



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

SILAS CESAR DE OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA DA MODIFICAÇÃO SUPERFICIAL POR
ATAQUE QUÍMICO SOBRE A RESISTÊNCIA MECÂNICA
EM ESTRUTURAS METÁLICAS**

**GOIANÉSIA / GO
2019**



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**INFLUÊNCIA DA MODIFICAÇÃO SUPERFICIAL POR
ATAQUE QUÍMICO SOBRE A RESISTÊNCIA MECÂNICA EM
ESTRUTURAS METÁLICAS**

PUBLICAÇÃO Nº: 5

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

ORIENTADOR: MSc. DANIELLY LUZ ARAÚJO DE MORAIS

**GOIANÉSIA / GO
2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, Silas Cesar de.

INFLUÊNCIA DA MODIFICAÇÃO SUPERFICIAL POR ATAQUE QUÍMICO SOBRE A RESISTÊNCIA MECÂNICA EM ESTRUTURAS METÁLICAS.

60P, (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - FACEG - FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Estruturas Metálicas

2. Patologias em Estruturas Metálicas

3. Corrosão

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, Silas Cesar de. **Influência da modificação superficial por ataque químico sobre a resistência mecânica em estruturas metálicas.** TCC apresentado ao curso de Engenharia Civil FACEG - Faculdade Evangélica de Goianésia, 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Silas Cesar de Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Influência da modificação superficial por ataque químico sobre a resistência mecânica em estruturas metálicas.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à FACEG - Faculdade Evangélica de Goianésia a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Silas Cesar de Oliveira

E-mail: silas-cesar_@live.com

SILAS CESAR DE OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA DA MODIFICAÇÃO SUPERFICIAL POR
ATAQUE QUÍMICO SOBRE A RESISTÊNCIA MECÂNICA
EM ESTRUTURAS METÁLICAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

**DANIELLY LUZ ARAÚJO DE MORAIS, Mestre
(ORIENTADOR)**

**IGOR CEZAR SILVA BRAGA, Mestre
(EXAMINADOR INTERNO)**

**MATHEUS OLIVEIRA DA SILVA, Doutor
(EXAMINADOR INTERNO)**

GOIANÉSIA/GO, DIA 11 DE JUNHO DE 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que me concede a vida, a saúde e a força necessária para enfrentar as dificuldades da vida.

A minha família e amigos, em especial, aos meus pais Wilson Freire e Valeria Cesar, que me dá todo o suporte necessário, pelo incentivo, e estando sempre ao meu lado em cada etapa.

Sou grato aos meus queridos professores, em especial, a MSc. Danielly Luz Araújo de Moraes, DSc. Matheus Oliveira da Silva, Ivan Pinto do Nascimento e demais professores que com seus conhecimentos me deu todo o suporte necessário para a realização desse trabalho.

RESUMO

Este estudo procurou compreender a influência da modificação superficial por ataque químico sobre a resistência mecânica em estruturas metálicas, realizando, inicialmente, uma pesquisa bibliográfica acerca das Estruturas Metálicas e das Patologias em Estruturas Metálicas, para em seguida realizar um experimento dividido em duas etapas. No experimento preliminar foram testados os potenciais de corrosão de duas soluções, NaCl e NaOH 10% p/v. Após verificar o maior potencial de corrosão do NaCl, esta solução foi utilizada no experimento principal que valeu-se de 12 corpos de prova, de material metálico, dividindo-os em grupos de 3 e expondo-as à solução de NaCl, com e sem proteção. Desses três grupos de peças, um grupo foi exposto sem qualquer proteção, um grupo foi exposto com a proteção a Zarcão, e outro com a proteção Primer. Ao final das 9 semanas de experimento, as peças foram submetidas a um teste de resistência mecânica que verificou a influência das patologias adquiridas. Como resultado verificou-se a importância do uso de proteção contra patologias em estruturas metálicas, contudo, ainda que as proteções testadas tenham minimizado a influência agressiva do contato da solução com a estrutura, essas peças não tiveram sua resistência mecânica resguardada, portanto, não se configuram medidas eficazes de proteção contra a corrosão das estruturas metálicas visando a manutenção das propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Estruturas Metálicas; Patologias em Estruturas Metálicas; Corrosão.

ABSTRACT

This study sought to understand the influence of surface modification by chemical etching on the mechanical strength in metallic structures, initially carrying out a bibliographical research about Metal Structures and Pathologies in Metal Structures, to perform an experiment divided in two stages. In the preliminary experiment the corrosion potentials of two solutions, NaCl 10% w / v NaOH were tested. After checking the highest corrosion potential of NaCl, this solution was used in the main experiment using 12 specimens of metallic material, dividing them into groups of 3 and exposing them to NaCl solution, with and without protection. Of these three groups of pieces, one group was exposed without any protection, one group was exposed with the protection to Zarcão, and another with the protection Primer. At the end of the 9 weeks of the experiment, the pieces were submitted to a mechanical resistance test that verified the influence of the acquired pathologies. As a result, the importance of the use of protection against pathologies in metallic structures was verified, however, although the tested protections minimized the aggressive influence of the contact of the solution with the structure, these pieces did not have their mechanical resistance protected, therefore, configure effective measures of protection against the corrosion of the metallic structures aiming the maintenance of the mechanical properties.

Keywords: Metallic Structures; Pathologies in Metallic Structures; Corrosion.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Artefatos da Idade do Ferro.....	11
Figura 2 – Primeiro prédio em estrutura metálica do Brasil.....	12
Figura 3 – Liga metálica corroída.....	15
Figura 4 – Anel metálico com incrustação.....	15
Figura 5 – Vícios construtivos (furos errados).....	15
Figura 6 – Defeitos de solda em estrutura metálica.....	15
Figura 7 – Corrosão Galvânica.....	25
Figura 8 – Corrosão por Lixiviação.....	25
Figura 9 – Corrosão por Erosão.....	26
Figura 10 – Corrosão por tensão.....	26
Figura 11 - Corrosão por Pontos.....	26
Figura 12 – Corrosão por Frestas.....	26
Figura 13 – Corpos de prova do experimento preliminar.....	29
Figura 14 – Corpos de prova do experimento principal.....	30
Figura 15 – pHmetro.....	30
Figura 16 – Microscópio Estereoscópio (Quimis).....	31
Figura 17 – Prensa Hidráulica (Quimis).....	31
Figura 18 – Estufa de secagem.....	32
Figura 19 – Bastão de Vidro.....	32
Figura 20 – Soluções do experimento preliminar prontas.....	34
Figura 21 – Soluções do experimento preliminar já com as peças mergulhadas.....	34
Figura 22 – Tinturas Primer (RHA1) e Zarcão (UNILAR).....	35

Figura 23 – experimento preliminar após 24 horas, início do processo de Corrosão em NaCl 10% p/v.....	37
Figura 24 – experimento preliminar após seus 7 dias, processo de corrosão avançado em NaCl 10% p/v.....	38
Figura 25 – experimento preliminar após seus 7 dias, NaOH 10% p/v sem processo corrosivo.....	38
Figura 26 – Resultado final do experimento preliminar, do lado direito aparecem as peças mergulhadas em NaCl 10% p/v com processo corrosivo evidente.....	39
Figura 27 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 1).....	41
Figura 28 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 2).....	41
Figura 29 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 3).....	41
Figura 30 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 4).....	41
Figura 31 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 5).....	41
Figura 32 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 6).....	41
Figura 33 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 7).....	42
Figura 34 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 8).....	42
Figura 35 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 9).....	42
Figura 36 - Fotos em lupa estereoscópio com zoom de 40x, peça 1 (PRIMER)...	44
Figura 37 – Fotos em lupa estereoscópio com zoom de 40x, peça 7 (ZARCÃO).	45
Figura 38 – Fotos em lupa estereoscópio com zoom de 40x, peça 10 (SEM PROTEÇÃO).....	47
Figura 39 – Soluções resultantes do experimento principal.....	48
Figura 40 – Fórmula da reação química de óxido de ferro.....	49
Gráfico 1 – Evolução dos pesos dos corpos de prova preservados.....	50
Gráfico 2 – Evolução dos pesos dos corpos de prova sem proteção.....	51
Gráfico 3 – Evolução dos pesos dos corpos de prova com Zarcão.....	52

Gráfico 4 – Evolução dos pesos dos corpos de prova com Primer.....	53
Figura 41 – Corpos de prova após teste de Resistência Mecânica.....	54
Gráfico 5 – Resistência a Compressão (KN).....	55

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – As manifestações patológicas mais comuns e suas causas.....	24
Tabela 2 – Pesos dos corpos de prova antes e após a realização do experimento preliminar em NaCl 10% p/v.....	39
Tabela 3 – Pesos dos corpos de prova antes e após a realização do experimento preliminar em NaOH 10% p/v.....	44
Tabela 4 – Pesos das peças do experimento principal.....	49
Tabela 5 - Resistência à Compressão.....	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS.....	16
1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. O QUE SÃO ESTRUTURAS METÁLICAS	18
2.2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	19
2.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS	23
2.4. PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS.....	23
2.5. ANÁLISE QUÍMICA DO PROCESSO CORROSIVO	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1. MATERIAIS.....	29
3.2. MÉTODOS.....	33
3.2.1. METODOLOGIA DO EXPERIMENTO PRELIMINAR	33
3.2.2. METODOLOGIA DO EXPERIMENTO PRINCIPAL.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1. EXPERIMENTO PRELIMINAR	37
4.2. EXPERIMENTO PRINCIPAL	40
4.3. TESTE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA	53
5. CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

Estruturas metálicas são elementos estruturais produzidos em material metálico, especialmente o aço e o carbono e sua resistência depende do teor de carbono utilizado. Quanto maior a quantidade de carbono, maior será a resistência do aço, visto que este será mais duro e frágil (PEREIRA, 2018).

O aço é resultado de um processo siderúrgico obtido através da fusão do ferro como componente básico e carbono com um teor em até 2%, resultando em uma liga Ferro-Carbono. Também podem ser encontrados nessa liga níquel, volfrâmio, manganês, cromo, fósforo e enxofre entre outros elementos, e ainda resíduos resultantes do processo de fabricação (IMIANOWSKY e WALENDOWSKY, 2018).

Os primeiros artefatos de ferro da história foram encontrados no Egito, e seriam de cerca de 3000 a.C. Fogueiras foram construídas a base de rochas de minério de ferro para juntar partículas quentes de carbono com partículas de óxido de ferro, dando início ao processo de redução e resultando em uma massa escura, não fundida, mas que permitia a deformação plástica através de técnicas de forjamento, produzindo utensílios de diferenciadas propriedades mecânicas (NOLDIN JUNIOR, 2002, apud IMIANOWSKY e WALENDOWSKY, 2018).

Na Figura 1 são exibidos alguns exemplares dessas primeiras ferramentas feitas de ferro na pré-história.

Figura 1 – Artefatos da Idade do Ferro



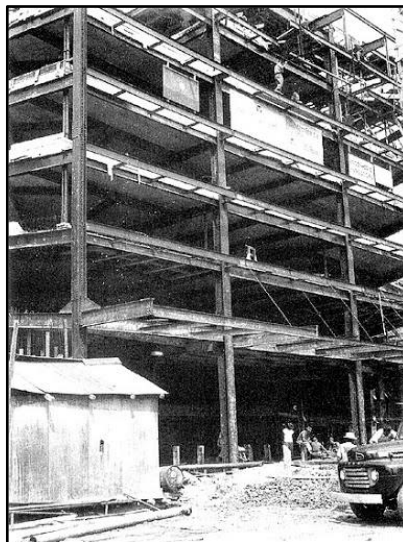
Fonte: Portal Cultura Mix.

Disponível em: <<http://cultura.culturamix.com/historia/a-idade-do-ferro>>
Acesso em 07/02/2019

Na construção civil moderna, o aço começou a ser utilizado em meados do século XVIII. Desde as primeiras obras, como por exemplo, a Ponte Ironbridge na Inglaterra, de 1779, até os ultramodernos edifícios que se multiplicaram pelas grandes cidades, a arquitetura em aço sempre esteve associada à ideia de modernidade e inovação (INABA, 2016).

Essas estruturas estão sendo cada vez mais utilizadas por conta de suas inúmeras vantagens, tais como menor custo, maior rapidez em sua construção e menos impacto ambiental. Por essas e outras vantagens, essa tecnologia de construção vem se desenvolvendo muito nas últimas décadas. O primeiro prédio em estrutura metálica de São Paulo, por exemplo, foi construído em 1954, Figura 2. Essa construção foi realizada com muita dificuldade devido a escassez de material próprio para esse tipo de fabricação e de mão de obra especializada. Desde então, no entanto, os engenheiros brasileiros vêm utilizando cada vez mais essa estrutura (ANDRADE, 2009).

Figura 2 – Primeiro prédio em estrutura metálica do Brasil



Fonte: Andrade (2009)

As estruturas metálicas são bastante sustentáveis quando bem preparadas para conter suas possíveis patologias. Essas estruturas metálicas apresentam inúmeras vantagens e desvantagens. Em se tratando das desvantagens poderíamos citar a possibilidade da presença de patologias, tais como a corrosão. De acordo com Formigoni *et al.* (2014), a alta suscetibilidade à corrosão requer que essas

estruturas sejam cobertas por uma camada de tinta, ou se utilize outros meios de proteção mais modernos, como os que são descritos neste trabalho.

Essa sustentabilidade talvez seja uma de suas maiores vantagens, uma vez que o aço utilizado nessas estruturas metálicas pode provir de reaproveitamento. Isso é importante porque o tema da sustentabilidade adquire cada vez importância, sendo premente que essas estruturas potencialmente menos danosas ao meio ambiente sejam mais estudadas e utilizadas. Haja vista que uma construção sustentável minimiza o consumo de recursos naturais e maximiza sua reutilização, valendo-se de recursos renováveis e recicláveis (FORMIGONI *et al.*, 2014).

Contudo, para que essas estruturas sejam bem aproveitadas, suas possíveis patologias precisam ser evitadas. Uma edificação deve oferecer condições de uso e de segurança para que esta não sofra interferências do meio em que está inserida. Qualquer anormalidade que ocorra com a edificação causará diversos tipos de prejuízos (CASTRO, 1999).

Castro (1999), ao se referir às patologias em estruturas metálicas, estabeleceu um breve panorama histórico. O conceito desse tipo de patologia surgiu com Henry Lossier, em 1926, quando realizava um estudo dos danos nas estruturas de concreto armado, ressaltando que o estudo desses acidentes e suas causas também fariam parte da engenharia. Já em 1976, o Instituto Eduardo Torroja da Espanha implantou o primeiro curso de especialização na área de patologia, denominado "*Patología de las Construcciones*". O autor resalta ainda que a grande maioria desses trabalhos iniciais teve ênfase direcionada apenas para as estruturas de concreto, posteriormente sendo utilizados para as estruturas metálicas.

Falando de um modo mais específico das estruturas metálicas, Castro (1999) afirma que ainda são raros os trabalhos que versem sobre suas patologias e que sejam desenvolvidos especificamente para a área de engenharia civil. Diante dessa carência de estudos, fica evidente a importância deste trabalho.

Segundo Helene (1993), os problemas patológicos presentes em estruturas metálicas geralmente são provocados pela ação de agentes agressivos cuja edificação não consegue contornar, por não ter sido previamente preparada. Ainda segundo o autor, raramente essa ação externa atingem do mesmo modo todas as estruturas similares. O que se demonstra pela observação de que várias edificações

expostas às mesmas ações, e às mesmas condições de exposição, acabam apresentando problemas patológicos diferentes.

São muitas as vantagens e desvantagens dessas estruturas. Vitório (2003) elenca vários pontos positivos, como por exemplo, a presença de maiores vãos e um peso reduzido quando em comparação com outras estruturas. Elas também podem ser executadas de modo muito mais rápido e fácil, gerando economia nas fundações, que podem inclusive ser reaproveitadas, diminuindo custos e o impacto ambiental. Além destas, o autor cita outras características positivas que são descritas no decorrer desse trabalho.

Porém, como qualquer outra estrutura, ela também possui suas desvantagens. Com referencia a isso, Vitório (2003) sugere que há a necessidade de executar manutenções periódicas e rigorosas, o que gera a necessidade de mão-de-obra especializada. Além disso, ele explica a sensibilidade da estrutura metálica em relação à ação do vento e sua maior vulnerabilidade à agentes agressivos do meio ambiente.

De acordo com McKaig (1962), normalmente, os problemas patológicos das edificações originam-se da ignorância, do descuido ou da cobiça do ser humano que visando maximização dos lucros, descuida da qualidade dos materiais, recorre a mão-de-obra pouco especializada ou não se vale de outros materiais protetivos para aumentar a durabilidade dessas estruturas, como tintas anticorrosivas e etc. Por conta disso, são muitas as patologias que podem vir a acometer essas estruturas, como por exemplo, a corrosão de diversos tipos, a incrustação, vícios construtivos, defeitos de ordem estética, defeitos em solda e patologias de pintura. Tipos de patologias apresentadas nas Figuras 3, 4, 5 e 6.

Figura 3 – Liga metálica corroída¹

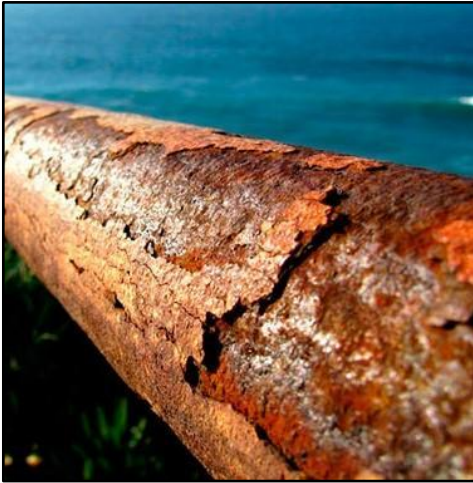


Figura 4 – Anel metálico com incrustação²



Figura 5 – Vícios construtivos (furos errados)³

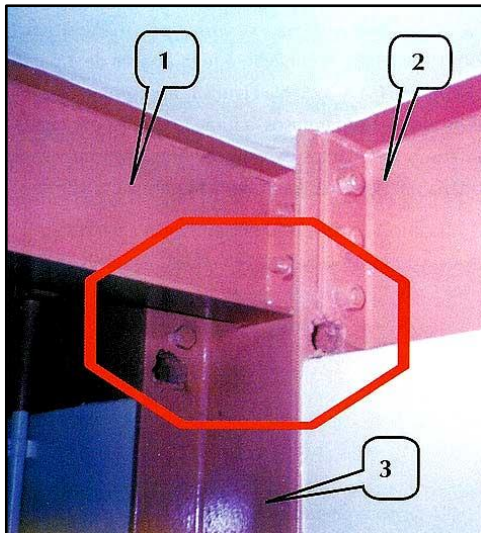


Figura 6 – Defeitos de solda em estrutura metálica⁴



¹ Fonte: Blog Rijeza. Disponível em: <<https://www.rijeza.com.br/blog/corrosao-eletroquimica-voce-sabe-o-que-e>>. Acesso em 09/02/2019

² Fonte: Blog Inspeção Equipto. Disponível em: <<http://inspecaoequipto.blogspot.com/2013/08/inscrustacao-em-caldeiras.html>>. Acesso em 09/02/2019

³ Fonte: Portal Metálica. Disponível em: <www.metallica.com.br/images/stories/artigos-tecnicos/falhas_estrutura_metallica>. Acesso em 09/02/2019

⁴ Fonte: Blog Iferramenta. Disponível em: <www.iferramenta.blogspot.com/2016/01/galeria-de-defeitos-em-soldas-mig-sem.html>. Acesso em 09/02/2019

Sacchi e Souza (2017) citam também algumas das principais manifestações patológicas e suas causas como sendo: a corrosão localizada e generalizada, deformações excessivas; flambagem local ou global e fraturas ou propagação de fraturas. Complementando essas características, Pravia e Betinelli (2016) dizem que as principais causas de origens patológicas são referentes a anomalias de projeto de execução, e da qualidade dos materiais.

As patologias são dependentes do ambiente em que a estrutura se encontra e serão melhor estudadas no decorrer deste trabalho, que procura compreender suas causas, consequências e modos de resolução, ou atenuação, através de experimentos de acompanhamento visual realizado em materiais metálicos expostos a meios agressivos com dois tipos de substâncias anticorrosivas.

1.1. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral conhecer a influência da proteção superficial por anticorrosivos no surgimento de patologias e na integridade de características mecânicas em estruturas metálicas.

1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar uma revisão bibliográfica sobre estruturas metálicas, ligas de ferro e carbono, e sobre a sustentabilidade na construção civil, traçando as principais vantagens e desvantagens da utilização deste tipo de sistema estrutural;
2. Revisar sobre os principais tipos de ataques químicos aos quais estruturas metálicas podem estar submetidas e buscar na literatura por meios utilizados para evitar suas patologias corriqueiras;

3. Realizar um acompanhamento visual sobre a influência da aplicação de anticorrosivos no surgimento de patologias em ligas metálicas através de um estudo experimental comparativo de corrosão por reação química em estrutura metálica em meio neutro e alcalino;
4. Verificar a influência dos agentes químicos na resistência mecânica e no peso dos corpos de prova.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo refere-se a um estudo bibliográfico para dar embasamento teórico a este trabalho de conclusão de curso. Nele, serão abordadas as principais patologias encontradas em estruturas metálicas, classificando-as por tipo, procurando suas causas e as formas de contorná-las. Acreditando que essas estruturas podem ser mais bem aproveitadas, uma vez que se mostram como uma excelente alternativa para a construção civil, por seu preço, sua sustentabilidade e facilidade de construção.

2.1. O QUE SÃO ESTRUTURAS METÁLICAS

Explicando o que são estruturas metálicas, Pereira (2018) diz que elas são elementos estruturais da construção civil, construídas totalmente em material metálico, principalmente o aço. Este é formado essencialmente por ferro e carbono e sua resistência depende da quantidade de carbono utilizado. Quanto mais carbono, maior será a resistência do aço para estrutura metálica, porém este será mais duro e frágil.

Quando se fala de construções em estruturas metálicas, não devem ser confundidas com as barras de aço utilizadas para a sustentação de estruturas de concreto armado, pois possuem propriedades e comportamentos distintos. As barras de aço são utilizadas em associação com o concreto para suprir a deficiência deste em resistir a esforços de tração, já na estrutura metálica há toda uma diferença no processo de construção e no seu comportamento (PEREIRA, 2018).

O estudo dessas estruturas é muito importante porque, infelizmente, no Brasil ainda não existem Normas e Padrões de construção, uso e qualidade das estruturas metálicas, sejam elas de pequeno, médio ou grande porte. Desse modo, levando em consideração que a construção desse tipo de estruturas obedece a um sistema com características próprias, diferente de outros métodos de construção como o de concreto armado, por exemplo, todas as etapas do projeto devem ser cuidadas para

que erros construtivos não sejam cometidos e as suas possíveis patologias sejam contornadas por meio do planejamento e da fiscalização (SACCHI e SOUZA, 2017).

As construções em estruturas metálicas no Brasil sofrem muito pela ação do clima, porque aqui há uma grande variação climática, com grandes picos de temperatura, alta e baixa, muitas vezes no mesmo dia, assim como grandes volumes de chuvas e poluição, em um ambiente bastante agressivo e potencialmente causador de muitas patologias nessas estruturas (SACCHI e SOUZA, 2017).

Araújo, Paes e Veríssimo (2013) também afirmam que no Brasil não há ainda uma direção clara de como construir usando essas estruturas. Dizem ainda que aqui no país, geralmente, essas estruturas são utilizadas em associação com outras estruturas, como a alvenaria. Surgem então conceitos como o de “alvenaria desvinculada”, utilizada por aqui para descrever a necessidade de criação de dispositivos que criem um sistema estrutural e de vedação. Nesses casos, os sistemas de vedação desempenharam a função de elementos de proteção para as estruturas metálicas.

Nesse estudo, Araújo, Paes e Veríssimo (2013), analisam as características e patologias das estruturas metálicas propondo que sobre elas seja utilizado um sistema de vedação em alvenaria para se evitar a ação do tempo, do clima, da chuva e dos poluentes que normalmente causam as principais patologias adquiridas nessas estruturas, porque há também outras patologias derivadas de vícios e erros construtivos.

Essas estruturas possuem diversas vantagens e uma delas, importante é a do seu grande potencial sustentável. Algo que veem chamando a atenção de determinados setores e grupos dentro da área de construção civil.

2.2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Ângulo, Zordan e John (2001) explicam que o atual modelo de produção gera sempre um resíduo, seja quando da produção de bens de consumo não-duráveis, como alimentos e embalagens descartáveis), seja com a produção de produtos

duráveis tais como os edifícios, pontes e estradas. Nesse modelo de produção quase sempre se utiliza matérias-primas não renováveis de origem natural. Até poucas décadas atrás esse modelo não representou um problema porque eram abundantes os recursos naturais, contudo com o crescimento da industrialização, e a criação das novas tecnologias, bem como pelo crescimento populacional e o aumento de pessoas em centros urbanos, esses resíduos se transformaram um problema grave após 1980.

Por isso, durante a ECO-92 ⁵e a definição da Agenda 21⁶, foi dado um destaque para a premente necessidade de se implementarem sistemas de gestão ambientais para os resíduos sólidos. Uma das soluções para isso é o uso da reciclagem de resíduos. A área da construção civil, por exemplo, chega a utilizar até 75% de recursos naturais, sendo uma das áreas que mais deve se voltar para essa preocupação com a reciclagem e a sustentabilidade (ÂNGULO, ZORDAN e JOHN, 2001).

Assim, a reciclagem na construção civil pode gerar inúmeros benefícios em termos ambientais, tais como: redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados; e redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem; necessidade da própria reciclagem dos resíduos de construção e demolição, que representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos; redução do consumo de energia durante o processo de produção; e redução da poluição; por exemplo para a indústria de cimento, que reduz a emissão de gás carbônico utilizando escória de alto forno em substituição ao cimento portland (ÂNGULO, ZORDAN e JOHN, 2001).

⁵ Na conferência Rio 92, realizada no Rio de Janeiro, foi elaborada uma avaliação da situação socioambiental desde a primeira conferência de Estocolmo (1972). Nela se discutiram as ações e medidas nacionais e internacionais sobre políticas ambientais, estabelecendo novas metas, cooperação internacional e criação de novas instituições. Dessa reunião saíram cinco documentos: Agenda 21, Convenção da Biodiversidade, Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, Princípios para a Administração Sustentável das Florestas, e Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (PORTAL EDUCAÇÃO, 2015).

⁶ Dez anos depois da Rio 92, em 2002, acontece a Conferência de Johannesburgo, na África do Sul, ficando conhecida como Rio+10. Ela contou com a participação de cerca de 100 chefes de estado, 22 mil participantes de 193 países e mais de 15 mil ONGs. Esta Conferência analisou o progresso e as ações desenvolvidas a partir da implantação da Agenda 21, discutindo ações referentes ao desenvolvimento sustentável com enfoque nas mudanças nos padrões de produção, consumo e manejo dos recursos naturais, assim como também na erradicação da pobreza (PORTAL EDUCAÇÃO, 2006).

A ideia de construção sustentável foi definida pela primeira vez por Charles Kibert, em 1994, na Conferência Internacional sobre Construção Sustentável ocorrida na cidade de Tampa, nos Estados Unidos. Nesta ocasião Kibert diz que uma construção sustentável visa a “*criação e o planejamento responsável de um ambiente construído saudável com base na otimização dos recursos naturais disponíveis e em princípios ecológicos*” (FORMIGONI *et al.*, 2014, p.93).

Segundo Formigoni *et al.* (2014), atualmente os recursos naturais disponíveis em países industrializados são consumidos em uma escala insustentável. Na União Europeia (UE), por exemplo, metade de todas as matérias-primas retiradas da superfície da Terra é utilizada e mais de 25% de todos os resíduos sólidos produzidos são provenientes da construção civil. Assim, a área da construção civil deveria ser uma das grandes responsáveis em pensar a questão do desenvolvimento sustentável.

Daí a importância de que outros modos de construção mais sustentável sejam pensados, como por exemplo, as construções feitas em estruturas metálicas. De acordo com Castro (1999), esse tipo de estrutura ainda é pouco utilizado na construção civil, apesar de seus benefícios. O autor explica que isso se deve a um fator cultural, pois a maioria das pessoas está acostumada a ver estruturas de concreto, acreditando que elas são as melhores possibilidades na construção. Para ele, a edificação em aço ainda é muito pouco usada no segmento da construção civil brasileira, e precisa ser mais bem explorada.

Ainda segundo o autor, muitos engenheiros, arquitetos e demais profissionais da área de construção civil não possuem conhecimento técnico suficiente, ou mesmo cultura de utilizar estruturas de aço em suas construções. Por isso o concreto armado é, ainda hoje, o principal modelo estrutural adotado pelos construtores brasileiros e por aqueles que os contratam. O que criou uma “cultura do concreto” no país, estrutura usada em larga escala (CASTRO, 1999, p.2).

Castro (1999) continua e diz que mesmo as poucas edificações em aço do país, ainda possuem, normalmente, vários elementos executados em concreto tais como as fundações, lajes, escadas e reservatórios. É claro que o aço não deve ser visto como um substituto do concreto, mas como uma boa alternativa em muitos casos, e como uma alternativa mais sustentável. Contudo, isso implica a necessidade de que esse tipo de estrutura seja conhecida, estudada e

compreendida em suas vantagens e desvantagens para que possa ser utilizada de modo eficaz.

Manuel e Carraquico (2015), falando dos custos da corrosão para as instalações de produção de petróleo, trazem dados importantes sobre os impactos gerais causados pela corrosão dos materiais metálicos. Segundo um estudo realizado pelo Congresso Americano entre 1999 a 2001, estimou-se que os custos diretos da corrosão são 3,1% do PIB americano e que 20% a 30% desses custos seriam evitáveis. Assim, trabalhar com esse material, seja em tanques de produção de petróleo, ou como estruturas metálicas nas construções, requer alguns cuidados e causa alguns impactos.

A corrosão é um dos maiores impactos a nível econômico, ambiental e de segurança na sociedade, quando se trabalha com materiais metálicos. Os custos diretos atribuídos ao uso desse material são: a necessidade de se procurar materiais mais resistentes e aumentos de espessuras; a necessidade de utilização de revestimentos, inibidores de corrosão e técnicas eletroquímicas; Necessidade de inspeções, manutenção e reparação constante; além da necessidade de se controlar as condições ambientais (MANUEL e CARRAQUICO, 2015).

Já os custos indiretos são: impacto no meio ambiente, na qualidade da água e do ar; preservação de monumentos; segurança das pessoas e bens; saúde pública; e sustentabilidade dos recursos naturais. Questões que não podem ser evitadas quando se escolhe trabalhar com estruturas metálicas (MANUEL e CARRAQUICO, 2015).

Em um tempo onde a sustentabilidade é o foco e as sociedades altamente tecnológicas têm percebido que sem um investimento nessa área não conseguirá manter os seus padrões de desenvolvimento, pois são finitos os recursos desse planeta, é imprescindível que se procurem novos modelos de desenvolvimento sustentável, seja na área da produção, do consumo ou das construções civis. Essas ideias não são necessariamente novas, já permeando o campo há algumas décadas, mas ainda hoje não são conhecidas e utilizadas em todo o seu potencial e isso precisa ser revisto.

2.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS

As estruturas metálicas, como quaisquer outras estruturas de construção, possuem inúmeras vantagens e desvantagens. Entendê-las é um passo necessário para que se consiga uma utilização segura, mais barata, mais rápida de ser executada, mais durável e mais sustentável, contornando seus possíveis impactos ambientais e econômicos.

Falando das principais vantagens do uso de estruturas metálicas na construção civil, Vitório (2003) cita: a possibilidade de maiores vãos nessas construções; um peso reduzido quando em comparação com outras estruturas como a de concreto armado; a rapidez e a facilidade de sua execução; a economia nas fundações; o reaproveitamento de material e um menor impacto ambiental, o que a torna bastante sustentável.

Contudo, o uso dessas estruturas metálicas também trás algumas desvantagens, que Vitório (2003) cita como sendo: necessidade de manutenções periódicas; necessidade de mão-de-obra especializada, o que dificulta e muitas vezes encarece o projeto; além de uma grande susceptibilidade e sensibilidade a determinados ambientes mais agressivos como o de maresia, a ação de ventos, da chuva e etc, sofrendo com a corrosão, a erosão e outros males, chamados de patologias.

As patologias em estruturas metálicas são consideradas uma dificuldade a ser contornada, e figuram como suas desvantagens, mas compreendendo essas patologias e os efeitos de cada ambiente nessas estruturas, essas patologias podem ser contornadas facilmente.

2.4. PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS

McKaig (1962) afirma que a maior parte dessas anomalias, ou patologias, se deve à ignorância ou ao descuido dos construtores que, por não a conhecerem a fundo, não sabem lidar e contornar suas desvantagens. São muitas as patologias

que podem acometer essas estruturas, como a corrosão de diversos tipos, a incrustação, vícios construtivos, defeitos de ordem estética, defeitos em solda e patologias de pintura. Mas todas elas poderiam ser contornadas e evitadas.

Sendo que o clima é um dos fatores determinantes no aparecimento dessas patologias, o Brasil é, segundo Sacchi e Souza (2017), um país onde essas estruturas precisam ser ainda mais cuidadas. Por conta do nosso clima, construções metálicas, seja de pequeno ou grande porte, como pontes, viadutos, túneis, obras hidráulicas, construções residenciais e comerciais, sofrem ainda mais do que em outras regiões. Aqui temos elevados gradientes de temperatura, muitas vezes no mesmo dia, grandes volumes de chuvas, poluições e ambientes de grande agressividade, o que contribui para o surgimento de manifestações patológicas que estão associadas com uma ou mais formas de deterioração.

Diante disso, Sacchi e Souza (2017) citam os principais tipos de patologias em estruturas metálicas, e de suas causas, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – As manifestações patológicas mais comuns e suas causas

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO AÇO	PRINCIPAIS CAUSAS
Corrosão localizada	Causada por deficiência de drenagem das águas pluviais e deficiências de detalhes construtivos, permitindo o acúmulo de umidade e de agentes agressivos.
Corrosão generalizada	Causa pela ausência de proteção contra o processo de corrosão.
Deformações excessivas	Causadas por sobrecargas ou efeitos térmicos não previstos no projeto original, ou ainda, deficiências na disposição de travejamentos.
Flambagem local ou global	Causadas pelo uso de modelos estruturais incorretos para verificação da estabilidade, ou deficiências no enrijecimento local das chapas, ou defeitos de imperfeições geométricas não consideradas no projeto e cálculo.
Fatura e propagação de fraturas	Falhas estas iniciadas por concentração de tensões devido a detalhes de projeto inadequados, defeitos de solda, ou variações de tensão não previstas no projeto.

Fonte: Sacchi e Souza (2017, p.22)

No geral, os agentes agressivos que afetam as construções em estruturas metálicas são: ações ambientais, como elevada umidade, respingos de marés, etc;

agentes externos agressivos: águas contaminadas, terrenos com solo contaminado, gases nocivos, produtos químicos, etc; causas naturais ligadas ao envelhecimento dos materiais componentes das estruturas (por exemplo, corrosão); além de falhas de projetos tais como falhas de fabricação, montagem e pintura (FORMIGONI *et al.*, 2014).

Formigoni *et al.* (2014) cita alguns tipos de corrosões em estruturas metálicas. Corrosão é uma camada visível do óxido de ferro pouco aderente que se forma em toda a extensão da estrutura. Entre esses tipos de corrosão temos: as Galvânicas, que ocorrem devido à formação de uma pilha eletrolítica através do contato de metais diferentes, onde as peças metálicas podem se comportar como eletrodos e promover os efeitos químicos de oxidação e redução; as corrosões por Lixiviação, outra forma de ataque às superfícies, onde se formam lâminas de material oxidado que se espalham por debaixo dele até camadas mais profundas; a corrosão por Erosão ocorre em locais turbulentos onde o meio corrosivo se encontra em alta velocidade aumentando o grau de oxidação das peças; Corrosão por tensão, que é resultante da soma de tensão de tração e um meio corrosivo. Ou ainda corrosão por pontos e por frestas.

Esses seis tipos de corrosão, citados acima, são exemplificados pelas Figuras 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

Figura 7 – Corrosão Galvânica⁷



Figura 8 – Corrosão por Lixiviação⁸



⁷ Fonte: Portal Scientia. Disponível em:

<<https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/corrosao/corrosao-galvanica>> Acesso em 10/02/2019.

⁸ Fonte: Portal Slide Player. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/40098/>>. Acesso em 10/02/2019.

Figura 9 – Corrosão por Erosão⁹Figura 10 – Corrosão por tensão¹⁰Figura 11 - Corrosão por Pontos¹¹Figura 12 – Corrosão por Frestas¹²

⁹ Fonte: Portal Rijeza. Disponível em: <<https://www.rijeza.com.br/blog/prevenindo-o-desgaste-por-corrosao-erosao>>. Acesso em 10/02/2019.

¹⁰ Fonte: Portal Cimm. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6349> Acesso em 10/02/2019.

¹¹ Fonte: Blog do Eliomar. Disponível em: <<http://portaleliomar.opovo.com.br/wp-content/uploads/2015/03/corrsao2.jpg>>. Acesso em 10/02/2019.

¹² Fonte: Portal Inspeção Equipto. Disponível em: <<http://inspecaoequipto.blogspot.com/2014/01/caso-055-corrosao-por-fresta-em.html>>. Acesso em 10/02/2019.

Em termos econômicos e de sustentabilidade a questão da corrosão de materiais metálicos é importante, isso porque, de acordo com Maia *et al.* (2015), é estimado que cerca de 5% da receita de um país industrializado seja gasta com a prevenção da corrosão e a manutenção ou na substituição de produtos perdidos ou contaminados como resultado das reações de corrosão. Além dos grandes prejuízos com acidentes ou perdas de vidas humanas devido às contaminações, poluição e falta de segurança dos equipamentos.

Características que foram estudadas na prática através da realização dos experimentos propostos, onde se observou algumas dessas patologias em ligas metálicas mergulhadas em soluções corrosivas, e testaram-se duas tinturas anticorrosivas disponíveis no mercado.

2.5. ANÁLISE QUÍMICA DO PROCESSO CORROSIVO

Cientificamente, o termo corrosão é utilizado para descrever o processo de destruição total, parcial, superficial ou estrutural dos materiais por um ataque eletroquímico, químico ou eletrolítico. Com base nessas definições, pode-se classificar a corrosão como sendo eletroquímica, química ou eletrolítica (MERÇON *et al.*, 2004).

Merçon *et al.* (2004), explicando esses três tipos de corrosão, dizem que corrosão química, também chamada de corrosão seca, ocorre em meios não aquosos onde o metal fica em contato com agentes químicos agressivos; já a corrosão eletrolítica ocorre a partir do contato do metal com uma corrente elétrica externa. Nenhum desses dois tipos de corrosão vem a ser o caso do tipo de corrosão observado no experimento desenvolvido por este trabalho.

Este estudo verificou a presença da corrosão eletroquímica, que, ainda segundo Marçon *et al.* (2004), é o processo de corrosão mais comum e espontâneo, ocorrido quando o metal está em contato com um eletrólito, ou seja, em contato com uma solução que permita o fluxo de elétrons, tal como as soluções utilizadas nesse estudo: NaCl e NaOH.

A pilha de corrosão formada nesse processo causa a ferrugem e pode ser do tipo anódica (oxidação), ou catódica (redução). Por isso, o produto final da corrosão, ou seja, a ferrugem consiste nos compostos do óxido de ferro: Fe_3O_4 (magnetita), quando de coloração preta, e $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ (maguemita) quando de coloração alaranjada ou castanho-avermelhada (MERÇON *et al.*, 2004).

Maia *et al.* (2015), dizem que outro fator importante para velocidade com que ocorre o processo corrosivo se deve ao efeito da água e da atmosfera que acumulam espécies iônicas que aumentam o processo de deterioração dos metais. A acidez resultante da presença de espécies na água pode ser medida por meio dos valores de pHs.

O mesmo é dito por Carvalho *et al.* (2016), quando afirmam que o grau da corrosão se deve principalmente as características físicas e químicas do meio, contato com a atmosfera e com o solo. Sendo que o contato dos objetos metálicos com o meio aquoso proporciona a exposição aos sais dissolvidos e suas características ácidas ou básicas, além do acúmulo de matéria orgânica que altera o pH da água que está em contato com o material, o que tem grande influência no processo de corrosão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo abordam-se os materiais e métodos utilizados neste trabalho de conclusão de graduação.

3.1. MATERIAIS

Os materiais utilizados no experimento preliminar foram:

- 6 corpos de prova de Viga metálica enrijecida tipo U, de aço, com teor de carbono 0,2%, de diferentes tamanhos e formatos, conforme a Figura 13, abaixo. Os formatos e tamanhos dessas peças não seguem um padrão e não foram especificados, pois esses parâmetros não interferem no experimento preliminar que visa apenas verificar, através da observação visual, se o processo corrosivo é maior em um meio neutro ou alcalino, para posterior escolha da melhor solução a ser utilizada no experimento principal;

Figura 13 – Corpos de prova do experimento preliminar



Fonte: Próprio autor (2019)

- Solução de NaCl 10%;
- Solução de NaOH 10%;
- Medidor de pH de bancada;
- Balança de precisão de 0,001;
- 2 Béqueres 500ml;

Os materiais utilizados no experimento principal foram:

- 12 corpos de prova de Viga metálica enrijecida tipo U, de aço, com teor de carbono 0,2%, cada um com 150mm de altura da alma, 50mm de largura das abas, 17mm de altura do elemento enrijecido e 2mm de espessura da chapa, conforme a Figura 14;

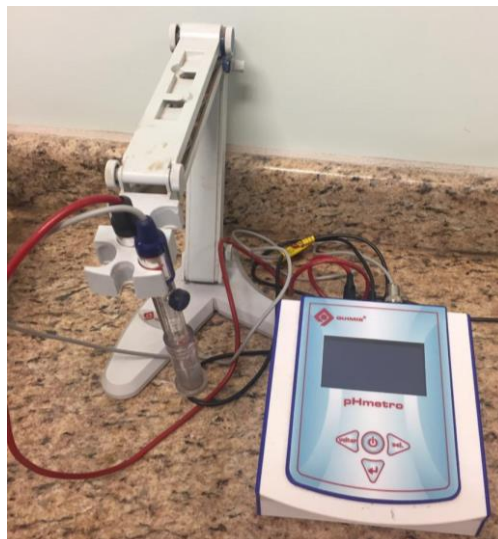
Figura 14 – Corpos de prova do experimento principal



Fonte: Próprio autor (2019)

- Medidor de pH de bancada, conforme Figura 15;

Figura 15 – pHmetro (Quimis)



Fonte: Próprio autor (2019)

- Lupa estereoscópico com zoom de 40x, conforme Figura 16;
Figura 16 – Microscópio Estereoscópico (Quimis)



Fonte: Próprio autor (2019)

- Prensa Hidráulica, conforme Figura 17;
Figura 17 – Prensa Hidráulica (Quimis)



Fonte: Próprio autor (2019)

- Estufa, conforme Figura 18;

Figura 18 – Estufa de secagem (Quimis)



Fonte: Próprio autor (2019)

- Bastão de vidro, conforme Figura 19;

Figura 19 – Bastão de Vidro



Fonte: Próprio autor (2019)

- Béqueres de 2 litros;
- 3 Baldes de 20 litros;
- Balança;
- Solução de NaCl 10%;
- Pinça de fixação.
- Bastão de Vidro

3.2. MÉTODOS

Para atingir os objetivos traçados para este estudo, foi realizada uma revisão de literatura por meio de trabalhos científicos que versassem sobre o tema proposto. Buscaram-se informações sobre as patologias oriundas de estruturas metálicas e algumas formas de prevenção e correção adequadas a cada tipo, testando algumas delas através de experimentos.

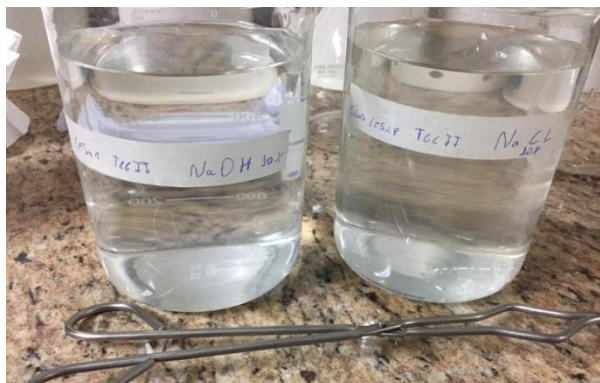
Os experimentos foram realizados no laboratório do curso de Engenharia Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia, onde se observou o surgimento de patologias em estrutura metálica do tipo aço carbono, por meio de acompanhamento visual. Os experimentos foram compostos por duas fases, uma denominada preliminar e outra principal.

3.2.1. METODOLOGIA DO EXPERIMENTO PRELIMINAR

O experimento preliminar consistiu na avaliação visual do ataque químico, tanto em um meio neutro como em um alcalino, para se verificar em qual deles os corpos de prova sofreriam maiores danos e apresentariam maiores patologias. Isso porque, para o experimento principal precisaríamos escolher a solução química mais agressiva ao tipo de material em questão, para melhor observação da eficácia das tinturas protetivas a serem testadas.

Os corpos de prova do experimento preliminar foram numerados de 0 a 5, conforme ilustra a Figura 13, sendo três corpos de prova mergulhados no meio alcalino e três corpos de prova no meio neutro. Como requisito para encerramento deste procedimento optou-se por dois fatores: o que mais apresentasse patologia visual em um prazo de 7 dias, ou o que mais sofresse alteração em seu peso e pH da solução.

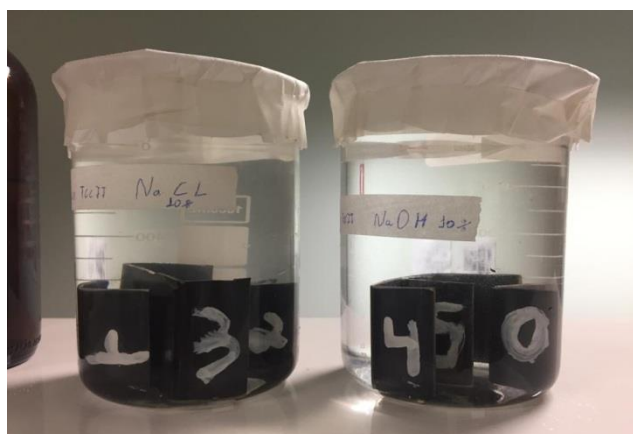
Figura 20 – Soluções do experimento preliminar prontas



Fonte: Próprio autor (2019)

Na Figura 21, abaixo, está representado o experimento preliminar já em andamento, com os corpos de prova 1, 2 e 3 (Figura 13), mergulhados na solução NaCl 10% p/v, e os corpos de prova 0, 4 e 5 (Figura 13), mergulhados na solução NaOH 10% p/v. Ambas as soluções permaneceram com os corpos de prova em imersão por 7 dias para posterior análise dos resultados e escolha da melhor solução química a ser utilizada no experimento principal.

Figura 21 – Soluções do experimento preliminar já com as peças mergulhadas



Fonte: Próprio autor (2019)

3.2.2. METODOLOGIA DO EXPERIMENTO PRINCIPAL

Após a conclusão do experimento preliminar, verificou-se que as peças metálicas mergulhadas em NaCl 10% p/v, ou seja, em meio neutro, apresentaram um processo corrosivo visualmente mais acentuado em relação aquelas expostas ao meio alcalino, que não sofreram quase que nenhuma alteração, tendo uma corrosão

mais discreta, conforme pode ser conferido no item 4.1 deste trabalho, nos resultados e discussões do experimento preliminar.

Partindo dessa verificação, o experimento principal foi iniciado, utilizando 12 corpos de prova especificados no Item 3.1, e numerados de 1 a 12. Desses, os corpos de prova 4, 5 e 6 foram separados, não sendo expostos à solução de NaCl 10% p/v, para posteriormente se comparar as resistências mecânicas. Os corpos 10, 11 e 12 foram mergulhados nessa solução sem qualquer tinta protetiva, os corpos 1, 2 e 3 foram recobertos com Primer (Figura 22)¹³, e os corpos 7, 8 e 9 com Zarcão (Figura 22)¹⁴.

Figura 22 – Tinturas Primer (RHAI) e Zarcão (UNILAR)



Fonte: o próprio autor

As 9 peças que foram mergulhadas em solução de NaCl 10% p/v, permaneceram no experimento durante as 9 semanas, conforme os parâmetros dos estudos similares de Carneiro e Alvarenga (2010) e de Alvarenga (2011).

Após o início do experimento principal, que teve duração de 9 semanas, fotos semanais foram retiradas utilizando-se uma lupa estereoscópio com zoom de 40x no auxílio de uma câmera, e foram feitas pequenos círculos no centro dos corpos, para ter uma precisão melhor e com objetivo de ter um acompanhamento visual detalhado do impacto da solução NaCl 10% p/v nas peças com e sem proteção. Essas observações e patologias foram catalogadas, bem como os resultados das pesagens das peças e da medição do Ph das soluções ao fim de cada inspeção visual.

¹³ Primer, segundo Latim (2019), é o nome usado para determinar um Primário, ou um fundo preparador antioxidante, que é uma tinta especial para preparação de superfícies, permitindo à camada de acabamento para uma melhor aderência.

¹⁴ Zarcão, segundo o Portal EACweb (2019), é uma tintura anticorrosiva muito utilizada para proteger metais de algumas patologias, tanto em ambientes internos quanto externos.

No término do experimento foram realizados testes de resistência mecânica para avaliação da influência do ataque químico na resistência dos corpos de prova com as proteções descritas anteriormente, como foco principal desse estudo.

Esses testes foram realizados de acordo com a ISO11474 (1998) e a NBR8754 (1985), que especificam os tipos e modos de realização dos testes de corrosão, tanto o acelerado quanto o não acelerado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo engloba os resultados e discussões do trabalho, bem como as análises dos dois experimentos realizados. Primeiramente apresentam-se os resultados e discussões a cerca do experimento preliminar e depois do experimento principal.

4.1. EXPERIMENTO PRELIMINAR

No experimento preliminar verificou-se através de acompanhamento visual que houve o surgimento de um grau acentuado de patologias nas estruturas metálicas mergulhadas em solução neutra. Observa-se na Figura 23, por exemplo, que com apenas 24h da inserção dos corpos de prova nas soluções já se constata um início de processo de corrosão nas peças.

Figura 23 – experimento preliminar após 24 horas, início do processo de Corrosão em NaCl 10% p/v



Fonte: Próprio autor (2019)

Após os 7 dias de observação do experimento preliminar, verificou-se que as peças expostas à solução NaCl 10% p/v, ou seja, ao meio neutro, realmente apresentaram um processo corrosivo mais rápido e acentuado, visualmente, em relação aquelas expostas ao meio alcalino, que não sofreram quase que nenhuma alteração, tendo uma corrosão mais discreta. Em ambas as soluções pode-se

observar uma leve presença de Cloreto de Ferro (FeCl_3), contudo em maior quantidade na solução NaCl.

Essas afirmações podem ser verificadas nas Figuras 23, acima, e 24, 25 e 26, abaixo. Pela observação da coloração alaranjada da solução da Figura 24 pode-se constatar a presença de cloreto de ferro (FeCl_3), e de um processo de corrosão das peças metálicas, pela cor alaranjada da solução, conforme Merçon *et al.* (2004).

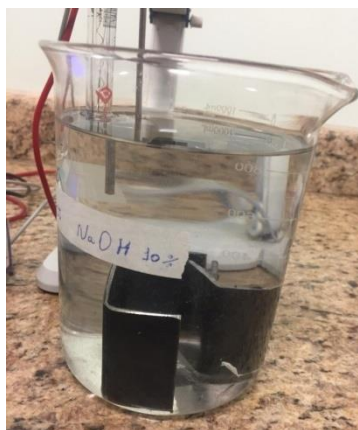
Figura 24 – experimento preliminar após seus 7 dias, processo de corrosão avançado em NaCl 10% p/v



Fonte: Próprio autor (2019)

Já as peças mergulhadas na solução NaOH 10% p/v não apresentaram um processo corrosivo visível, e a solução permaneceu cristalina, conforme Figura 25.

Figura 25 – experimento preliminar após seus 7 dias, NaOH 10% p/v sem processo corrosivo



Fonte: Próprio autor (2019)

Na Figura 26 observa-se que ao final do experimento preliminar as peças que foram mergulhadas em NaCl 10% p/v apresentaram um processo corrosivo mais evidente. As peças mergulhadas na solução alcalina também apresentam algumas

leves alterações visuais, mas como o objetivo do experimento preliminar era verificar qual meio era o mais rápido na produção de patologia, não restam dúvidas de que foram aquelas mergulhadas na solução neutra, NaCl 10% p/v.

Figura 26 – Resultado final do experimento preliminar, do lado direito aparecem as peças mergulhadas em NaCl 10% p/v com processo corrosivo evidente



Fonte: Próprio autor (2019)

Durante os 7 dias de experimento não houve variação do pH das soluções que mantiveram suas características de alcalinidade e neutralidade, com a solução NaOH apresentando pH 14 e a NaCl apresentando pH 7. Já em relação ao peso dos corpos de prova, nas Tabelas 2 e 3 pode-se observar a pesagem antes e depois do experimento preliminar.

Para a pesagem, as peças passaram em um processo de secagem na estufa durante 25 minutos a 60 graus, de modo a retirar toda umidade que pudesse interferir em seus pesos. Foi utilizada uma pinça para pegar as peças e coloca-las na estufa, bem como para pesar, a fim de se evitar o contato direto com o material.

Tabela 2 – Pesos dos corpos de prova antes e após a realização do experimento preliminar em NaCl 10% p/v

Corpos de Prova	Peso antes do experimento (g)	Peso após o experimento (g)
1	51,083	51,066
2	50,033	50,010
3	117,257	117,169

Fonte: Próprio autor (2019)

Os corpos de prova 1, 2 e 3 mergulhados em solução neutra demonstraram perdas de peso de até 0,059%.

Tabela 3 – Pesos dos corpos de prova antes e após a realização do experimento preliminar em NaOH 10% p/v

Corpos de Prova	Peso antes do experimento (g)	Peso após o experimento (g)
0	50,638	50,632
4	106,743	106,684
5	52,987	52,979

Fonte: Próprio autor (2019)

Os corpos de prova 0, 4 e 5 mergulhados em solução alcalina demonstraram perdas de peso de até 0.036% em relação ao peso inicial. As diferenças de peso foram similares e, portanto não foram o fator determinante para a escolha da solução a ser utilizada no experimento principal, mas devido a outros fatores como a observação visual das peças e da solução, optou-se por utilizar o ataque químico com a solução neutra de NaCl 10% p/v no experimento principal.

4.2. EXPERIMENTO PRINCIPAL

Dos 12 corpos de prova, os corpos 4, 5 e 6 não foram mergulhados na solução, sendo reservados intactos para posterior comparação de suas resistências mecânicas, e nove foram mergulhados em NaCl 10% p/v, sendo que desses, os corpos 10, 11 e 12 foram expostos sem qualquer proteção, os corpos 1, 2 e 3 foram revestidos de Primer e os corpos 7, 8 e 9 foram revestidos de Zarcão.

Abaixo, as Figuras de número 27 a 35 mostram as peças durante as 9 semanas do experimento principal.

Figura 27 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 1)



Fonte: O próprio autor (2019)

Figura 28 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 2)



Fonte: O próprio autor (2019)

Figura 29 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 3)



Fonte: O próprio autor (2019)

Figura 30 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 4)



Fonte: O próprio autor (2019)

Figura 31 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 5)



Fonte: O próprio autor (2019)

Figura 32 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 6)



Fonte: O próprio autor (2019)

Figura 33 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 7)



Fonte: O próprio autor (2019)

Figura 34 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 8)



Fonte: O próprio autor (2019)

Figura 35 – Fotos dos corpos de prova do experimento principal (Semana 9)



Fonte: O próprio autor (2019)

Além das fotografias obtidas durante a observação visual da progressão das patologias, ao final do experimento principal foram realizadas fotografias com uma lupa estereoscópio com zoom de 40x no auxílio de um telefone celular, para maior acuidade da observação. Como as peças dos corpos de prova foram agrupadas de três em três, para representação neste trabalho utilizamos apenas a fotografia de uma peça de cada grupo, demonstrando a sua evolução com imagens microscópicas antes do mergulho na solução, e após 21, 35, 49 e 63 dias de experimento.

Na Figura 36 aparecem as fotografias feitas em zoom da peça 1, revestida com Primer. Pode-se observar que mesmo com essa camada de proteção, em 21 dias de experimento, com a peça mergulhada na solução, a textura, antes mais lisa e uniforme, começa a apresentar ondulações e alguns pontos alaranjados. Conforme o experimento segue, observa-se que o tom alaranjado de toda a peça se intensifica, contudo a estrutura da peça não parece ser afetada e sua superfície não apresenta ranhuras, rachaduras, descamações e etc. Essa coloração alaranjada, segundo Merçon *et al.* (2004), deve-se a um processo de corrosão eletroquímica, ou seja, quando o metal está em contato com um eletrólito (nesse caso a solução NaCl), e decorre da formação de ferrugem do tipo (oxidação), com compostos $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (causa da cor alaranjada).

Já na Figura 37 aparecem as fotografias feitas em zoom da peça 7, revestida com Zarcão. Deve-se notar que a peça revestida com Zarcão já assume naturalmente uma coloração muito mais escura, pendendo para o marrom, e com uma textura bastante “ondulada”, com a presença de muitas bolhas. Com 21 dias de experimento a cor assume um tom cinza, e a textura da peça apresenta-se mais lisa, demonstrando um desgaste da camada preta e enrugada do zarcão, a presença de ferrugem. No decorrer das semanas o tom alaranjado se intensifica muito, pela presença de $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, e a partir da semana 49, começam a aparecer rachaduras. Essas rachaduras, bastante visíveis ao final do experimento, aos 63 dias, podem ser tanto rachaduras apenas na camada de Zarcão que começa a se soltar, ou no próprio metal da peça, algo que foi avaliado posteriormente nesse estudo, após a conclusão do teste de resistência mecânica realizada com as peças e que é descrito abaixo.

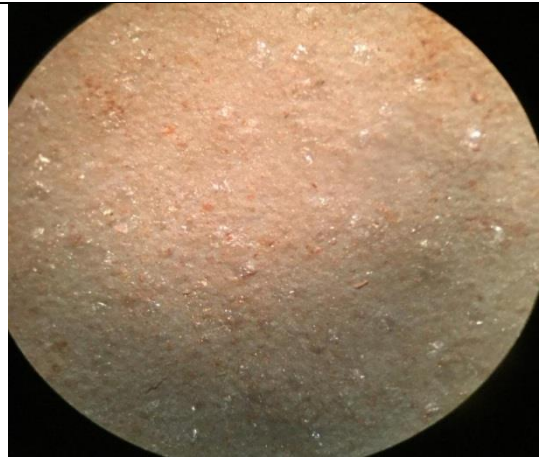
Figura 36 - Fotos em lupa estereoscópico com zoom de 40x, peça 1 (PRIMER)



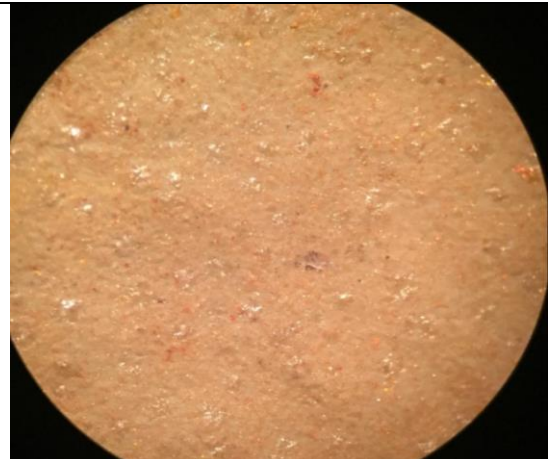
Antes do experimento



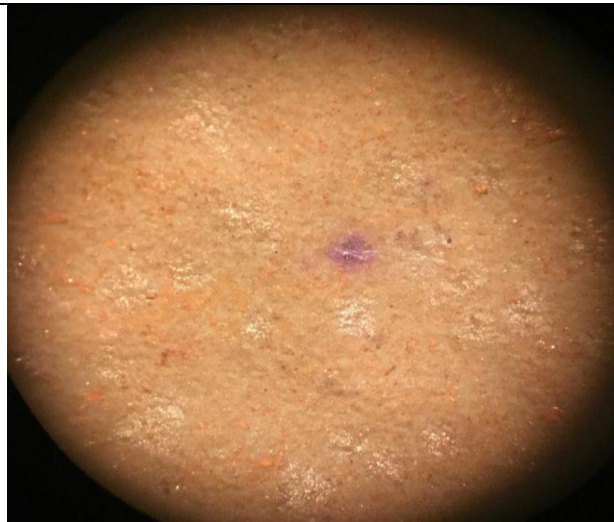
21 dias de experimento



35 dias de experimento



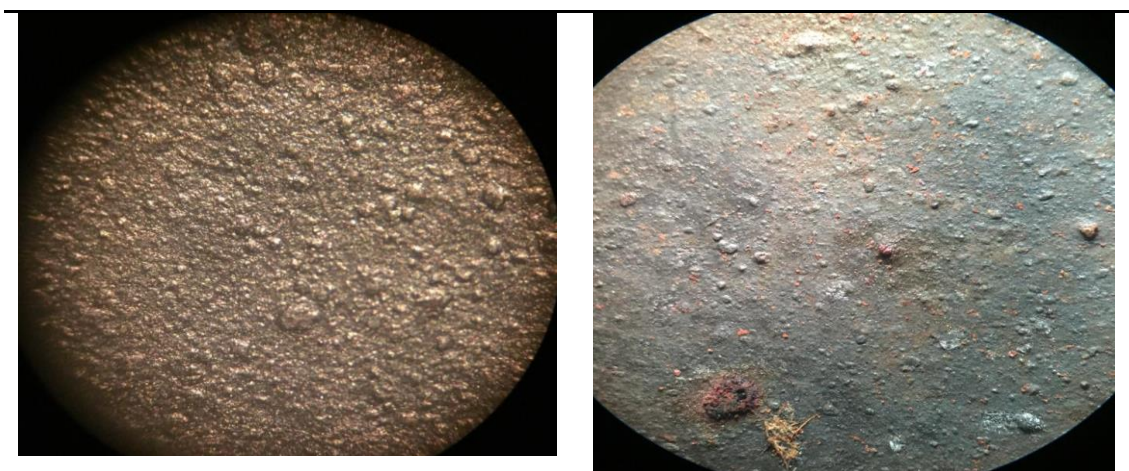
49 dias de experimento



63 dias de experimento

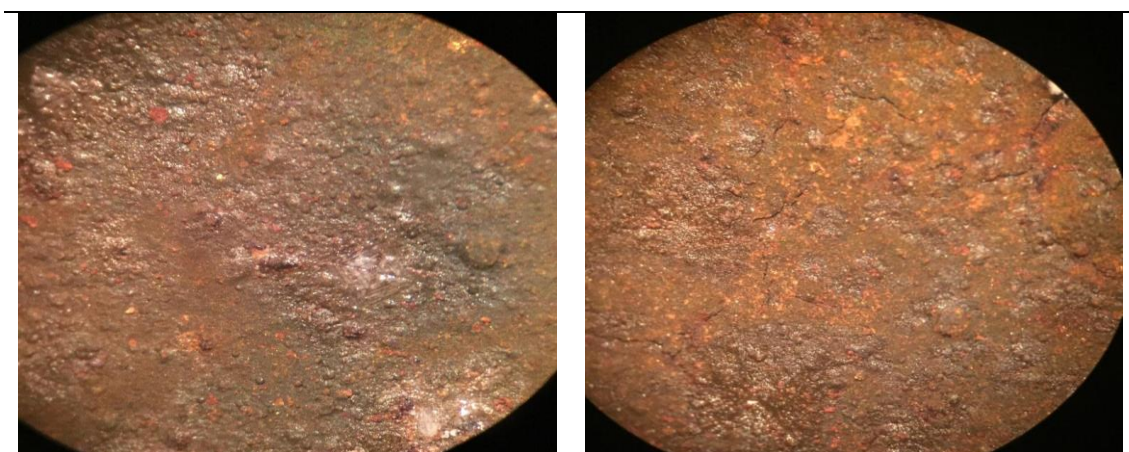
Fonte: O próprio autor (2019)

Figura 37 – Fotos em lupa estereoscópica com zoom de 40x, peça 7 (ZARCÃO)



Antes do experimento

21 dias de experimento



35 dias de experimento

49 dias de experimento



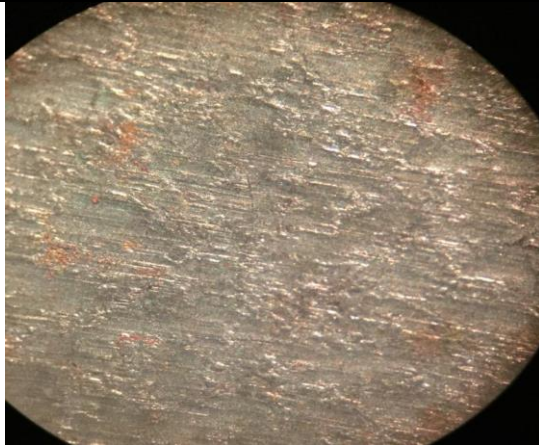
63 dias de experimento

Fonte: O próprio autor (2019)

Na Figura 38 acima, aparecem as fotografias feitas em zoom da peça 10, sem qualquer revestimento de proteção. É importante notar que observando a peça sem proteção e antes mesmo de o experimento começar, ela já apresenta, em nível microscópico, alguns pequenos sinais de ferrugem resultante de $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, pela presença de alguns sinais alaranjados. A peça também apresenta ranhuras naturais.

Contudo, com 21 dias os sinais alaranjados se intensificam em algumas áreas da peça, e, a partir dos 35 dias começam a aparecer manchas e pontos negros, sinais de outro tipo de corrosão, resultante de Fe_3O_4 (que dá a coloração preta, segundo Merçon et al. (2004)). Ainda que as peças protegidas tenham apresentando corrosão aparente, do tipo alaranjado, não apresentaram essas manchas e sinais pretos, mostrando que talvez as proteções tenham surtido algum efeito, amenizando outros tipos de patologias e ferrugens. Algo a ser observado nos testes finais de resistência, peso e pH da solução.

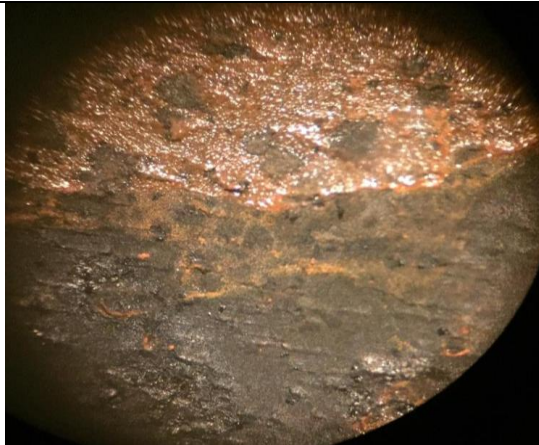
Figura 38 – Fotos em lupa estereoscópica com zoom de 40x, peça 10 (SEM PROTEÇÃO)



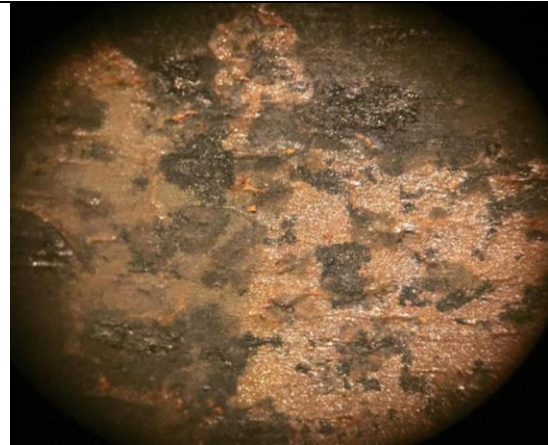
Antes do experimento



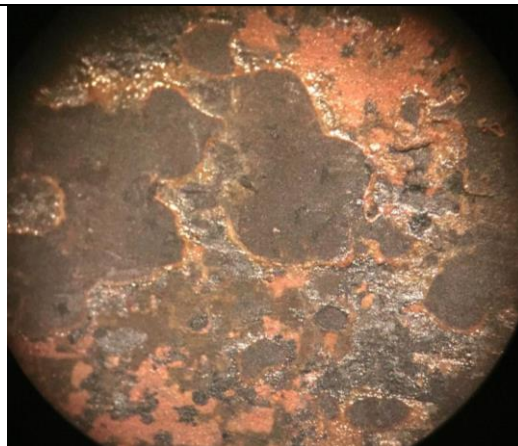
21 dias de experimento



35 dias de experimento



49 dias de experimento



63 dias de experimento

Fonte: O próprio autor (2019)

Após a retirada das peças dos três recipientes com a solução de NaCl 10% p/v, foram retirados 2 litros da solução de cada um para avaliar a coloração e o estado do líquido, sendo que o recipiente 1 é a solução que conteve as peças metálicas sem proteção (corpos 10, 11 e 12), o recipiente 2 conteve o resultante das peças com zarcão (corpos 7, 8 e 9) e o recipiente 3 das peças com Primer (corpos 1, 2 e 3), conforme Figura 39.

Pela observação da coloração alaranjada da solução da Figura 39, pode-se constatar a presença de cloreto de ferro (FeCl_2), e de um processo de corrosão das peças metálicas nela mergulhadas.

Figura 39 – Soluções resultantes do experimento principal



Fonte: O próprio autor (2019)

A medição do pH de todas as soluções permaneceu estável, em 7,5. Já os pesos das peças, tanto com a proteção do primer quanto do zarcão não apresentaram perda de massa significativa. Sendo que em algumas semanas elas até mesmo apresentavam um aumento de peso por conta da formação de óxido de ferro sobre a superfície das peças devido ao processo de óxido redução. Já nas peças sem proteção houve uma perda de massa considerável durante toda verificação semanal, que podem ser observados na Tabela 4.

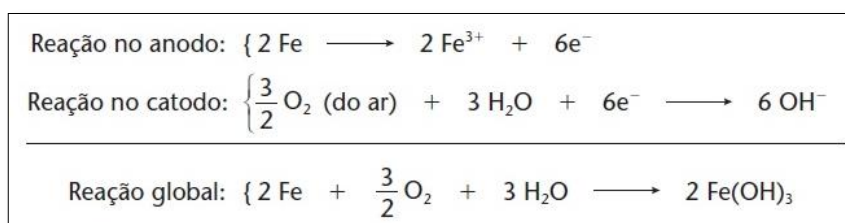
Tabela 4 – Pesos das peças do experimento principal

DATA	PESO (g)								
	PEÇA 1	PEÇA 2	PEÇA 3	PEÇA 7	PEÇA 8	PEÇA 9	PEÇA 10	PEÇA 11	PEÇA 12
PESO INICIAL	504,333	500,114	493,502	495,423	496,514	500,215	502,350	506,079	481,612
1° SEMANA	504,415	500,217	493,656	495,685	496,828	500,317	502,332	506,055	481,597
2° SEMANA	504,567	500,095	493,793	495,775	496,509	500,202	502,178	506,018	481,428
3° SEMANA	505,688	500,205	493,921	495,807	496,742	500,469	501,864	505,621	481,078
4° SEMANA	505,852	500,474	494,781	495,902	496,898	500,693	501,717	505,506	480,853
5° SEMANA	506,255	500,988	495,051	495,959	496,996	500,768	501,585	505,362	480,580
VARIAÇÃO DO PESO (g)	+ 1,922	+ 0,874	+1,549	+ 0,536	+ 0,482	+ 0,553	- 0,765	- 0,717	- 1,032
6° SEMANA	505,982	500,376	494,349	495,725	496,653	500,615	501,256	504,968	480,125
7° SEMANA	505,626	500,031	494,192	495,693	494,627	500,503	500,764	504,629	479,677
8° SEMANA	504,520	499,832	493,873	495,562	494,478	500,125	500,362	504,213	479,303
9° SEMANA	504,457	499,411	493,611	495,543	494,382	500,012	500,046	503,977	479,105
VARIAÇÃO DO PESO (g)	- 1,525	-0,965	-0,738	-0,182	-2,271	-0,603	-1,210	-0,991	-1,020

Fonte: O próprio autor (2019)

Cardoso (2016), explicando o processo de reação química de oxidação do ferro (chamado popularmente de ferrugem), diz que ela pode ser representada pela fórmula manifesta na Figura 40.

Figura 40 – Fórmula da reação química de óxido de ferro



Fonte: Cardoso (2016)

Analisando a fórmula percebe-se que a umidade e o ar estão presentes em todas essas reações, sendo são fatores essenciais para que a reação ocorra, uma vez que sem água e oxigênio a corrosão não acontece (CARDOSO, 2016).

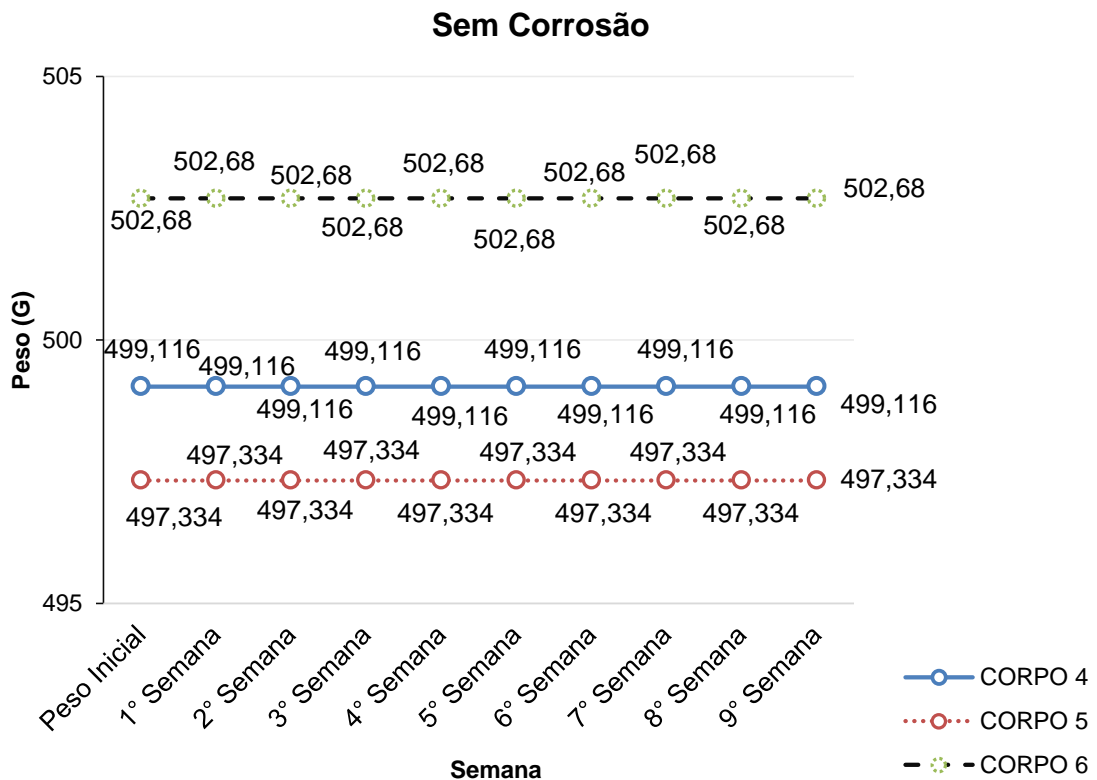
Existem fatores que por si só não provocam corrosão, mas são capazes de acelerar o processo. Um exemplo disso é a presença de gás carbônico (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e outras substâncias ácidas no ar, que

deslocam a reação catódica para a direita (princípio de Le Chatelier), fazendo com que a ferrugem se forme mais rapidamente. Ambientes salinos também contribuem para o processo de corrosão porque aumentam a condutividade elétrica (CARDOSO, 2016, p.2).

Além da tabela de pesos, os gráficos 1, 2, 3 e 4, abaixo, demonstram a evolução dos pesos das peças nos diferentes grupos do experimento principal.

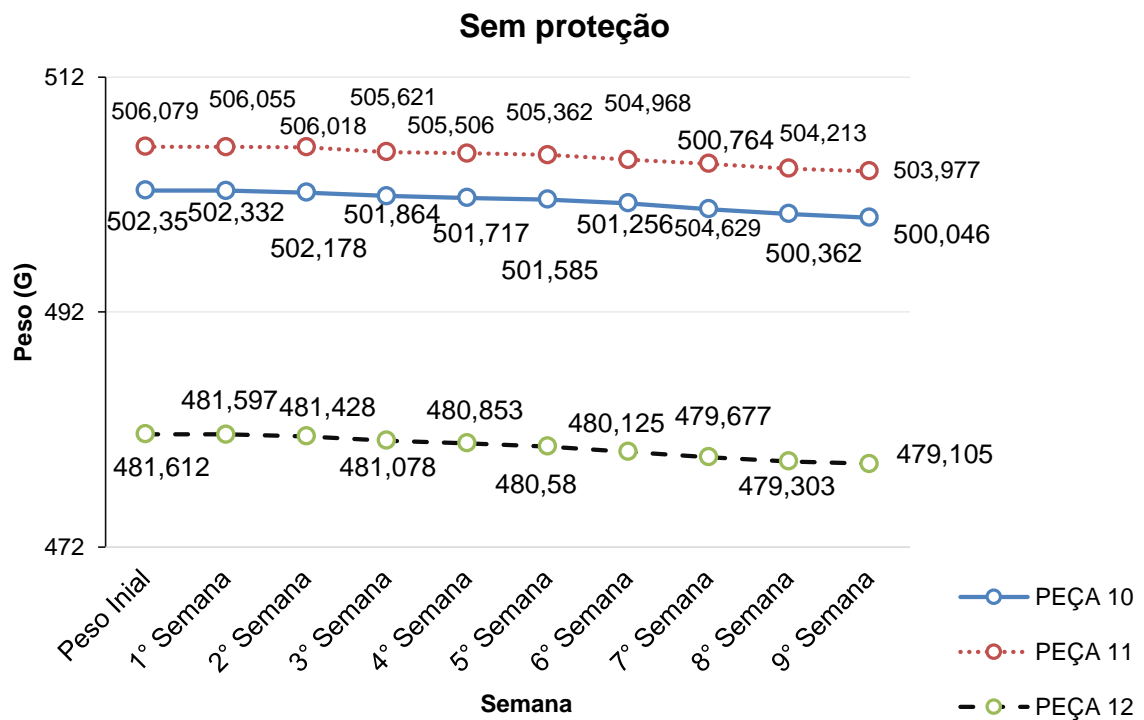
No Gráfico 1 observa-se que, como esperado, as peças reservadas a parte do experimento, corpos de prova 4, 5 e 6, não sofrendo qualquer agressão química, permaneceram intactas e com o peso constante. Ao contrário do observado nos outros grupos de peças do experimento, conforme observado nos gráficos 2, 3 e 4.

Gráfico 1 – Evolução dos pesos dos corpos de prova preservados



No caso do observado no Gráfico 2, os corpos de prova 10, 11 e 12, mergulhados na solução do experimento principal, sem qualquer medida protetiva, apresentaram perdas significativas de peso no curto espaço de tempo do experimento. Da 1ª à 5ª semana essas peças tiveram uma perda média de 0,838, e da 5ª até a 9ª semana acentuou-se chegando a 1,07% de perda de peso. Esse ganho de peso inicial deve-se a formação de óxido de ferro (Fe_3O_4) sobre a superfície das peças, devido ao processo de óxido redução. Após esse período as peças começam a ser corroídas, daí sua perda de peso.

Gráfico 2 – Evolução dos pesos dos corpos de prova sem proteção

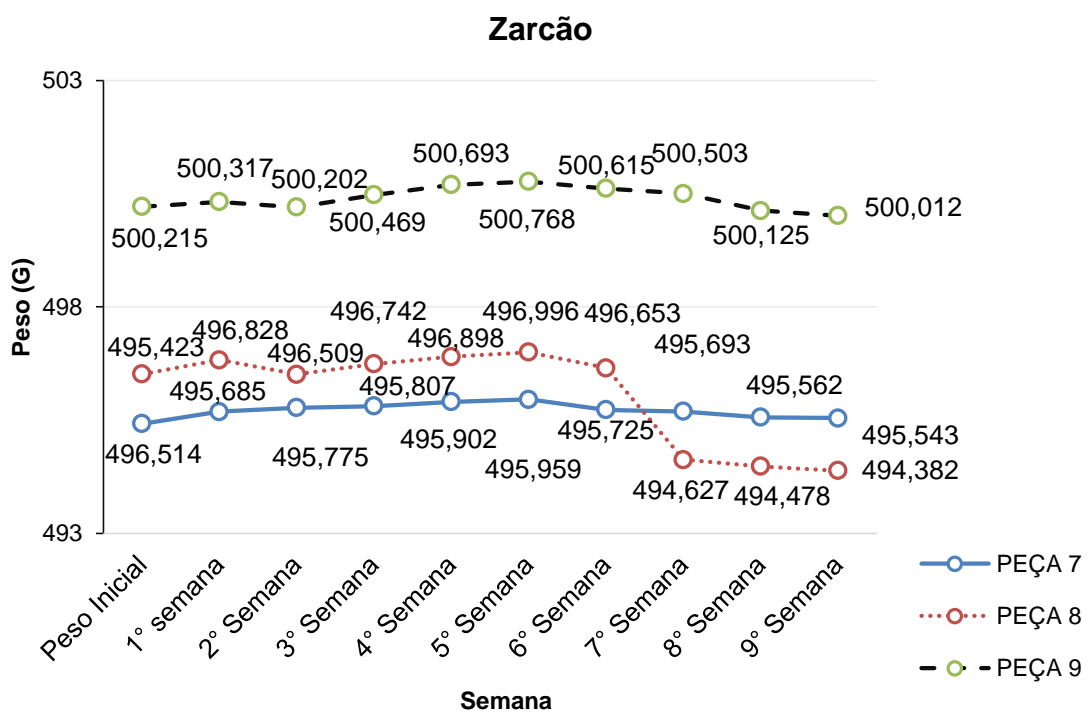


Fonte: O próprio autor (2019)

No caso do observado no Gráfico 3, os corpos de prova 7, 8 e 9, mergulhados na solução do experimento principal com a proteção do Zarcão, nas primeiras semanas houve um ganho de peso de 1,571% em média. Apresentando perda de peso apenas nas semanas seguintes, chegando ao final com 1,018% de perda. Isso novamente se dá pela formação de óxido de ferro (Fe_3O_4) sobre a superfície das peças, devido ao processo de óxido redução, sendo que posteriormente as peças começam a ser corroídas, justificando sua perda de peso.

Contudo, o corpo de prova 8 apresentou uma perda muito mais acentuada, chegando aos 0,4% de perda de peso, valor similar ao das peças sem qualquer proteção, o que pode sugerir uma falha no processo de pintura com Zarcão, especificamente nessa peça, pois seus valores não batem com os observados nas outras duas peças. Por isso, tirando essa peça do cálculo a média de perda das outras duas foi de 0,392%.

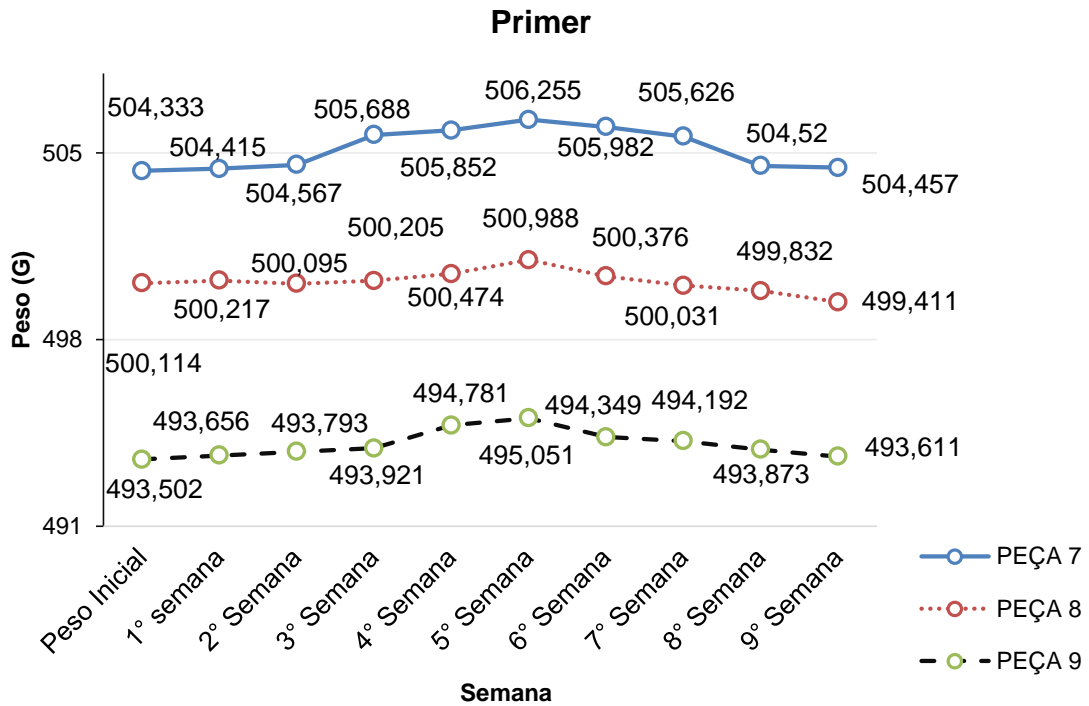
Gráfico 3 – Evolução dos pesos dos corpos de prova com Zarcão



Fonte: O próprio autor (2019)

No caso do observado no Gráfico 4, os corpos de prova 1, 2 e 3, mergulhados na solução do experimento principal com a proteção do Primer também apresentaram um ganho de peso de aproximadamente 1,448% nas cinco primeiras semanas, e uma perda de peso em torno de 1,076% nas semanas seguintes. O que mostra sua maior eficácia em comparação com Zarcão.

Gráfico 4 – Evolução dos pesos dos corpos de prova com Primer



4.3. TESTE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

Após a finalização do experimento principal e observação visual dos corpos de prova, eles foram submetidos a um teste de resistência mecânica em uma prensa hidráulica, Figura 41, para verificação efetiva da influência das patologias de corrosão na resistência mecânica de cada peça metálica. O resultado das peças após o teste de resistência pode ser conferido na Figura 31, bem como na Tabela 4 e nos Gráficos 5 e 6, abaixo.

Figura 41 – Corpos de prova após teste de Resistência Mecânica



Fonte: O próprio autor (2019)

Na figura 41, acima, observa-se a diferença da integridade dos diferentes grupos de peças após o teste de resistência mecânica.

Tabela 5 - Resistência à Compressão

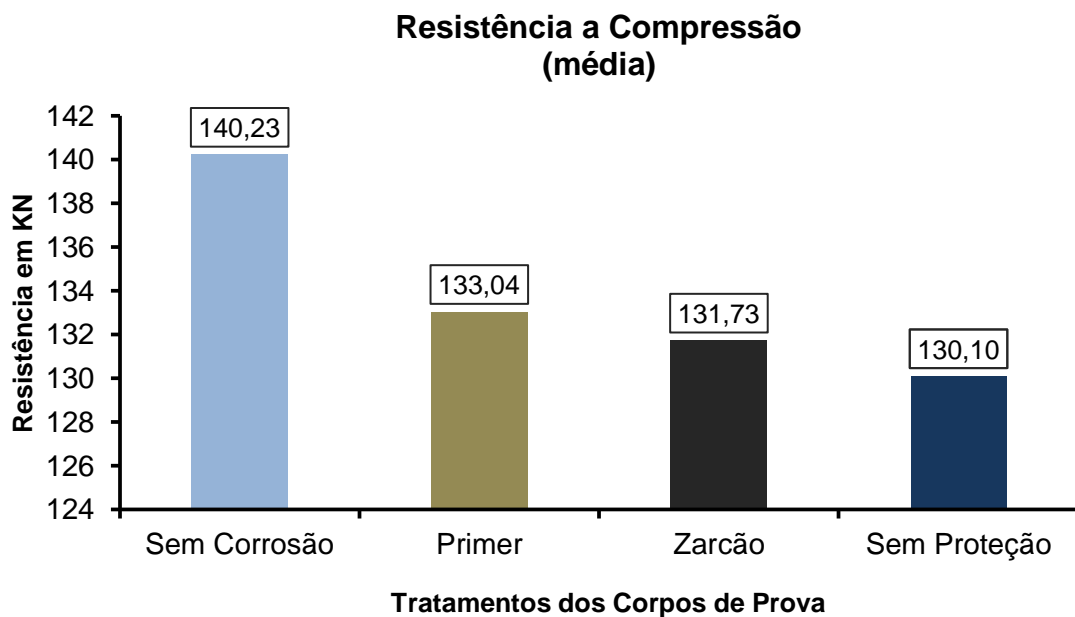
CORPOS DE PROVA	1	2	3	MÉDIA	4	5	6	MÉDIA
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (KN)	133,96	135,72	129,45	133,04	141,41	139,25	140,04	140,23
CORPOS DE PROVA	7	8	9	MÉDIA	10	11	12	MÉDIA
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (KN)	132,25	128,60	134,35	131,73	129,76	133,06	127,49	130,10

Fonte: O próprio autor (2019)

Na Tabela 5, que mostra o grau de resistência a compressão dos corpos de prova utilizados no experimento, observa-se que, como esperado, as peças

reservadas fora da solução corrosiva, corpos de prova 4, 5 e 6, apresentaram a melhor resistência mecânica (140,23). Bem como é possível comprovar que as peças 10, 11 e 12, do grupo mergulhado na solução corrosiva sem qualquer proteção, foram as que sofreram maior avaria de todos os outros grupos de peças, revestidos com medidas protetivas, apresentando uma resistência mecânica de 129,96. Já entre as peças dos dois grupos com medidas protetivas, as peças 1, 2 e 3, com Primer, apresentaram melhor resistência mecânica do que as peças 7, 8 e 9, com Zarcão. Apresentando valores de resistência a compressão de 133,4 contra 131,73, respectivamente.

Gráfico 5 – Resistência a Compressão (KN)



Fonte: O próprio autor (2019)

Através da análise do Gráfico 5 comprova-se a tese inicial de que as estruturas metálicas ainda que expostas a ambientes agressivos, como o simulado em nosso experimento principal, que as mergulhou em uma solução de NaCl a 10% p/v, podem evitar patologias através do uso de tinturas protetivas. Observando os valores de resistência das peças após a finalização do experimento e a realização do teste de Resistência Mecânica, comprovou que com o uso de Primer e Zarcão as peças ficaram ligeiramente mais íntegras do que aquelas expostas à solução agressiva sem qualquer proteção.

Ainda assim, o Zarcão e o Primer não são recomendados como medidas protetivas garantidoras da resistência mecânica para peças submersas em ambiente neutro de NaCl, porque ainda que tenham protegido um pouco, mostrando melhores resultados em comparação com as peças expostas sem qualquer proteção, os seus testes de resistência ficaram bem aquém dos valores das peças originais, testadas sem qualquer exposição ao NaCl.

As porcentagens do teste de resistência das peças com Primer em relação às peças sem corrosão foram de aproximadamente de 5%, a partir de um cálculo de média simples entre os resultados; das peças com Zarcão em relação às peças sem corrosão foram de aproximadamente de 6%; enquanto das peças sem proteção em relação às peças sem corrosão foram de aproximadamente de 7%. Apesar do tempo de experimento ter sido curto, ainda assim a resistência mecânica das peças foram comprometidas, conforme pode ser observado no gráfico 6 e as peças também tiveram modificação superficial conforme ilustrado ainda na Figura 31, acima.

5. CONCLUSÃO

Esse trabalho inicialmente realizou um experimento preliminar que testou o potencial corrosivo de duas soluções, uma neutra, de água e NaCl 10%, e outra básica de água e NaOH 10%. Através do acompanhamento visual, da pesagem das peças e da observação do pH da solução ao final do experimento, verificou-se que a Solução NaCl era potencialmente mais corrosiva, sendo escolhida para a etapa seguinte, o experimento principal.

No experimento principal 12 peças metálicas de igual tamanho foram separadas em grupos de 3, sendo 3 reservadas, e não sendo expostas à solução, 3 sendo expostas sem qualquer proteção, 3 revestidas de Zarcão e 3 revestidas de Primer. Essas peças foram fotografadas em microscópio e pesadas semanalmente até a 9ª semana, quando ao final passaram por um teste de Resistência Mecânica que determinou o grau de avaria de cada grupo de peças.

Ao fim esse estudo comprovou sua tese inicial, demonstrando em primeiro lugar a importância das estruturas metálicas para a construção civil, através de uma revisão bibliográfica e, em seguida, mostrando a importância de medidas protetivas para se evitar ou minimizar o potencial patológico dessas estruturas. Contudo, com relação as medidas protetivas escolhidas para o experimento deste estudo, verificou-se a ineficiência tanto do Primer, como do Zarcão, pois ainda que tendo protegido um pouco as peças metálicas, em comparação com aquelas expostas sem qualquer proteção, estão longe de manterem a resistência mecânica das peças em longo prazo.

Diante disso abrem-se possibilidades de novos estudos experimentais que não só testem medidas de prevenção a patologias em estruturas metálicas, mas que desenvolvam substâncias e métodos mais eficazes de proteção, ampliando ainda mais as já interessantes possibilidades do uso dessas estruturas metálicas na construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 8754. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Corpos de prova revestidos e expostos a ambientes corrosivos: Método de avaliação e Método de ensaio**. 1985. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=3953>>. Acesso em: 01/03/2019.

ALVARENGA, Evandro de Azevedo. **Parâmetros de processo de pintura que influenciam a resistência à corrosão dos aços**. doi: 10.4322/tmm.2011. Disponível em: <<http://www.tecnologiammm.com.br/files/v8n2/v8n2a11.pdf>>. Acesso em: 25/10/2018.

ANDRADE, Paulo Alcides. **Primeiro Edifício em Estrutura Metálica do Brasil**. Portal Metálica, 2009. Disponível em: <http://www.metlica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=884>. Acesso em: 16/09/2018.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Edurado; JOHN, Vanderley Moacyr. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. 2001. Disponível em: <<http://www.limpezapublica.com.br/textos/sustentabilidade.pdf>>. Acesso em 25/03/2019.

CARNEIRO, Rogério Augusto; ALVARENGA, Evandro de Azevedo. **Novos aços estruturais de elevada resistência à corrosão marinha**. Construmetal: congresso latino-americano da construção metálica, São Paulo, Brasil, 31 de agosto a 02 de setembro 2010. Disponível em: <<https://www.abcem.org.br/construmetal/2010/downloads/contribuicoes-tecnicas/21-novos-acos-estruturais-de-elevada-resistencia-a-corrosao-marinha.pdf>>. Acesso em: 15/10/2018.

CARVALHO, Carla Caroline Alves; SILVA, Manoel Mariano Neto da; GOMES, William Vieira; LIMA, Daniela de Freitas; JUNIOR, Almir Mariano de Sousa. **Análise do processo corrosivo sofrido nos equipamentos e tubulações do reservatório de abastecimento hídrico da cidade de Pau dos Ferros/RN**. 2016. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/analise-do-processo-corrosivo-sofrido-nos-equipamentos-e-tubulacoes-do-reservatorio-de-abastecimento-hidrico-da-cidade-de-pau-dos-ferrosrn/>>. Acesso em: 13/04/2019.

CASTRO, E. M. C. **Patologia dos Edifícios em Estrutura Metálica**. 1999. Dissertação. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.

FORMIGONI, A.; LIUBARTAS, D.; SILVA, E. A. S. B.; SANTOS, E. A. M.; SILVA, J. E. **A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas**. Scientific Journal of the Faculdades Metropolitanas Unidas, São Paulo, Brasil. 2014. Disponível em: <http://www.abcem.org.br/construmetal/2008/downloads/PDFs/27_Helena_Gervasio.pdf> Acesso em: 01/09/2018.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. USP. Tese apresentada a para obtenção do título de Professor Livre Docente do Departamento de Engenharia Civil. 1993. Disponível em:

<<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/TD1.pdf>>. Acesso em: 09/09/2018.

IMIANOWSKY, Guilherme Wanka; WALENDOWSKY, Marcus Alberto. **Os principais aços carbono utilizados na construção civil**. 2018. Disponível em: <<http://www.crea-sc.org.br/portal/arquivosSGC/a%C3%A7os%20carbono%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil.pdf>>. Acesso em 12/11/2018.

ISO:11474. INTERNATIONAL STANDARD.. **Corrosion of metals and alloys Corrosion tests in artificial atmosphere: Accelerated outdoor test by intermittent spraying of a salt solution (Scab test)**. 1998. Disponível em: <<https://www.evs.ee/preview/iso-11474-1998-en.pdf>>. Acesso em: 01/03/2019.

INABA, Roberto. **Construções Metálicas: O uso do Aço na Construção Civil**. In: Portal Metálica Construção Civil. 2016. Disponível em: <<http://wwwo.metallica.com.br/construcoes-metallicas-pintura-e-resistencia-ao-fogo>>. Acesso em: 09/02/2019.

JAMBO, H. C. M.; FÓFANO, S. **Corrosão – Fundamentos, Monitoração e Controle**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna LTDA, 2008.

LATIM, Daniel. Você sabe qual a diferença entre Whash Primer, Primer e Primer Pu? [Online] 2019. Disponível em: <<https://www.tudonapratica.com/o-que-e-primer-automotivo/>>. Acesso em 02/05/2019.

MAIA, Daltamir Justino; SEGRE, Nádia; SCATIGNO, Andreza Costa; STELLA, Mercia Breda. experimento sobre a Influência do pH na Corrosão do Ferro. Quím. nova esc., São Paulo-SP, vol.37, n.1, p.71-75, Fev. de 2015. Disponível em:<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37_1/11-EEQ-69-13.pdf>. Aceso em 13/04/2019.

MANUEL, Vítor; Fernandes, CARRAQUICO. **Avaliação da corrosão nas tubagens do Terminal de Granéis Líquidos de Sines de 2009 a 2013: Incidências de roturas e custos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção pelo Instituto Politécnico Setúbal. 2015. Disponível em:<<https://docplayer.com.br/16215076-Avaliacao-da-corrosao-nas-tubagens-do-terminal-de-graneis-liquidos-de-sines-de-2009-a-2013-incidencias-de-roturas-e-custos.html>>. Acesso em: 16/02/2019.

MATHEUS, Lucas. **Os riscos de se construir em áreas litorâneas**. BLOG DA ENGENHARIA. Disponível em: <<http://blogdaengenharia.com/os-riscos-de-se-construir-em-areas-litoraneas/>>. Acesso em: 16/09/2018.

CARDOSO, Mayara. Corrosão. 2016. Disponível em:<<https://www.infoescola.com/quimica/corrosao/>>. Acesso em: 15/06/2019.

MERÇON, F.; GUIMARAES, P. I. C.; MAINIER, F. B. **Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico**. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a04.pdf>>. Acesso em: 13/04/2019.

MCKAIG, T. H. **Building Failures: case studies in construction and design**. New York. McGraw-Hill Book Company, 1962. 261p.

NBR8754. **Corpos-de-prova revestidos e expostos a ambientes corrosivos: método de avaliação.** Rio de Janeiro, 1985.

PEREIRA, Caio. Estrutura Metálica: **Processo executivo, vantagens e desvantagens.** Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/estrutura-metalica/>>. Acesso em: 10/09/2018.

PRAVIA, Z. M. C.; BETINELLI, E. A. **Falhas em estruturas metálicas: Conceitos e estudos de caso.** Portal Metálica. 2016. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/anunciantes/falhas-em-estruturas-metalicas-conceitos-e-estudo-de-casos/pagina-2>>. Acesso em: 09/09/2018.

PORTAL EACweb. [Online] Zarcão a escolha para evitar ferrugem. 2019. Disponível em: <<http://blogaecweb.com.br/blog/zarcao-a-escolha-para-evitar-ferrugem/>>. Acesso em 02/05/2019.

PORTAL EDUCAÇÃO [Online]. **Rio 92.** 2015. Disponível em: < <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/biologia/rio-92/39570>>. Acesso em 13/06/2019.

_____ [Online]. **Rio+10.** 2006. Disponível em: < <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/biologia/conferencia-rio-10/38017>>. Acesso em 12/06/2019.

SACCHI, C. C.; SOUZA, A. S. C. **Manifestações patológicas e controle de qualidade na montagem e fabricação de estruturas metálicas.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil Vol 13 - nº 1. 2017. Disponível em: < <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/41214/pdf> >. Acesso em 08/09/2018.

STANDARD ISO 11474 – **Corrosion of metals and Alloys - Corrosion Tests in Artificial Atmosphere - Accelerated Outdoor Test by Intermittent Spraying of Salt Solution (Scab Test).** ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, March/1998

VITÓRIO, Afonso. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia.** 2003. Disponível em: <[http://www.vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos Patologia Estruturas Pericias Engenharia.pdf](http://www.vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos%20Patologia%20Estruturas%20Pericias%20Engenharia.pdf)>. Acesso em: 25/08/2018.