

**FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS
FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE ITUVERAVA**

Matheus Augusto de Oliveira Silva

**EFEITOS DA ÁGUA DO MAR EM ESTRUTURAS METÁLICAS: UM ESTUDO DE
CASO**

**ITUVERAVA
2020**

MATHEUS AUGUSTO DE OLIVEIRA SILVA

EFEITOS DA ÁGUA SALGADA EM ESTRUTURAS METÁLICAS: UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. Fundação Educacional de Ituverava para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador (a): Prof. Dr. Raul Sebastião Figueiredo

**ITUVERAVA
2020**

MATHEUS AUGUSTO DE OLIVEIRA SILVA

EFEITOS DA ÁGUA DO MAR EM ESTRUTURAS METÁLICAS: UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. Fundação Educacional de Ituverava para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Ituverava, 16 de Dezembro de 2020.

Orientador (a): _____
Prof. Dr. Raul Sebastião Figueiredo

Examinador(a): _____
Prof. Dr. Ciro Sergio Abe

Examinador(a): _____
Prof(a) Ms. Fabiana Lima de Matos Cardoso

Dedico a Augusto e Patrícia, meus pais, “beijo as suas mãos, não como um homem pretende beijar as de Deus, mas como uma árvore beija as suas raízes” (José Inácio Vieira de Melo).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me dar a condição de realizar o meu sonho que sempre foi cursar Engenharia Mecânica.

Agradeço aos meus pais Augusto e Patrícia pelos incentivos e conselhos durante toda a minha jornada educacional, amo vocês.

Agradeço todos os meus familiares por toda ajuda prestada a mim.

Aos amigos, colegas de classe por dividirem comigo os medos, angustias e os anseios.

Aos professores como um todo por nos guiarem pelos caminhos do conhecimento.

Quero agradecer especialmente aos professores: Raul e Ciro por todo o auxílio e ajuda a mim direcionados.

Agradeço a esta instituição por transformar o sonho em realização através do curso de Engenharia Mecânica.

Agradeço como um todo a aqueles que de uma forma ou de outra estiveram comigo nesta caminhada.

“Escreva algo que valha a pena ler ou faça algo que valha a pena escrever.”

Benjamin Franklin.

RESUMO

O presente estudo buscou compreender como e por que se dá o processo de corrosão em estruturas metálicas já transformadas para uso na construção civil e indústria automotiva, em específico, observar a ação da água salinizada nas estruturas metálicas, independente de qual seja sua forma ou aplicação. Diante de diferentes problemas sofridos por edificações que se localizam em cidades banhadas pelo mar ou mesmo as que estão próximas à orla marítima, e que são considerados ambientes altamente agressivos para as estruturas metálicas. Na busca da comprovação da literatura nacional e internacional realizou-se um experimento com chapas metálicas e água salinizada num período e dois meses paulatinamente e depois deixando as mesmas por 11 meses em observação sobre a mistura. Percebeu-se que a manifestação patológica frequente em todas as chapas expostas foi à corrosão (ferrugem), que é encontrada tanto em estruturas metálicas como nas armaduras do concreto armado. De modo, este estudo apresenta conjuntamente uma revisão bibliográfica da literatura brasileira e um estudo de caso sobre como se dá o processo de corrosão e também abarcou o princípio das manifestações patológicas corrosivas bem como sua definição e seus tipos. A busca por entender como esse fenômeno acontece, suas principais manifestações encontradas nas estruturas metálicas e os principais fatores de deterioração, como também quais tratamentos existem foram os principais objetivos da pesquisa. Cabe ressaltar que outros derivados do aço também são passíveis de corrosão, mas não foram aqui estudados. Assim, o objetivo foi analisar a influência da água salgada no processo de corrosão em estruturas metálicas que não recebem nenhum tratamento antes de serem utilizadas. Ao final do experimento, pôde ser observado que estruturas que não recebem nenhum tratamento ficam mais vulneráveis à ação corrosiva intensa.

Palavras- Chave: Estrutura Metálica. Corrosão. Sal. Patógeno.

SUMMARY

The present study sought to understand how and why the corrosion process occurs in metallic structures already transformed for use in civil construction and automotive industry specifically to observe the action of saline water in the metallic structures, regardless of their shape or application. Faced with different problems suffered by buildings that are located in cities bathed by the sea or even those that are close to the seafront, which are considered highly aggressive environments for metal structures. In the search for proof of national and international literature, an experiment was carried out with metal plates and saline water over a period and two months gradually and then leaving them for 11 months in observation of the mixture. It was noticed that the pathological manifestation frequent in all exposed plates was corrosion (rust), which is found both in metallic structures and in reinforced concrete reinforcements. Thus, this study jointly presents a bibliographic review of the Brazilian literature and a case study on how the corrosion process occurs and also encompassed the principle of corrosive pathological manifestations as well as their definition and their types. The search to understand how this phenomenon happens and its main manifestations found in metallic structures and the main factors of deterioration and what treatments exist. It should be noted that other steel derivatives are also susceptible to corrosion, but have not been studied here. Thus, the objective was to analyze the influence of salt water on the corrosion process in metallic structures that do not receive any treatment before being used. At the end of the experiment, it can be observed that structures that do not receive any treatment are more vulnerable to intense corrosive action.

Keywords: Metallic Structure. Corrosion. Salt. Pathogen.

LISTA DE FOTOS

Foto1: água salinizada ($\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$).....	21
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Pilha de corrosão eletroquímica com dois eletrodos diferentes.....	17
Figura 2:	A célula de corrosão eletrolítica.....	17
Figura 3:	Experimento visto por cima.....	30
Figura 4:	Vista Lateral.....	31
Figura 5:	Vista por cima.....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Corrosão	14
2.1.1 Corrosão eletroquímica	15
2.1.2 Corrosão química	16
2.1.3 Corrosão eletrolítica	17
3 ESTRUTURAS METÁLICAS	18
3.1 Conhecendo o ferro	18
3.2 composição do ferro	18
3.3 A história do uso do ferro e do aço	20
3.4 Tratamento das estruturas metálicas	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1 Materiais utilizados	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5.1 Do experimento	26
6 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

A corrosão ainda é um dos principais problemas enfrentado pelo homem desde que se começou a utilizar os metais. A corrosão de estruturas metálicas pode ser um fato espontâneo ou não.

Com a utilização do ferro desde períodos mais remotos da história do homem, pode ser visto que a construção civil moderna tem no ferro e no aço um grande aliado para o barateamento final das construções. Cabe ressaltar que o ferro é um elemento químico existente na natureza em grande abundância.

Enquanto o aço é uma liga metálica formada pelos elementos: ferro e carbono, e também utilizado em larga escala nos mais diversos tipos de construções estruturais, que vão de edifícios, barcos, carros, entre centenas de outras formas.

Estudos confirmam o uso de ferro há 4 mil anos, sendo presentes em adereços produzidos no Antigo Egito. Mas por volta de 1200 a. C., iniciou-se o que ficou conhecido como a Era do Ferro, quando o metal passou a ser largamente usado e difundido para o fabrico de utensílios e armas, mantendo-se até hoje.

Ainda hoje os metais continuam sendo um dos principais materiais atingidos pela corrosão, dentre eles destacam-se: aços e ferros que apresentam de diferentes formas de corrosão. A corrosão pode ser química, eletroquímica ou corrosão eletrolítica.

A corrosão basicamente consiste na diminuição do tempo de vida útil do material utilizado em uma construção civil e quando não aliviada pode causar perdas materiais e econômicas. Caso o processo corrosivo não seja paralisado, dependendo do tipo de corrosão, as consequências e perdas podem ser incalculáveis, provocando até mesmo risco de morte.

Mesmo com o avanço da tecnologia e aperfeiçoamento voltado para a Engenharia Civil nas últimas décadas, percebe-se grande preocupação com os problemas que possam vir a acontecer com o projeto e sua execução. Quando o assunto é tratar de patologias em matérias voltadas à construção civil pouco ainda é divulgado.

De acordo com a ciência da química, esse fato se explica devido à perda de elétrons sofrida pelos metais para outros metais, conforme o potencial eletroquímico diferente de cada metal. Por outro lado, tem-se o oxigênio, que não compartilha dessa estrutura, é todo sugado na ação de concepção do óxido, numa reação natural conhecida como oxidorredução.

Em se tratando de patologia, esta pode “ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema” (HELENE, 1992, p.

19). O problema da corrosão fez com que a engenharia lançasse um novo olhar sobre esse ponto e devido à grande ocorrência dessas manifestações nas estruturas, levou-os a chamá-los de “doenças das construções”.

Percebeu-se que com o avançar dos anos e da tecnologia nas construções com o uso de estruturas, é possível aproveitar melhor os materiais e deixa-las cada vez mais esbeltas, resultando em custos menores, sem que sua qualidade sofra interferência e se mantenha estável.

Assim, a corrosão deve ser entendida como o processo inverso ao sofrido pelo ferro na metalurgia, pelo qual o metal volta ao seu estado natural. Esse processo faz com que diminua a seção plena da estrutura, tornando-a mais vulnerável a acidentes estruturais (ANDRADE, 1992).

Esse estudo buscou através de uma experiência demonstrar como a ação direta da água salinizada e o clima podem afetar diretamente as estruturas metálicas utilizadas na construção civil e indústria automotiva em diferentes projetos. Na construção do mesmo, utilizou-se o método de revisão bibliográfica aliado a um estudo de caso realizado por este autor na busca de confirmar o patógeno da corrosão como sendo um dos que mais afetam as estruturas metálicas no mundo.

O presente estudo objetiva analisar a influência da água salgada no processo de corrosão em estruturas metálicas que não recebem nenhum tratamento antes de serem utilizadas. Frente a problemas apresentados em relação a estruturas metálicas, buscou-se aqui definir o que é corrosão bem como os seus tipos e também analisar os riscos causados pela água salgada nas estruturas metálicas e a ação do clima diante dos fatores observados no experimento.

Buscou-se também apontar possíveis tratamentos a que podem ser submetidas às estruturas metálicas para que não sofram ou minimizem a ação da corrosão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Corrosão

A corrosão poder ser considerada a deterioração de um material, normalmente metálico, podendo ser por ações eletroquímicas ou químicas, não necessariamente podendo ser associada a esforços mecânicos. A corrosão é um processo espontâneo que está constantemente transformando materiais limitando sua durabilidade e diminuindo seu desempenho (PETERS *et al.*, 2015).

Os principais meios de corrosão são: a atmosfera (rural; urbana; marítima ou industrial), águas naturais (água salgada; água doce; água potável e água para consumo industrial), produtos químicos, alimentos, plásticos, solo e madeira. Também sendo importante salientar a natureza do meio encontrado nas proximidades da superfície metálica (BAPTISTA E CASTILHEIRAS, 2009).

O desgaste causado pelo contato físico ou químico entre a estrutura metálica e o meio no qual ela está podem causar mudanças indesejáveis ou até prejudiciais à própria estrutura, como, por exemplo, as alterações estruturais, desgastes, fazendo com que sua vida útil seja diminuída. De modo que, tal fenômeno tem grande importância na sociedade atual, muitas dessas estruturas estão enterradas ou submersas, no solo ou na água (PIRES FILHO; SILVA; SOUZA, 2018).

Os dutos submarinos estão em um meio altamente agressivo e são totalmente propensos a processos corrosivos. A corrosão representa de 15% a 30% das falhas de dutos em geral. A corrosão geralmente ocorre na carcaça interna e nas amarraduras metálicas de tensão e pressão expostas à água salgada (SALGADO; AZEVEDO, 2016).

A corrosão pode ser entendida pelo processo de deterioração sofrido pelos materiais por causa da ação química ou eletroquímica do meio, sendo um dos meios corrosivos as águas naturais por conter sais, gases dissolvidos, matérias orgânicas, microrganismos, entre outros. Sendo mais comum que se imagina, a corrosão pode ocorrer em indústrias como: petroquímica, metalúrgica, siderúrgicas, automotivas, naval, aeronáutica, e até mesmo em nossa casa, em eletrodomésticos, armários, talheres, mesas entre outros (MERÇON; GUIMARAES; MAINIER, 2004).

Levando em consideração o valor econômico, a corrosão pode levar a prejuízos e até mesmo ocasionar acidentes de contaminação, como ocorre em plataformas de petróleo ou em navios cargueiros levando a perdas de vidas e a destruição do meio ambiente. Cerca de um

quinto da produção mundial de aço é voltado para a reposição de perdas originadas pela corrosão, tornando a pesquisa e o investimento sobre a mesma de extrema importância e relevância tanto para a população, para o governo e para as empresas (PETERS *et al.*, 2015).

O termo corrosão cientificamente vem sendo utilizado para denominar o processo de destruição total, parcial, superficial ou estrutural das materiais, podendo dividi-la em eletroquímica, química e eletrolítica (MERÇON; GUIMARAES; MAINIER, 2004).

2.1.1 Corrosão eletroquímica

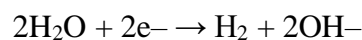
Com a atuação de íons metálicos, conclui-se que a corrosão eletroquímica ocorre em um transporte simultâneo de eletricidade através de um eletrólito, ocorrendo juntamente reações anódicas e catódicas. Ocorrendo mais frequente na natureza, por realizar-se na presença de água, em temperatura ambiente com formação de uma célula de corrosão, a corrosão por soluções salinas e água do mar constituem este grupo (PONTE, 2003).

Como, por exemplo, ferrugem é uma corrosão eletroquímica, criando uma camada de característica marrom-avermelhada sobre o material, caracterizada pela oxidação do material, em contato com o oxigênio presente no ambiente, oxida-se originando a ferrugem que pouco a pouco danifica o material. Ver equações abaixo:

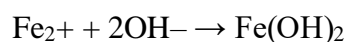
Reação anódica (oxidação):



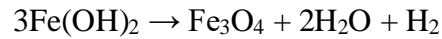
Reação catódica (redução):



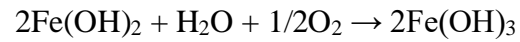
Neste processo, os íons Fe_{2+} dirigem-se em direção à região catódica, enquanto os íons OH^{-} movimentam-se para a anódica. Assim, em uma região intermediária, ocorre a formação do hidróxido ferroso:



Em meio com baixo teor de oxigênio, o hidróxido ferroso sofre a seguinte transformação:



Por sua vez, caso o teor de oxigênio seja elevado, tem-se:



Assim, o produto final da corrosão, ou seja, a ferrugem consiste nos compostos Fe_3O_4 (coloração preta) e $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (coloração alaranjada ou castanho-avermelhada) (MERCÇON; GUIMARAES; MAINIER, 2004).

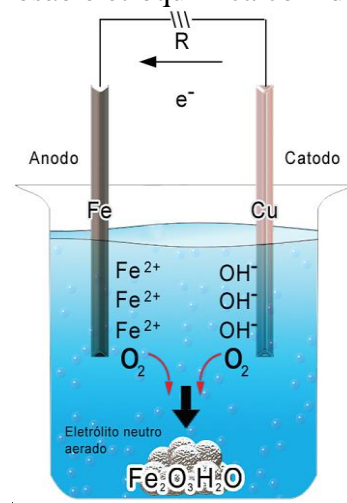
2.1.2 Corrosão química

Conhecida por não utilizar água, sendo muito frequente em ambientes industriais, pois necessita de altas ou elevadas temperaturas, acima do ponto de orvalho da água, necessitando da interação direta entre o metal e o meio corrosivo, sem transferência de elétrons de um lado para outro (ABRACO, 2016).

Ocorre quando há um ataque de um agente químico contínuo sobre o material. No mecanismo de corrosão química, não se obtém a transferência de cargas ou elétrons, não constituindo a formação de uma corrente elétrica, gerando um ataque do agente químico sobre o material.

Este processo determina-se na reação química entre o meio corrosivo e o material exposto a ele, resultando na formação de um produto de corrosão sobre a superfície do material, realizando-se como, por exemplo, em fornos e caldeiras. Para uma melhor compreensão da reação, observe a figura abaixo.

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

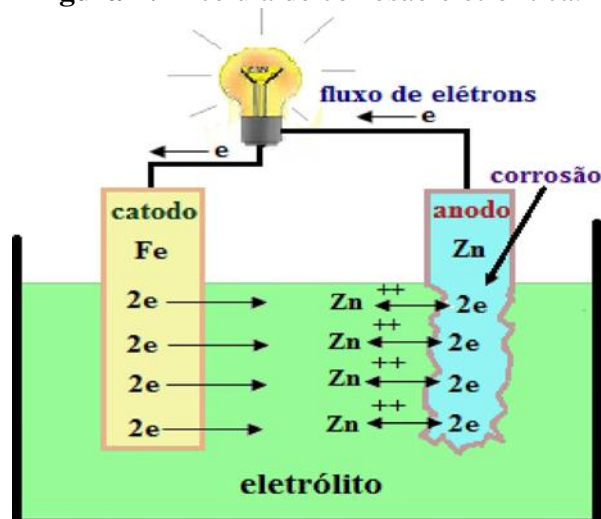


Fonte: Nunes; lobo (1990).

2.1.3 Corrosão eletrolítica

Provocada em estruturas enterradas ou submersas, consequência de correntes elétricas de interferência também denominada de corrente de fuga, onde as correntes contínuas ou alternadas de baixa frequência são as mais prejudiciais às estruturas, sendo uma corrosão não espontânea. Podendo ocorrer em gasodutos e em oleodutos, por problemas na deficiência de isolamentos ou aterramentos (GENTIL, 2011).

Figura 2: A célula de corrosão eletrolítica.



Fonte: Gentil (2011).

3 ESTRUTURAS METÁLICAS

3.1 Conhecendo o ferro

O ferro, elemento químico derivado do latim *ferrum*, tem como símbolo químico as letras Fe, possui número atômico 26 e massa atômica 56. Sob as condições normais de temperatura e pressão ele se encontra em estado sólido (EPSTEIN, ROSEMBERG, 2003).

Pode ser encontrado naturalmente sob a forma de minério de ferro. Em uma mistura homogênea com o Carbono dará origem ao aço. Sua classificação periódica é um metal de transição, sendo o quarto elemento químico abundante na crosta terrestre.

Localizado no núcleo da Terra, junto com o níquel. Porém, no núcleo terrestre o Ferro perde suas propriedades magnéticas (atração por ímãs), devido sua temperatura superar o ponto Curie (temperatura na qual todo metal ferromagnético perde essa propriedade). Conhecido desde a antiguidade e importante na história humana, o início de sua manipulação foi conhecido como a Idade do Ferro (JONES, 2004).

Hoje é empregado na fabricação de materiais rugosos, do aço e de outras ligas, devido a sua dureza, tanto puro ou combinado. Dentre suas propriedades, salienta-se que é um dos metais mais utilizados socialmente devido sua maleabilidade e tenacidade.

3.2 Composição do ferro

Para se entender a produção de ferro para construção é preciso entender como ele se encontra na natureza. O ferro existe na natureza, na composição de diferentes minérios, ou seja, compostos que contêm ferro, sendo eles: hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), siderita (FeCO_3), limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e pirita (FeS_2) (FOGAÇA, 2019).

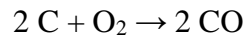
Todos esses minérios são passíveis de transformação para que se obtenha o ferro metálico. A área responsável por sua extração através de um mineral é a metalurgia, a parte da metalurgia voltada apenas para a produção de ferro é a siderurgia (JONES, 2004).

A palavra siderurgia vem do grego e significa “*trabalho feito sobre o ferro*”. E também será a siderurgia quem produzirá o aço. Em regra, o mineral que se utiliza nas siderúrgicas é a hematita para produção de ferro.

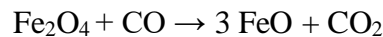
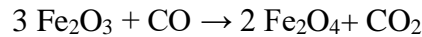
O processo de produção de ferro é realizado em fornos altos, onde inicialmente, é colocado no forno o carvão coque, que será queimado para gerar calor (aquecimento). A seguir adiciona-se uma combinação de hematita, calcário (CaCO_3) e carvão coque.

Ao receber a corrente de ar, ocorrerá a queima do carvão coque e será produzido o monóxido de carbono (CO), que reagindo com a hematita, causará uma reação de oxirredução, como por exemplo:

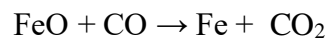
Queima do carvão coque:



Redução da hematita pelo CO:

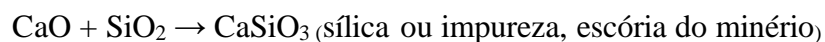
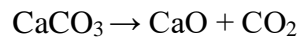


O óxido de ferro (II) (FeO) reage com monóxido de carbono, formando ferro metálico (Fe⁰) e dióxido de carbono:



Assim, o ferro é escorrido (fluido) por uma saída rebaixada do alto-forno, nesse momento em forma líquida. A outra camada líquida e menos densa que se forma é chamada de escória (resíduo), sai por uma via separada (FOGAÇA, 2019).

Na verdade, a escória deve ser entendida como as impurezas retiradas pelo CaO e pelo CO₂, que se formaram na combustão do calcário:



Esse processo originará o ferro-gusa que ainda possui uma porcentagem pequena de carbono (cerca de 5%) e, o que o deixa frágil, podendo quebrar. Assim, a partir do ferro-gusa se produz o aço comum, uma liga metálica que tem em sua composição cerca de 98,5% de ferro, entre 0,5 e 1,7% de carbono e algumas partículas de silício, enxofre e fósforo.

O que faz com que o ferro-gusa precise ser purificado para que tenha menos carbono; apenas quando atingir 100% de pureza, ou seja, sendo a porcentagem de carbono menor que 0,5%, que ele será chamado de ferro doce.

Para a produção do aço e do ferro doce, é necessária a injeção de gás oxigênio no alto-forno, que irá reagir com o carbono na mistura formando o dióxido de carbono, desprendendo esse gás: $\text{ C} + \frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightarrow \text{ CO}_2$ (FOGAÇA, 2019).

Assim, a produção de ferro feito nas siderúrgicas sai do alto-forno em elevadas temperaturas e na forma líquida densa, pronto para ser moldado.

3.3 A história do uso do ferro e do aço

A primeira vez que se utilizou o perfil de ferro fundido no formato estrutural foi em 1779, na fabricação da ponte de Coalbrookdale, na Inglaterra, mas existem amostras de artefatos que confirmam a manipulação de minerais com a intenção de se obter o ferro, com datando de cerca de 1500 A.C.

As peças de ferro fundido comercializadas são produzidas a partir da fundição do ferro a uma temperatura aproximada de 1500 °C, onde o ferro derretido é derramado em moldes no formato das peças. As peças do passado eram menos resistentes que os aços da atualidade, que resultavam em peças de grandes dimensões para suportar os esforços aplicados.

Será somente no século XIX que as primeiras peças de aço laminado foram industrializadas. A partir desse momento, passou a se utilizar nas construções os perfis de aço, tornando-se mais audaciosas a cada nova construção.

Percebe-se que a corrosão também está ligada a variações climáticas e não é diferente no Brasil, que apresenta diferentes climas, com quatro estações distintas, com situações climáticas regionais, causando o processo da corrosão em estruturas metálicas. Deve-se considerar também o tamanho das construções que variam de pequenas as de grande porte como: obras hidráulicas, construções residenciais, pontes, viadutos, túneis entre outros, que sofrem pela ação do clima.

Muitas anomalias percebidas nas estruturas metálicas são, grosso modo, resultantes de falhas na concepção dos projetos, erros na produção e instalação (montagem) das estruturas ocasionadas por descuido ou falta de controle de qualidade e manutenção existentes.

Cabe ressaltar que o aço mesmo sendo um material com características totalmente diferentes tanto do concreto quanto da madeira, apresenta manifestações patológicas a partir do seu uso, específicas e restritas se diferenciando dos demais. O que leva à grande importância deste experimento como uma forma preventiva de não se utilizar as estruturas sem tratamento na construção civil e podendo evitar grande problemas ao longo do tempo se tomar providências antes do seu uso direto (PRAVIA; BETINELLI, 2016).

Em 1750, começaram as primeiras obras em aço, com a descoberta de sua produção em indústrias em 1880, as estruturas de aço foram principalmente utilizadas em construções de edifícios. A primeira obra feita em aço no Brasil foi a ponte em Paraíba do Sul, no Rio de Janeiro em 1857 que permanece em funcionamento nos dias de atuais. O Brasil produz hoje cerca de 40 milhões de toneladas de aço, estando entre os 10 primeiros países produtores (PIRES FILHO; SILVA; SOUZA, 2018).

As estruturas de aço possuíam inúmeras vantagens associadas a ela, como por exemplo: a grande resistência do material; tração; compressão, flexão (o que permite que a estrutura suporte um elevado peso, embora, sua área seja relativamente pequena); segurança no trabalho por ser um material homogêneo; modulo de elasticidade e ruptura; agilidade no processo de fabricação e a possibilidade de reaproveitamento dos materiais.

As estruturas metálicas são muito utilizadas nas indústrias automobilística, civil, espacial e naval entre muitas outras, tornando os metais um dos materiais mais utilizados pela humanidade, representando a maior parte da tabela periódica com um total de 87 elementos sendo alguns deles ferro, aço, alumínio, prata e o primeiro metal, descoberto o cobre na pré-história. Assim, é chamado de estruturas metálicas todo tipo de estrutura de sustentação, composta por materiais metálicos, onde o fundamental é o aço (PIRES FILHO; SILVA; SOUZA, 2018).

As estruturas metálicas podem ser utilizadas em diferentes tipos de construções, onde podem ser visto casas que utilizam vigas metálicas devido à alta resistência se comparada a tradicional (madeira), contudo é comum encontrarmos este tipo de estrutura em shoppings, supermercados, pavilhões, indústrias, e amplos edifícios, entre outros. O único metal que não é sólido é o mercúrio em temperatura ambiente, dividindo-os em classes de ferrosos (Aço; Ferro Fundido) e não ferrosos (cobre; platina; zinco; chumbo; titânio; alumínio; magnésio) com exceção do ferro. As principais características das estruturas metálicas estão justamente no fato de todas suas peças já se encontrarem pré-fabricadas e já chegarem às construções prontas, esperando apenas para serem montadas (SALGADO; AZEVEDO, 2019).

O que faz com que as obras que empreguem o uso de estruturas metálicas não aceitem alterações no momento de serem fixadas. Portanto, para o uso seguro de estruturas metálicas em uma construção, faz se necessária a presença de um engenheiro desde o início trabalhando com os cálculos e projetos e para que o mesmo organize o método construtivo a ser aplicado. Assim, a utilização de estruturas metálicas na construção civil deve ser considerada sobre todos os pontos positivos e negativos para sua aplicação antes de se iniciar qualquer empreendimento (SALGADO; AZEVEDO, 2019).

3.4 Tratamento das estruturas metálicas

Para haver corrosão, quatro elementos são essenciais: o ânodo, o cátodo, a ligação elétrica e o eletrólito. O metal em si, na maioria das vezes, já é o elemento de ocorrência dos

três primeiros, porém o quarto elemento pode aparecer sob diferentes condições. Os meios que dão origem aos eletrólitos frequentemente encontrados são: atmosfera, águas naturais e solo (CALLISTER; RETHWISCH, 2013).

Como em qualquer outro tipo de manifestação patológica em uma estrutura, o primeiro passo é avaliar o grau em que ela se encontra. No caso da corrosão, se a peça estiver corroída apenas na superfície, uma limpeza e uma pintura nova podem solucionar o problema.

A limpeza deve ser feita com jato de areia, que é o único processo que proporciona uma limpeza adequada, e elimina quase toda ferrugem. Caso o jateamento de areia não consiga, é necessário analisar a adesão do esquema com limpeza mecânica, sendo necessário encontrar no mercado uma tinta compatível com a já existente na estrutura e que seja de boa aderência com o esquema de limpeza mecânica (CALLISTER; RETHWISCH, 2013).

Outro fator de proteção é a chamada pintura galvanizada que pode ser a frio ou quente, sendo este um ótimo modo de se proteger superfícies de ferro, aço ou com cordão de solda da oxidação, corrosão e ferrugem e mesmo antes de fixar as estruturas em seus lugares definitivos. Outro produto é o revestimento epóxi industrial que é resistente também a produtos químicos como: solventes orgânicos (alifáticos, aromáticos e álcoois), água do mar, gasolina, óleo diesel, produtos alcalinos, ácidos diluídos, entre outros.

Portanto, cabe destacar que as tintas que contêm em sua fórmula pigmentos anticorrosivos, como: zarcão, zinco e cromato de zinco, e as que têm em sua fórmula resinas alquídicas, fenólicas, vinílicas, poliuretanas e epóxi são as mais utilizadas para se evitar a corrosão futura, mas acabam por encarecerem o uso das estruturas e muitas vezes o comprador desiste de usá-las (CALLISTER; RETHWISCH, 2013).

Cabe destacar os tipos de proteção que são: Anodização; Galvanização; Fosfatização e Geomet. A anodização se aplica unicamente às peças de alumínio, e deve ser entendida como um processo eletroquímico que acresce uma camada pelicular de óxido metálico, formando uma barreira de isolamento entre o alumínio e o meio externo, evitando o contato com outros metais e assim previne a corrosão.

Por sua vez, a galvanização é a técnica mais utilizada nas estruturas metálicas, principalmente quando se busca um custo menor e maior durabilidade, que irá depender da qualidade do tratamento e das condições em que for utilizada. A galvanização se refere à aplicação de uma camada de zinco sobre um material ferroso, como o aço, que é grandemente usado na construção e também na indústria, devido a sua disponibilidade, custo menor em relação ao alumínio, e suas excelentes propriedades mecânicas (VILLALVA, 2019).

A fosfatização é o tratamento eletroforético catódico, conhecido como KTL, é um tipo de tratamento conhecido como E-coat, processo de pintura por eletrodeposição, que é um tratamento superficial (ou uma pintura) por imersão das peças metálicas em um meio aquoso com resinas e pigmentos orgânicos. O Geomet é um tratamento anticorrosivo organometálico, seu processo é também um tipo de E-coat com substâncias patenteadas à base de zinco e alumínio. Este processo trabalha com a imersão do material, centrifugação ou spray.

Após o processo chamado de cura, as peças metálicas apanham um recobrimento metálico de cor acinzentada, extremamente aderente e resistente. Esse processo pode ser utilizado também para proteger peças de ferro, aço ou alumínio, respeitando as formulações específicas dos reagentes usados na solução aquosa.

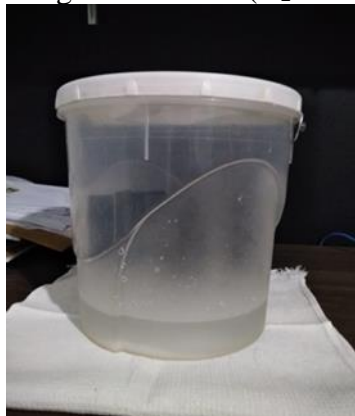
Ressaltando que todos esses processos descritos incidem em custos extras a soma final do uso das estruturas metálicas, o que por vezes faz com que os compradores optem por não aplicarem e assim diminuir o tempo de uso da mesma (VILLALVA, 2019).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais utilizados

- 09 chapas de metal;
- 01 recipiente de plástico;
- 09 anzóis;
- 01 carretilha de linha de pesca;
- Sal de cozinha;
- Água
- 04 arruelas de metal;
- 01 barra Roscada.

Foto1: água salinizada ($H_2O + NaCl$)



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019).

O experimento conta com uma revisão de literatura onde diversos autores foram lidos e a seguir separados para comporem a revisão. Com base nos dados coletados iniciou-se o experimento para comprovação da literatura.

Neste experimento foram usados como corpo de provas (CP), nove Chapas Metálicas Finas Quentes (Bitola) nº13, espessura 2,28 mm e Peso Kg/m² de 18,309 por Kg, retangulares de medidas iguais, sendo estas: 50 mm x 100 mm x 2,28 mm, sendo elas divididas em grupos de três peças. Sendo que as três peças foram utilizadas no experimento totalmente liso sem nenhuma aplicação, outras três chapas receberam soldas de eletrodo e as três chapas restantes receberam rebites ou foram rebitadas para receberem o gotejamento de água salgada.

Para análises eletroquímicas foram utilizados CPs com dimensões de 5,0 cm x 10 cm x 2,28 mm, conectados a um fio de nylon amarrado a um anzol (aço inox) de modo a permitir contato entre o gotejamento da solução salinizada e a chapa, deixando somente uma superfície exposta. Imediatamente antes do uso, os CPs foram polidos (com lixas de granulometrias 120 e 600), lavados com água, e secos em jato de ar quente.

Nenhuma das chapas receberam tratamento e nem foram pintadas para que a solução salinizada começasse a ser acumulada em sua superfície através da evaporação natural.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Do experimento

A primeira semana da realização do experimento compreende a semana do dia vinte e dois de setembro de 2019 (22/09/2019), onde todas as chapas foram penduradas através de um fio de nylon amarrado a um anzol de aço e fixado as placas através de um furo. Assim, as chapas passaram a receber a evaporação natural da solução salinizada estando penduradas sobre o balde contendo a água salinizada e que depois escorria pelas chapas metálicas, e retornava para o recipiente com água.

Foto A: Chapas lisas.



1ª foto



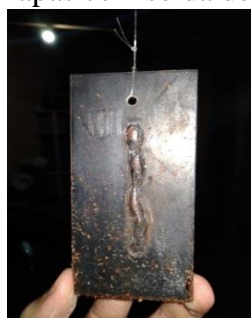
2ª foto



3ª foto

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Foto B: Chapas com solda de eletrodo.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Figura C: Chapas rebitadas.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

As chapas mostradas acima são relativas á primeira semana sobre á agua salinizada e recebendo a evaporação da mesma e se observa um pequeno processo de corrosão em sua estrutura, com tons alaranjados espalhados pela superfície e mudança da tonalidade da água.

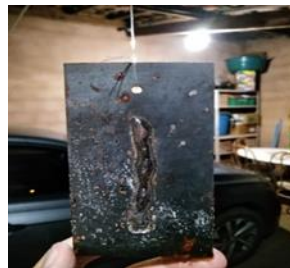
Segunda Semana do experimento (22/09/19)

Fotos A: Chapas lisas.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Fotos B: Chapas com soldas.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Fotos C: Chapas arrebitadas.



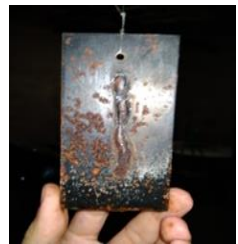
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Registro referente à segunda semana em que as chapas continuam a receber a evaporação da solução salinizada, e se observa que: as chapas que receberam a solda apresentam um nível de corrosão mais intensa, seguida da chapa com arrebites e em menor quantidade as chapas lisas. Pode-se notar um aumento no índice de corrosão em uma semana recebendo o gotejamento da solução salinizada.

Terceira Semana do experimento (06-10-2019)

Fotos A: Chapas lisas.

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Fotos B: Chapas com solda.

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Fotos C: Chapas Arrebitadas.

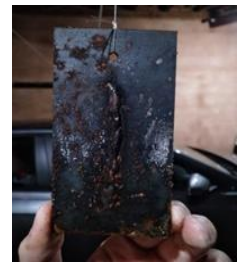
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Na terceira semana as chapas continuaram a receber a mistura de água salinizada (água + cloreto de Sódio ($H_2O + NaCl$)) as chapas com maior percentual de corrosão foi a que recebeu arrebites, apresentando o índice maior de corrosão.

Quarta semana (13/10/2019)

Fotos A: Chapa lisa)

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Fotos B: Chapa com solda.

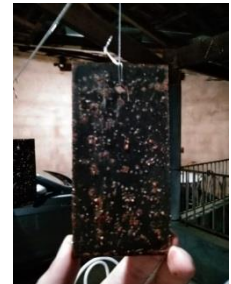
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Fotos C: (Chapas arrebitadas)

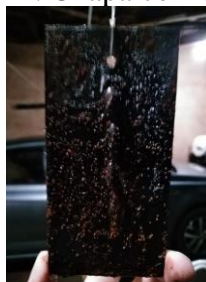
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Nesta semana, percebe-se que a corrosão tomou conta das chapas soldadas e o local mais afetado foi justamente na região onde a solda foi aplicada. Nas chapas lisas o índice corrosivo se manteve e enquanto que na chapa arrebitada a corrosão se expandiu.

Quinta Semana (20-10-2019)

Fotos A: Chapas lisas

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Fotos B: Chapa com solda

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Fotos C: Chapas com arrebite

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Nesta sequência do experimento pode ser observado que as chapas metálicas que receberam a solda e os arrebites tiveram uma corrosão muito maior. Sendo que a figura B já não deixa ver o fio de solda escondido por baixo da corrosão.

Sexta Semana (27/10/2019)

Fotos A: chapas lisas.

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Fotos B: chapas com fio de solda.

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Fotos C: chapas rebitadas.

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Na sexta semana recebendo o gotejamento da solução salinizada percebeu-se que a corrosão incidiu até nos anzóis utilizados para sustentação das chapas. A corrosão se espalhou bem mais pelas superfícies que receberam a solda e os arrebites.

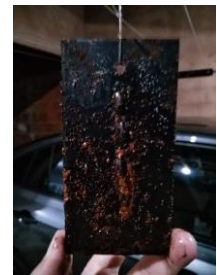
Sétima Semana (03/11/2019)

Fotos A: Chapas lisas.



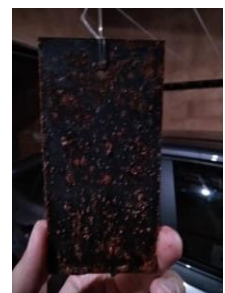
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Foto B: Chapas com solda



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Foto C: Chapas rebitadas.



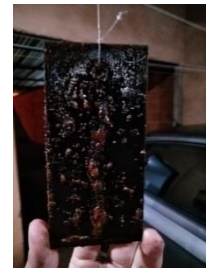
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Nesta semana ainda recebendo a solução salinizada e exposta as condições climáticas da cidade de Ituverava – SP foi possível ver o aumento relativo nos índices de corrosão das chapas lisas que até então eram inexpressivas.

Oitava Semana 10-11-2019

Fotos A: Chapas lisas.

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Fotos B: Chapas com fio de solda.

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Fotos C: Chapas rebitadas.

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Neste momento que representa a oitava e ultima semana do experimento recebendo a solução salina, todas as chapas sem exceção, foram tomadas pela corrosão causada pelo gotejamento da solução e também com a exposição constante ao clima de nossa região (Ituverava – SP), elas se apresentam totalmente contaminada pelo liquido decorrente da corrosão causada.

Resultado Final

Julho de 2020

Decorrentes 11 meses após o início da experiência, foi constatado que o material estrutural sem nenhum tratamento recebido apresentou um alto índice de corrosão, o qual quase já não é possível identificar qual chapa havia recebido solda ou rebite continham o

mesmo grau de corrosão. O que vem confirmar as afirmações observadas na construção deste estudo onde diferentes autores discutem a ação sofrida pelas chapas metálicas que não recebem nenhum tipo de tratamento específico.

Ressalto ainda, que em todos os experimentos, as placas metálicas sofreram grande corrosão conforme verificamos das doutrinas apresentadas, que aplicados na engenharia civil e indústria automotiva traria possíveis problemas que poderiam ser evitados com a utilização de tratamentos e tecnologias protetivas contra a corrosão.

É sabido que na atualidade, o mercado da construção civil e indústria automotiva oferecem diferentes tipos de tratamentos para os perfis estruturais que são utilizados em construções, ressaltando que os mesmos acabam por encarecer em muito um projeto, o que faz com que optem apenas por aplicarem camadas de tinta (fundo e pintura) como preventivo de corrosão e deterioração do tempo de uso. Essa medida apenas minimiza os desgastes não sendo 100% (cem por cento) eficazes, necessitando de reparos no futuro.

Figura 3: Experimento visto por cima



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Figura 4: Vista Lateral

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Figura 5: Vista por cima

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

Por fim, pôde ser observado que todas as chapas sofreram um índice muito alto de corrosão, independente de ter recebido solda, rebite ou nada. A ação da evaporação da água salinizada foi gradativamente corroendo as chapas e gotejando ferrugem para a mesma água que ficou altamente suja se transformando numa solução alaranjado escuro.

6 CONCLUSÃO

Diante de toda a literatura nacional e internacional analisadas, observou-se que cada vez mais o uso de estruturas metálicas em construções e indústria automotiva vem se solidificando a cada dia, principalmente por atender mais rapidamente as necessidades de obras e projetos automotivos e com menos ônus de capital. Infelizmente, pouco se preocupou com os problemas que podem advir do mau uso ou aplicação da estrutura e observam-se algumas manifestações patológicas ao longo dos anos e a necessidade de manutenção que estas exigem quando não tratadas previamente antes de sua utilização.

As manifestações patológicas que foram observadas no experimento podem ser evitadas caso as chapas metálicas tivessem recebido uma pintura preventiva, ou a aplicação de selantes, jateamento de areia ou com tratamento de pintura eletrostática ou mesmo o banho na solução galvanizada.

As chapas metálicas utilizadas como elemento do trabalho que ficaram expostas às intempéries e sem nenhuma proteção, recebendo a mistura salinizada, o que ocasionou um alto grau de corrosão. Em relação a tratamentos existentes, antes de utilizarem as chapas metálicas estes deveriam ser aplicados, mas como oneram o custo das mesmas, muitos construtores e fabricantes automotivos deixam de utilizá-las, ocasionando futuros problemas.

Cabe ao profissional engenheiro no decorrer da realização do projeto evidenciar os ganhos com a prevenção das estruturas frente ao processo de corrosão.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, W.; CASTINHEIRAS, W. G. C. **Corrosão e Proteção Catódica**. In: FREIRE, José Luiz de França; Engenharia de Dutos. Rio de Janeiro: Transpetro; ABCM, 2009. Cap. 13 p.13.1-13.16
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS. Portal Met@lica. Disponível em: <https://metalica.com.br/corrosao-em-estruturas-metalicas-2/>. Acesso em: 15 mai. 2020.
- EPSTEIN, L. M.; ROSENBERG, J. L.; **Química Geral**, (Coleção Schaum), Porto Alegre: Bookman, 2003.
- FOGAÇA, J.R R. V. **Produção de ferro. 2019**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/composicao-e-propriedades-do-aco/>. Acesso em Out. de 2020.
- GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed, Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- HELENE, P. R. L. **Manual para Reparo, reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2ª ed. – São Paulo: PINI, 1992. 213 p.
- JONES, C. J. **A Química dos Elementos dos Blocos d e f, Sociedade Brasileira de Química**. Bookman, São Paulo/SP – 2002.
- MERÇON, Fábio; GUIMARÃES, Pedro Ivo Canesso; MAINIER, Fernando Benedito. **Corrosão: Um Exemplo Usual de Fenômeno Químico**. Química Nova na Escola, n. 19, mai. 2004. Corrosão. Disponível em: Acesso em: 15 jul. 2020.
- NUNES, L.P.; LOBO, A.C.O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990.
- PETERS, S. R. *et al.* Corrosão de aço carbono para dutos em águas naturais. In: **Proceedings of XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. São Paulo. Blucher, 2015. p. 19-22.
- PIRES FILHO, C. A. B.; SILVA, M.de S.; FONSECA DE SOUZA, W. J. Corrosão em estruturas metálicas – Estudo de caso. REMAS - **Revista Educação, Meio Ambiente e Saúde**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 25-42, jul. 2018. ISSN 1983-0173. Disponível em: <http://www.faculdadedefuturo.edu.br/revista1/index.php/remas/article/view/174>. Acesso em: 15 jul. 2020.
- PONTE, A. H. (2003). **Fundamentos da corrosão**. Departamento de Engenharia Química, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, SC. Disponível em <http://www.gea.ufpr.br/arquivos/lea/material/Apostila%20Corrosao.pdf>. Acesso em: 15 jul.2020.

SALGADO, A. L. de P.; AZEVEDO, D. A. G.. **Corrosão nas estruturas metálicas de tubos flexíveis utilizadas para exploração de petróleo offshore**. Niterói: UFF/RJ, 121f. 2019 Trabalho de Conclusão de Curso (bacharel em Engenharia Química). Universidade Federal Fluminense escola de Engenharia: Departamento de Engenharia Química e de Petróleo. Rio de Janeiro: Niterói, 2019. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/2843/1/TCC%20Ana%20Luiza%20e%20Deborah.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2020.

VILLALVA, M. G. **Prevenção da corrosão nas estruturas metálicas fotovoltaicas**. 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/artigos/artigos-tecnicos/item/234-prevencao-corrosao-estruturas-fv>. Acesso em 30 jul. 2020.