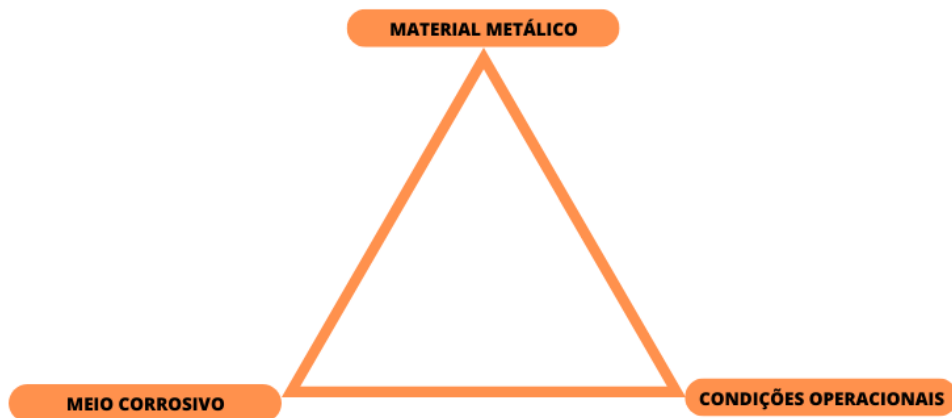


Fonte: AESA (2022).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através das visitas técnicas com o intuito de capturar manifestações corrosivas na ponte, constatou-se que a maioria dos materiais eram de natureza metálica. A Figura 18 demonstra o triângulo da corrosão que ajuda na análise dos processos corrosivos, no qual deve-se sempre considerar as variáveis que dependem do metal, do meio corrosivo e das condições operacionais, pois, uma vez estabelecidos esses fatores, fica mais fácil entender a causa do fenômeno e, conseqüentemente, estabelecer as técnicas de proteção mais adequadas para cada situação, auxiliando na busca de uma solução para o problema (GENTIL, 2011).

Figura 18: Ilustração do triângulo da corrosão.



Fonte: Autor (2022).

Durante a realização dos registros fotográficos foi observado que ao longo da estrutura metálica existem manchas avermelhadas visíveis, algumas mais severas do que outras e que variam de acordo com as localizações ao longo da ponte. As manchas avermelhadas aparecem mais na parte inferior da ponte, onde não teve revestimento por tinta, além de se destacar também a presença de alguns parafusos e vigas para a sustentação das tábuas da ponte.

A partir da inspeção foi verificado a presença de fenômeno corrosivo e foi possível realizar a observação das áreas com maiores problemas de corrosão, dando enfoque principal nas vigas, colunas de sustentação, parafusos e a base sustentadora do corrimão. Na Figura 21 é possível visualizar toda estrutura da ponte.

Figura 21: Vista da ponte A) Lateral; B) Frontal.



Fonte: Autor (2022).

É perceptível o descascamento da pintura protetora ao longo dos elementos estruturais, como na base sustentadora do corrimão causando assim anomalias. Por outro lado tem-se o corrimão com revestimento mais detalhado, o qual retarda os fenômenos de deterioração, encontrando-se assim em melhores condições.

Na base sustentadora do corrimão (figura 22) é possível analisar pelo menos dois tipos de corrosão: ataque corrosivo uniforme, como evidenciado pelo óxido formado em toda a base que sustenta o corrimão, bem como corrosão em torno de solda, pois as altas temperaturas utilizadas durante o processo de soldagem frequentemente alteram a composição do metal ou enfraquecem algumas regiões, favorecendo a corrosão. Merçon et al. (2004) afirma que esse processo se trata de uma corrosão eletroquímica por acontecer de forma espontânea.

Figura 22: Corrimão A) Base sustentadora B) extensão do corrimão.

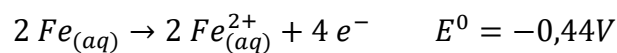


Fonte: Autor (2022).

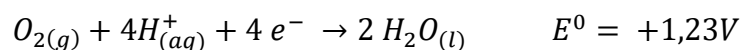
Na parte inferior da ponte (figura 23) é onde se encontra o maior número de danos, pois é o local no qual não teve o revestimento para proteção contra a corrosão. Por esse motivo as vigas de material metálico estão mais sujeitas aos meios corrosivos, que tem como principal agente corrosivo a água proveniente do Rio Piranhas, uma vez que esse local apresenta maior umidade.

Com base nisso, o processo corrosivo pode ser explicado da seguinte forma: quando o metal é exposto ao ar úmido, acontece o fenômeno da oxidação do metal, criando ferrugem devido à presença de oxigênio (O_2) e água (H_2O). As equações 1, 2 e 3 detalham essa reação.

Equação 1: Reação de oxidação do ferro.



Equação 2: Reação de redução do ar atmosférico.



Equação 3: Reação global.

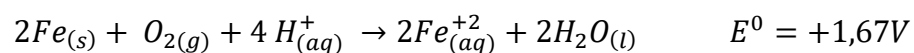


Figura 23: Parte inferior da ponte A) Extensão da ponte; B) Vigas de aço; C) Aproximação da viga; D) Parafuso.



Fonte: Autor (2022).

5.1. Métodos de proteção contra as formas de corrosão encontradas

Através do triângulo da corrosão é possível determinar a técnica de proteção mais adequada para ambos os casos de corrosão detectados. Na corrosão uniforme e em torno do cordão de solda (figura 22) pode ser feita a limpeza das impurezas da área deteriorada e em seguida seguir o mesmo processo que foi feito ao longo do corrimão, ou seja, o revestimento a base de tinta, utilizando o procedimento de eficácia ditado por Gentil (2022), com a aplicação da tinta prime. Em seguida a tinta intermediária e por fim a tinta de acabamento, para que além de um melhor visual, tenha o prolongamento da vida útil da peça evitando um novo ataque.

Para a parte inferior da ponte (figura 23), projetando uma vida útil amplamente estendida para o aço, poderia ser aplicado a galvanização, assim os gastos com manutenção seriam minimizados, além de garantir uma melhor segurança aos pedestres. O processo de galvanização envolve a interação de metais, especificamente zinco e aço, o que resulta na formação de uma camada única de zinco sobre o aço, no qual o zinco atua como um metal de sacrifício, se desgastando lentamente para proteger o aço, impedindo o contato entre o material

e o meio ambiente. Com a aplicação dessa técnica, o aço fica mais protegido da corrosão e tem mais condições de resistir aos aspetos relacionados às mudanças climáticas ou à ação do tempo.

6. CONCLUSÃO

Por sua prevalência em materiais metálicos e ocorrência regular no cotidiano, a corrosão é um fenômeno bem conhecido e apresenta uma ampla complexidade devido às suas diversas formas, tipos e medidas de proteção. Esse processo depende de uma série de fatores, mas pode ser evitado usando medidas preventivas.

Com a realização do trabalho foi possível identificar diversos tipos de corrosão por meio de imagens obtidas de registros fotográficos e embasar-se na literatura para atribuir soluções à corrosão descoberta na estrutura. Além disso, foi possível constatar, que dentre as condições analisadas a umidade devido ao Rio Piranhas que passa sob a estrutura foi a variável com maior influência no processo corrosivo.

Sendo assim, devido as características únicas das estruturas metálicas, cuidados devem ser tomados desde a fase conceitual do projeto até a entrega da obra para oferecer melhor acabamento e segurança. Para que seja evitado anomalias, necessita-se da ajuda de profissionais qualificados, bem como com acompanhamento fiscalização por meio de inspeções e manutenções preventivas.

Ao fim do estudo, chegou-se ao objetivo do trabalho, que foi compreender os processos corrosivos e suas causas, além de identificar e propor possíveis soluções para minimizar os ataques corrosivos. Com os resultados foi possível obter técnicas de manutenções e prevenção que prologaria a vida útil e proporcionaria um aspecto visual melhor para a ponte, que é uma estrutura de bastante importância para a locomoção da comunidade.

REFERÊNCIAS

AESA et al. Variação do Volume no Mês de Agosto de 2022. 2022. Disponível em: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaGraficos&codAcude=9659&mes=8&ano=2022>. Acesso em: 10 out. 2022.

ABRACO. Inibidores de Corrosão: confiabilidade e redução de custos. Revista corrosão & proteção, v. 4, n. 14, p. 9, mar/abr. 2007.

ATOM, JUNIOR. Corrosão: Entenda o que é e como ocorre. 2020. Disponível em: <https://www.atomjr.com.br/post/corros%C3%A3o-entenda-o-que-%C3%A9-e-como-ocorre>. Acesso em: 22 set. 2022.

BROWN, Theodore L. et al. Química: a ciência central. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRINCK, Fabiana Malta. EFEITO DA CORROSÃO NA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DA PONTE METÁLICA MARECHAL HERMES. 2004. 227 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas Departamento de Engenharia Civil, Ouro Preto, 2004. Disponível em: http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6637/3/DISSERTA%C3%87%C3%83O_EfeitoCorros%C3%A3oIntegridade.pdf. Acesso em: 15 set. 2022.

CALLISTER JUNIOR, William D. *et al.* **Ciência e engenharia de materiais**. Rio de Janeiro: Ltc, 2021. 864 p.

CEAM-UFMG. Introdução ao aço. 2013. Disponível em: <https://www.sites.google.com/site/acoufmg/home/historico>. Acesso em: 15 set. 2022.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**, 4a edição, São Paulo: Atlas, 2002.

GODOY, Arlida Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de administração de empresas**, v. 35, p. 57-63, 1995.

MERÇON, Fábio; GUIMARÃES, Pedro Ivo Canesso; MAINIER, Fernando Benedito. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. Química Nova na escola, v. 1, n. 19, 2004.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2003. 346 p.

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

GENTIL, Vicente *et al.* **Corrosão**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2022. 408 p.

HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. 231p. Tese de Livre Docência. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1993.

OLIVEIRA, A. R. Corrosão e tratamento de superfície. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Belém, 2012.

SCHWEITZER, A (2010). Fundamentals of corrosion – Mechanisms, Causes and Preventative Methods. CRC Press. 41p.

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