



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANTONIO RONIVON DE OLIVEIRA BESSA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA METÁLICA: UM ESTUDO
DE CASO DA CORROSÃO, CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS EM PILARES
TRELIÇADOS NA CIDADE DE ÁGUA NOVA-RN**

PAU DOS FERROS

2019

ANTONIO RONIVON DE OLIVEIRA BESSA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA METÁLICA: UM ESTUDO
DE CASO DA CORROSÃO, CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS EM PILARES
TRELIÇADOS NA CIDADE DE ÁGUA NOVA-RN**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Fernandes de Araujo Silva

PAU DOS FERROS

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B559m Bessa, Antonio Ronivon de Oliveira.
Manifestações patológicas em estrutura metálica:
um estudo de caso da corrosão, causas e
consequências em pilares treliçados na cidade de
água nova-rn / Antonio Ronivon de Oliveira Bessa.
- 2019.
72 f. : il.

Orientador: Matheus Fernandes de Araujo Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. Patologia do aço. 2. Estruturas de Aço. 3.
Manutenção. I. Silva, Matheus Fernandes de Araujo
, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade

ANTONIO RONIVON DE OLIVEIRA BESSA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA METÁLICA: UM ESTUDO
DE CASO DA CORROSÃO, CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS EM PILARES
TRELIÇADOS NA CIDADE DE ÁGUA NOVA-RN**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 14 / 08 / 2019.

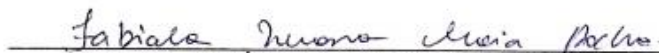
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. MATHEUS FERNANDES DE ARAÚJO SILVA
Presidente



Prof. JOSÉ HENRIQUE MACIEL DE QUEIROZ
1º Examinador



Prof. Esp. FABIOLA LUANA MAIA ROCHA
2ª Examinadora

AGRADECIMENTOS

O trabalho de conclusão de curso representa o término de uma etapa na vida do estudante e futuro profissional, onde para concluir a caminhada acabamos nos envolvendo com pessoas, instituições e momentos que nos fazem crescer e amadurecer, nos preparando não apenas para exercer uma atividade profissional, mas para a vida. O melhor exercício para o crescimento humano é agradecer pelo que é, pelo que tem, e aos que contribuíram para a nossa vida.

Nesse texto, quero agradecer primeiramente aos meus Pais e irmãos, que sempre acreditaram no poder da educação e no esforço do indivíduo para conseguir seus objetivos e evolução na vida. Agradecer aos demais familiares e amigos, que considero da família e que sempre apoiaram e me incentivaram nos estudos.

Agradeço ao meu professor e orientador Matheus Fernandes por me permitir fazer parte do projeto de pesquisa “Contribuições para análise e dimensionamento de estruturas no município de Água Nova - RN, por me orientar nesse trabalho, por inspirar a ser um estudante e profissional cauteloso e esforçado, e por todo o conhecimento compartilhado ao longo de todas as suas disciplinas ministradas na Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Agradeço a Banca Examinadora por todas as considerações e contribuições para o enriquecimento desse trabalho.

Agradeço a todos os professores da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) do campus Pau dos Ferros, pois cada um teve grande contribuição para minha formação e conduta como estudante e cidadão.

Por fim, agradeço a toda a instituição UFERSA, todos seus funcionários e terceirizados, e a todos os colegas e amigos que fiz dentro da universidade, ao qual torço por cada um e agradeço por fazerem parte de todo esse processo de conhecimento e aprendizado.

“Tudo foi calculado, exceto como viver.”

Jean Paul Sartre

RESUMO

As estruturas metálicas requerem cuidados nas fases de projeto e execução que ainda não são tão difundidos no meio da construção civil, fazendo com que esse sistema estrutural, de modo geral, não seja tão utilizado quando em comparação com os demais sistemas. Uma das características do aço que mais merece atenção é a tendência natural ao desenvolvimento da corrosão, sendo esse processo o principal causador de manifestações patológicas nesse sistema. Nesse contexto, no seguinte trabalho realizou-se um estudo de caso das patologias em pilares treliçados de uma estrutura localizada na cidade de Água Nova-RN. Utilizou-se como metodologia a visualização em campo da estrutura com registros fotográficos, e revisão bibliográfica com o objetivo de identificar as causas, consequências e soluções para as anomalias encontradas na inspeção. Verificou-se nos pilares treliçados da edificação a ocorrência de corrosão uniforme, por frestas e ranhuras como geradora da degradação da estrutura, onde foram ocasionadas por erros de projeto e execução, falta de manutenção e inspeção preventiva. Para solucionar tais problemas sugeriu-se a execução das ligações de base conforme recomendações normativas e um sistema de pintura adequado, bem como a manutenção preventiva da edificação.

Palavras-chave: Patologia do aço; Estruturas de Aço; Manutenção.

ABSTRACT

Metal structures require care in the design and execution phases that are not yet so widespread in the middle of construction, making this structural system, in general, not as used when compared to other systems. One of the characteristics of steel that deserves the most attention is the natural tendency of corrosion to develop, and this process is the main cause of pathological manifestations in this system. In this context, the following work was carried out a case study of the pathologies in lattice pillars of a structure located in the city of Água Nova-RN. It was used as methodology the field visualization of the structure with photographic records, and bibliographic review in order to identify the causes, consequences and solutions for the anomalies found in the inspection. It was verified in the truss pillars of the building the occurrence of uniform corrosion, through cracks and grooves as a generator of structure degradation, where they were caused by design and execution errors, lack of maintenance and preventive inspection. To solve such problems, it was suggested to perform the basic connections according to normative recommendations and a suitable painting system, as well as the preventive maintenance of the building.

Keywords: Pathology of steel; Steel structures; Maintenance

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	GERAL	12
2.2	ESPECÍFICOS.....	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1	PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE AÇO.....	13
3.2	PROCESSO DE CORROSÃO NO AÇO.....	14
3.2.1	Agentes causadores da corrosão em estruturas metálicas	15
3.2.2	Tipos de corrosão em estruturas metálicas	17
3.2.3	Tratamento da corrosão.....	22
3.3	PATOLOGIA NAS LIGAÇÕES.....	23
3.4	RECOMENDAÇÕES DE PROJETO PARA EVITAR CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS	23
3.5	REVESTIMENTOS	26
3.5.1	Aplicação.....	28
3.5.2	Patologia das tintas.....	33
3.5.3	Manutenção.....	36
4	METODOLOGIA.....	36
4.1	APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1	DEFINIÇÃO DA PATOLOGIA EM ESTUDO	40
5.2	TIPOS DE CORROSÃO ENCONTRADO.....	42
5.2.1	Corrosão uniforme	43
5.1.3	Corrosão por frestas	47
5.1.4	Corrosão por ranhuras.....	49
5.2	CAUSAS DEVIDO EXECUÇÃO	51
5.3	CAUSAS DEVIDO A MANUTENÇÃO	52
5.4	CONSEQUENCIAS DA PATOLOGIA	53
5.5	SOLUÇÕES SUGERIDAS	54
5.5.1	Execução da ligação de base	54
5.5.2	Revestimento.....	56
6	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICE A – Registro fotográfico de todos os pilares e as respectivas medidas de altura da corrosão	61

ANEXO A – Detalhamento das ligações de base dos pilares	73
---	----

1 INTRODUÇÃO

A pouca utilização do aço como sistema estrutural no Brasil ainda se dá devido ao conhecimento técnico pouco difundido entre a sociedade e no próprio meio da construção civil, no qual profissionais, desde o servente ao mestre de obras e, até mesmo engenheiros e arquitetos, têm poucos conhecimentos técnicos para realizar uma grande estrutura em aço sem que ocorram problemas típicos desse tipo de construção. Além disso, tem o fato do custo no Brasil ser mais elevado frente as estruturas de concreto (CASTRO, 1999). Outro ponto que faz com que esse material não seja difundido ainda mais, é o fato do aço apresentar tendências a certos problemas patológicos que exigem maior manutenção ao longo da vida útil do elemento estrutural, distanciando o consumidor por suceder uma impressão inicial de que esse material irá trazer complicações e difícil manutenção.

O aço possui grandes vantagens como elemento estrutural, como a elevada resistência, possuindo o maior índice de resistência quando verificada a relação da resistência com o peso específico do material. Assim, devido a sua leveza e grande resistência, é o material mais indicado para elementos estruturais em grandes vãos. Além disso, devido seu processo industrial e sua composição química, o aço obtém elevada ductilidade e alto grau de confiança quanto a suas propriedades físicas, deixando o projeto estrutural mais confiável. Diversas outras vantagens podem ser citadas aqui, como na execução dessas estruturas, onde se tem um canteiro de obra mais limpo e organizado, facilidade de reforço e ampliação nos elementos metálicos que a praticidade dos perfis proporcionam, rapidez de execução, e após sua vida útil o material pode ser reaproveitado e reciclado (FAKURY et al, 2016).

Mesmo com muitas vantagens na utilização das estruturas de aço, alguns cuidados são necessários para a sua utilização, pois muitas manifestações patológicas podem surgir na edificação por variados motivos, como a falta de conhecimento e/ou descuido na concepção e execução da edificação, mão de obra desqualificada, aspiração por querer fazer mais barato, entre outros motivos (CASTRO, 1999). Um dos principais cuidados a ser tomado é o referente à corrosão, um processo espontâneo da natureza que reduz gradualmente a espessura dos elementos metálicos, prejudicando seu funcionamento estrutural e estético. Sendo a corrosão a principal desvantagem do aço como elemento estrutural, requer então maior atenção, exigindo, por exemplo, prevenções e proteções específicas como camadas de tintas e outros tipos de proteção anticorrosiva (FAKURY et al, 2016; FILHO et al, 2018).

O processo de corrosão é acelerado quando o material entra em contato com ambientes mais agressivos como locais úmidos e/ou com umidade relativa do ar elevada, em ambientes poluídos com grande quantidade de gases poluentes, impurezas e vapores ácidos, orla marítima e ambientes com cloro como piscinas por exemplo (FAKURY et al, 2016).

O conhecimento acerca das patologias na construção civil não é muito difundido, e existem poucas pesquisas relacionadas ao tema, principalmente quando se refere a estruturas metálicas. Não se conhecem muitos trabalhos referentes a esse tema voltado especificamente para a engenharia civil, onde a corrosão é tratada de modo mais genérico. Conhecer as causas, os diagnósticos e soluções viáveis para esses problemas na prática, é de fundamental importância para elaborar e executar uma edificação metálica com qualidade e durabilidade, sendo esses conhecimentos indispensáveis para profissionais em todas as etapas para realização de uma edificação, desde arquitetos e engenheiros até colaboradores diretos, para que se possa elevar o nível técnico e difundir o uso das estruturas metálicas na sociedade.

Considerando o contexto apresentado, esse trabalho tem o objetivo de estudar as patologias geradas devido ao processo corrosivo nos pilares metálicos da estrutura de aço do pátio de uma escola na cidade de Água Nova - RN. A estrutura é utilizada para suspender a cobertura do pátio de uma escola de nível fundamental, no qual é grande o número de pessoas sob ela, tornando a estrutura de relevante importância para a localidade, sendo que problemas mais graves podem pôr em risco a integridade física de seres humanos.

Esse estudo partiu da iniciativa de engrandecer o projeto de extensão “Contribuições para análise e dimensionamento de estruturas no município de Água Nova – RN” da Universidade Federal Rural do Semiárido, estimando o elevado grau de importância da edificação em análise, bem como contribuir e aprimorar o acervo bibliográfico a respeito das patologias em estruturas metálicas.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Estudar as manifestações patológicas existentes nos pilares de uma estrutura metálica localizada na cidade de Água Nova - RN, identificando suas causas, consequências e tratamentos, de modo a encontrar uma solução para o caso em questão.

2.2 ESPECÍFICOS

- Apresentar o fenômeno da corrosão nas estruturas metálicas e suas formas de manifestação;
- Estudar as causas e consequências das manifestações patológicas nos pilares treliçados de uma edificação metálica localizada em uma escola na cidade de Água Nova - RN;
- Apresentar o tratamento dessas anomalias e formar uma solução prática e viável tecnicamente e financeiramente para o estudo de caso em análise;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE AÇO

Na engenharia, o termo patologia pode ser interpretado como um processo de deterioração dos materiais responsáveis por compor o sistema estrutural, onde cada material tem seu modo particular de reagir aos agentes externos e internos, em que cada material tem uma velocidade de degradação diferente um do outro (SOUZA E RIPPER, 1998).

Patologias em estruturas metálicas são geradas de variadas formas e são inicializadas por fenômenos que ocasionam a anomalia, como os agentes atmosféricos, variações térmicas, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, umidade, cargas excessivas entre outros fatores, onde os problemas são motivados por erros gerados desde a concepção inicial de projeto, produção do material até problemas na execução (HELENE, 1993).

Por isso, como afirma Sacchi e Souza (2016) é importante a implantação rígida de um controle de qualidade no detalhamento, fabricação e montagem das estruturas de modo a garantir a redução de intervenções para corrigir falhas posteriormente.

No Brasil, além do clima que faz construções de pequeno a grande porte sofrerem com mudanças de temperatura, chuvas, poluições e ambientes agressivos, fatores como falhas de projeto, erros de fabricação, problemas na montagem devido negligência quanto ao controle de qualidade e falta de manutenção, são causas primordiais para o surgimento de patologias nas edificações metálicas (SACCHI E SOUZA, 2016).

As principais patologias nas estruturas metálicas podem ser divididas em adquiridas, transmitidas e atávicas, sendo as patologias adquiridas as causadas por agentes agressivos externos, como líquidos corrosivos, poluição, vibrações etc. A corrosão é a patologia adquirida mais comum nessas estruturas. As patologias transmitidas são as originadas por vícios construtivos ou desconhecimento técnico que vão sendo transferidas de edificação para outra,

e as atávicas são as patologias relacionadas a má concepção de projeto, como erros de cálculo, detalhamento errado, escolha errada de perfis etc. (COZZA, 1998).

As principais patologias existentes nas estruturas de aço são: Corrosão localizada, corrosão generalizada, deformações excessivas, flambagem local e global, fraturas e propagação de fraturas (PRAVIA E BETINELLE, 2016).

Corrosão localizada: É um tipo de corrosão situada em um ponto da estrutura devido a concentração de agentes agressivos no local, sendo isso ocasionado por uma deficiência no detalhamento construtivo permitindo o posicionamento de perfis de tal modo que possibilite o acúmulo de águas pluviais, bem como de outras impurezas presentes no meio atmosférico, isso sendo acarretado ainda com a deficiência da drenagem das águas pluviais na estrutura (FLORES E BRITO, 2005).

Corrosão Generalizada: Quando a estrutura metálica está desprotegida devido à precariedade ou ausência de revestimento anticorrosivo ou qualquer outro sistema de proteção contra corrosão e acaba sendo tomada pelo processo corrosivo (FLORES E BRITO, 2005).

Deformações excessivas: Quando as deformações da estrutura ultrapassam as previstas em projeto, sendo esse problema ocasionado muitas vezes devido a erros de projeto na disposição inadequada de vigas e contraventamentos. As deformações em excesso também são ocasionadas por sobrecargas e variações de temperatura não previstas no projeto inicial (FLORES E BRITO, 2005).

Flambagem local e global: Geralmente ocasionados por análises inadequada ou concepção de modelo estrutural inadequado para verificação da estabilidade da estrutura, rigidez deficiente dos elementos estruturais, bem como imperfeições físicas ou geométricas não previstas no projeto e nos cálculos estruturais (FLORES E BRITO, 2005).

Fraturas e propagação de fraturas: Ocorre devido concentrações acentuadas de tensões, ocasionadas por problemas de concepção de projeto, defeitos no processo de soldagem dos elementos metálicos, ou variações de tensões não previstas no projeto (FLORES E BRITO, 2005).

3.2 PROCESSO DE CORROSÃO NO AÇO

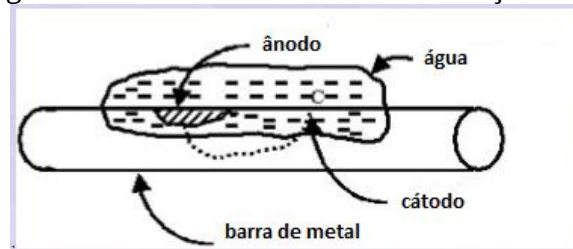
Devido à natureza do material, os principais problemas ocasionados nas estruturas metálicas estão relacionados ao processo de corrosão. A corrosão é um processo espontâneo que quando o aço não está devidamente protegido é atingido naturalmente pelo processo, que dependendo do meio no qual o material se encontra, a corrosão pode ser acelerada. Assim, a

corrosão do aço-carbono acontece por um processo eletroquímico em que o metal interage com o meio em que está inserido formando um óxido ou outro composto químico semelhante ao minério do qual foi originado, fazendo com que a peça seja consumida pelo processo, ocasionando diminuição da espessura do elemento, perda de ductibilidade, resistência mecânica, e inviabilizando seu desempenho estrutural (PANNONI, 2002; FILHO et al, 2018).

Para acontecer a corrosão eletroquímica é necessário a presença de um cátodo, um ânodo e um meio eletrolítico (meio que permite o processo corrosivo), sendo que no caso do aço, os íons de ferro entram em solução a partir de áreas anódicas ocorrendo a liberação de elétrons do ânodo, movendo-se através do cátodo em que se combinam com água e oxigênio formando íons hidroxila, que em seguida reagem com os íons ferrosos do ânodo para produzir óxido ferroso hidratado, que também é oxidado em óxido férrico formando a popular "ferrugem vermelha". (SATISH KUMAR; SANTHA KUMAR, [201-]).

No próprio metal, como bem expressa Filho et al (2018), pode ocorrer a presença do ânodo, do cátodo e da corrente elétrica, ficando o aço a mercê de um meio eletrolítico qualquer para desencadear o mecanismo de corrosão, mecanismo esse representado na figura 1 a seguir:

Figura 1 - mecanismos de corrosão no aço



Fonte: Adaptado de SATISH KUMAR e SANTHA KUMAR ([201-])

Assim, pode-se perceber que um dos objetivos dos projetistas de estruturas metálicas é impedir a formação dessas baterias de corrosão apresentada anteriormente, demandando atenção na fase de projeto, na execução e manutenção (SATISH KUMAR; SANTHA KUMAR, [201-]).

3.2.1 Agentes causadores da corrosão em estruturas metálicas

Como abordado anteriormente, as reações anódicas e catódicas podem ocorrer no próprio metal, ficando a cargo do projetista evitar a interação do meio eletrolítico com o elemento metálico, no qual esse meio que origina o eletrólito, como tratado por Castro (1999)

e Filho et al (2018), pode ser encontrado na atmosfera, nas águas e no solo, deixando assim o processo corrosivo extremamente fácil de ocorrer quando não se dá a devida atenção.

3.2.1.1 Corrosão pela atmosfera

Comumente a corrosão na atmosfera é o processo mais presenciado nas estruturas metálicas, em que a origem do eletrólito depende principalmente da localização do elemento, da umidade presente na atmosfera, da pluviometria da região, da temperatura do ambiente entre outros fatores (GENTIL, 1996). Pois conforme a localização do empreendimento, se é em zonas industriais, urbanas ou semi-industriais, orlas marinhas ou ambientes rurais, são nessas atmosferas que se encontram todos os gases poluentes, impurezas, sais, vapores, entre outros poluentes em grande ou pequena quantidade que aceleram o processo corrosivo (FILHO et al, 2018, CASTRO, 1999).

Como é dito por Castro (1999), apenas nos ambientes rurais se propicia melhor condição atmosférica para a não ocorrência de corrosão, justamente devido a atmosfera ser relativamente limpa dos contaminantes.

Assim, nesse meio o eletrólito é constituído fundamentalmente por água condensada (devido à chuva, orvalho, neblina etc.) na superfície do elemento metálico, juntamente com gases, sais de enxofre e cloretos dissolvidos, poeiras e demais poluentes que possam estar presentes (FILHO et al, 2018, CASTRO, 1999).

3.2.1.2 Corrosão pelo solo

É o tipo de corrosão mais comum em peças enterradas, pois a peça metálica fica em contato direto com o solo, como em tubulações, cabos subterrâneos, pilares metálicos enterrados, estacas metálicas, trilhos etc (GENTIL, 1996).

No solo são encontrados todas as heterogeneidades características de sua composição, como os diversos minerais, ácidos, sais e água, formando assim um eletrólito propício para o desenvolvimento da corrosão. Logo, a agressividade desse solo vai depender das características constituintes de cada solo, sendo o grau de acidez, o teor de umidade, o grau de aeração, a permeabilidade e a condutibilidade térmica os principais agentes aceleradores de corrosão devendo receber maior atenção (FILHO et al, 2018, CASTRO, 1999).

3.2.1.3 Corrosão pela água

É comum principalmente em estruturas submersas que estejam em contato direto com água, como os pilares, pontes, plataformas marítimas etc. Porém, como as edificações já são projetadas de modo a evitar o contato com a água, dificilmente será encontrado uma edificação em que as peças metálicas estejam submersas em água, o que é o ideal, pois na água, independente de qual tipo a edificação esteja exposta, sempre vai ter sais dissolvidos que acelerarão o processo de corrosão. Ou seja, a melhor maneira de se evitar a corrosão é não deixar a água entrar em contato, e caso não seja possível, é necessário realizar uma análise da água de modo a determinar seus contaminantes e adotar os materiais e tecnologia apropriada para o caso (FILHO et al, 2018; CASTRO, 1999; GENTIL, 1996).

3.2.2 Tipos de corrosão em estruturas metálicas

Para uma boa avaliação e solução de um processo corrosivo, é fundamental o conhecimento sobre os tipos de corrosão, onde os mesmos devem ser apresentados de acordo com sua morfologia, as causas ou mecanismos, os fatores mecânicos, o meio corrosivo ou a localização da sua ocorrência (FILHO et al 2018; SERRA, 2012).

A corrosão é um processo natural, onde temos que aprender a conviver e projetar com ela, pois muitos dos casos dessa patologia é motivado por erros de projeto, falta de manutenção, mudanças de ambientes, e intempéries muitas vezes causadas pelo próprio homem em ambientes com um uso grande de usuários, como ranhuras e até mesmo urina dos usuários (FILHO et al 2018).

A atmosfera é o principal meio de ocorrência da corrosão, mas também é muito comum encontrar estruturas metálicas em outros meios, como o solo e a água, onde pode-se presenciar estacas enterradas, bases de pilares sobre o solo, e elementos também em contato com a água (CASTRO, 1999).

Um dos principais problemas trazidos pela corrosão é a perda da seção transversal dos elementos, ocasionando uma perda de rigidez e concentrações de tensões, onde consequentemente reduz a capacidade de resistência última do material comprometendo seu desempenho estrutural (CASTRO, 1999; SERRA, 2012).

3.2.2.1 Corrosão uniforme

Esse tipo de corrosão se apresenta de forma distribuída uniformemente sobre a peça metálica, formando uma camada de óxido pouco aderente sobre o elemento, sendo assim uma corrosão superficial, não causando penetrações profundas ou pontuais na estrutura e que conseqüentemente, o perfil metálico perde sua espessura de forma gradual e distribuída ao longo de toda a superfície (CASTRO, 1999; FILHO et al, 2018; LIMA, 2017; SERRA, 2012). A figura 2 a seguir, mostra um exemplo de um pilar metálico sob a corrosão uniforme.

Figura 2 - Corrosão uniforme em uma coluna metálica



Fonte: Castro (1999)

É a forma mais comum de corrosão e também a mais fácil de ser detectada além de ser visível, sendo então um tipo de corrosão menos perigosa. É também o único tipo de corrosão que os projetistas conseguem estimar nos projetos devido levar em conta o tipo de serviço que a estrutura será submetida, sendo a taxa de corrosão estimada em função da vida útil do empreendimento (CASTRO, 1999; LIMA, 2017).

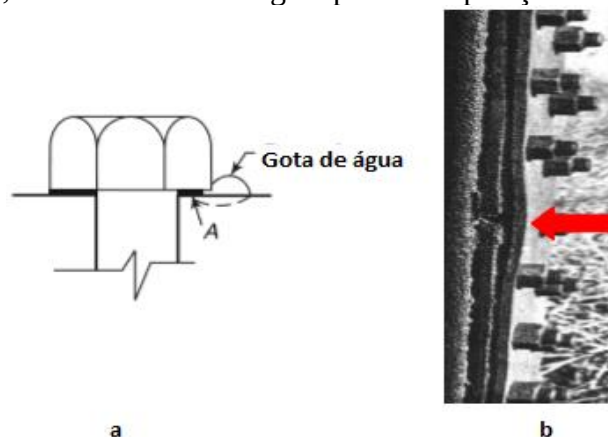
É causada pelo contato direto do material metálico com um ambiente agressivo, ocasionado devido uma falta de proteção, ou uma proteção deficiente ou inadequada, ou ainda a degradação da proteção do aço carbono e falta de manutenção do mesmo. Todos esses problemas podem ser agravados caso ocorram erros de projeto como uma disposição inadequada dos perfis permitindo acúmulos de água e/ou poeira, falta de drenagem nos perfis ocasionando acúmulos de líquidos, e perfis com partes enterradas ou submersas em água. Além

disso, a camada de óxido não funciona como protetor do aço carbono, existindo então um processo contínuo de corrosão enquanto o eletrólito estiver em contado com o aço (CASTRO, 1999).

3.2.2.2 Corrosão por frestas

Esse tipo de corrosão caracteriza-se por ocorrer em locais onde existem duas superfícies metálicas em contato ou próximas, ou debaixo de superfícies recobertas de modo a formar frestas entre elas, frestas essa geralmente em torno de 0,025 a 0,1mm de espessura, ou seja, a frestas tem que ser suficientemente larga de modo a permitir a entrada do eletrólito, e estreita de modo a estagnar o eletrólito. Esse tipo de corrosão é comumente encontrado em juntas de ligações metálicas, rebites e parafusos (CASTRO, 1999; FLORES e BRITO, 2005). A figura 3a e 3b mostram exemplos do mecanismo da corrosão por frestas.

Figura 3 – Processo de corrosão por frestas, onde na figura 3a ilustra uma fresta gerada por um parafuso, e em 3b uma fresta gera pela sobreposição de chapas metálicas.



Fonte: Kumar ([201-]) e Dillon (1982)

Na figura 3a, a fresta gerada entre o parafuso e a superfície metálica permite a entrada de eletrólitos, como a gota de água representada na figura, dando início ao processo de corrosão no ponto A dentro da fresta. Já na figura 3b, a sobreposição de metais, quando uma chapa sofre uma deformação, gera fendas que permitem a entrada do meio corrosivo dando início ao processo corrosivo no interior dessa fresta.

Assim, a corrosão por frestas é formada geralmente devido a geometria estrutural de um sistema ocorrendo nas ligações dos elementos metálicos, quando ocorre contato com materiais não metálicos, como madeira, plástico, borrachas, concreto, etc., ocorrendo na interface entre a

estrutura metálica e esses não metais, formada também devido depósitos de sujeiras ou produtos de corrosão. (CASTRO, 1999; FLORES e BRITO, 2005).

Esse tipo de corrosão é mais perigosa que a corrosão uniforme, pois ocorrem em áreas pequenas da estrutura geralmente até imperceptíveis e de difícil manutenção, pois ocorrem geralmente nas ligações, bases de coluna, vedações, impossibilitando até avaliar o grau de deterioração do elemento, sendo importante para essa avaliação a experiência do profissional (CASTRO, 1999; FLORES e BRITO, 2005).

A corrosão por frestas, como é elucidado por Castro (1999), é causada principalmente devido a exposição contínua da estrutura metálica a um eletrólito, no qual é muito propício o acúmulo de água nas fendas gerando a formação de pilhas de aeração diferencial, ou seja, a região de menor concentração de oxigênio funciona como ânodo, enquanto a de maior concentração funciona como cátodo, nesse caso, na borda da fresta temos a região de maior concentração de oxigênio, enquanto que no interior temos uma baixa concentração, e é justamente nessa região de baixa concentração onde ocorre a corrosão. Com isso, se o ambiente do empreendimento for muito agressivo, é recomendado a ligação soldada de modo a não formar frestas nas ligações e prevenir esse tipo de corrosão.

3.2.2.3 Corrosão por pontos ou pites

É outra forma localizada de corrosão, no qual pequenos buracos se formam na superfície do material e se aprofundam da superfície para dentro do material numa direção geralmente vertical. Corriqueiramente ocorrem em estruturas metálicas protegidas, onde a camada protetora se corrompe em determinados locais deixando exposto o aço carbono e o processo segue ocasionando uma perda pequena de material, gerando heterogeneidades na peça que podem gerar falhas capaz de levar a ruptura brusca, pois esse tipo de corrosão por ser bastante localizada e pontual é difícil de ser detectada (CALLISTER e RETHWISCH, 2013; FLORES e BRITO, 2005; SERRA, 2012).

É um processo com mecanismos semelhantes a corrosão por frestas, formando a corrosão no interior do próprio furo, em que supostamente devido a ação da gravidade os furos vão se estendendo para baixo, com a solução na extremidade do ponto se tornando cada vez mais concentrada e densa fazendo com que aumente cada vez mais a velocidade da corrosão (CALLISTER e RETHWISCH, 2013; FLORES e BRITO, 2005).

Esse tipo de corrosão pode ser gerado a partir de defeitos superficiais localizados, como arranhões, variações na composição do material etc. Ocorrem normalmente em locais expostos

a meios aquosos, meios salinos ou drenagens deficientes permitindo assim a deposição de impurezas nocivas ao aço, ocorrência de pilha de aeração diferencial, infiltração ou penetração de substâncias líquidas no interior da peça (CALLISTER e RETHWISCH, 2013; FLORES e BRITO, 2005). A figura 4 abaixo mostra um caso de corrosão por pites.

Figura 4 – Corrosão por pites em estrutura metálica



Fonte: Filho et al (2018)

3.2.2.4 Corrosão por ranhuras

Esse tipo de corrosão pode ocorrer em qualquer defeito que exponha o aço carbono ao ambiente agressivo, e/ou que permita o acúmulo de impurezas ou soluções aquosas na região danificada. É geralmente ocasionada por riscos, erosões ou qualquer outro tipo de degradação que danifica a proteção e expõe cantos vivos. A corrosão por ranhuras contém cantos pequenos em comparação aos demais tipos de corrosão, podendo passar despercebido e não ser atendido nas manutenções. Esse tipo de corrosão não apresenta grandes perigos por ser superficial e de fácil tratamento. Seu mecanismo de formação é semelhante ao da corrosão por frestas, e é facilmente combatido com uma limpeza e manutenção do revestimento protetor (FILHO et al, 2018; FLORES e BRITO, 2005).

3.2.2.5 Corrosão galvânica

A ocorrência desse tipo de corrosão é pela formação de uma pilha eletroquímica quando existe a junção de dois metais diferentes, onde os metais funcionam como eletrodos que ocasionam as reações de oxirredução no material devido à diferença de potencial eletroquímico entre as duas peças metálicas, sendo assim, fundamental ter cuidado com uniões de metais

diferentes. É comum esse tipo de corrosão em ligações parafusadas, nas ligações de telhas galvanizadas ou de alumínio com a estrutura, esquadrias de alumínio encostadas de modo indevido na estrutura, entre outros erros de projeto (FLORES e BRITO, 2005; SERRA, 2012).

A figura 5 abaixo mostra um exemplo de corrosão galvânica, onde as chapas galvanizadas ou de alumínio entram contato com a estrutura de aço, fazendo com que o zinco se torne um metal de sacrifício, sofrendo corrosão primeiro.

Figura 5 – Corrosão em Asna devido o contato de chapas galvanizadas ou de alumínio com o aço



Fonte: Castro (1999)

3.2.3 Tratamento da corrosão

Para situação de o material já se encontrar deteriorado o primeiro passo a se tomar é avaliar o grau de corrosão no material. Caso a superfície do elemento estrutural esteja corroída apenas superficialmente, é suficiente apenas uma limpeza superficial e realizar uma nova pintura com revestimento adequado, e no caso de frestas, fechá-las com selante adequado na entrada destas. Já no caso do material estar sob forte processo de corrosão, de modo a vir comprometer a segurança da estrutura, é necessário optar por dois caminhos: Reforço ou substituição dos elementos danificados, sendo qualquer umas das decisões necessária uma limpeza adequada da superfície corroída (CASTRO, 1999; FILHO et al, 2018).

No caso do reforço, deve ser utilizado em partes da estrutura que não estejam muito comprometidas, sendo possível a soldagem de chapas de mesma espessura ou superior ao elemento corroído, ou a utilização de soldas com características físicas equivalente ao do

material estrutural de modo a permitir continuidade geométrica e física ao elemento e a mesma eficiência estrutural (CASTRO, 1999; FILHO et al, 2018).

No caso do elemento estar muito danificado e/ou o reforço não seja economicamente viável e não apresente uma segurança confiável, a melhor opção é a substituição, que além da praticidade dos elementos metálicos de serem facilmente substituíveis, tem o fato de muitas vezes a substituição ser menos onerosa que o próprio reforço (CASTRO, 1999; FILHO et al, 2018).

3.3 PATOLOGIA NAS LIGAÇÕES

Como bem expõe Castro (1999), as ligações em estruturas metálicas são responsáveis por definir o tipo de sistema estrutural, bem como garantir a rigidez e o comportamento da estrutura definida em projeto. Os principais problemas nas ligações metálicas estão relacionados ao mal dimensionamento das ligações ainda na fase de concepção do projeto. O meio de ligação, se é soldado ou parafusado, é decisivo para um bom comportamento da edificação, onde é necessário conhecer o funcionamento das soldas, dos parafusos, e como estes elementos interagem com o restante da edificação.

No caso das ligações soldadas são necessários cuidados para evitar a formação de porosidades, inclusão de escórias, aparecimento de mordeduras, falta de fusão e /ou penetração, trincas, empenamentos, superposição, mau acabamento no cordão, excesso de respingo entre outras patologias. Quanto as ligações parafusadas devem-se proceder de modo a evitar ruína devido ao cisalhamento do fuste, rasgamento da chapa, esmagamento do fuste, corrosão, detalhamento errado de projeto, erros de fabricação e montagem entre outras. Além disso é de suma importância evitar problemas nas ligações do pilar com a base de fundação, mantendo a boa ancoragem do mesmo de modo a evitar problemas com a estabilidade da estrutura entre outras patologias (CASTRO, 1999).

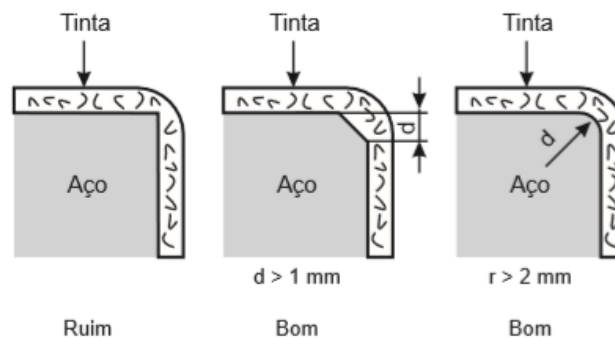
3.4 RECOMENDAÇÕES DE PROJETO PARA EVITAR CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Alguns textos na literatura técnica sobre patologias em estruturas metálicas geradas pela corrosão, como os escritos por Souza (1998), Kumar, [201-] e Pannoni (2015), e normas técnicas como a ABNT NBR 8800:2008 em seu item 10.3 e no anexo N, e a ISO 12944-3:1998 trazem recomendações importantes para a precaução da corrosão em estruturas metálicas, precauções essas que surgem já na concepção e detalhamento do projeto.

O projetista já deve criar uma solução de projeto comprometida com a precaução contra corrosão, diminuindo as condições propícias à corrosão eletroquímica, pensar na facilidade de aplicação e manutenção de revestimentos de modo que estes tenham melhor desempenho, e projetar de forma a facilitar a inspeção e manutenção da edificação. Nesse caso, deve ser levado em conta os seguintes pontos:

- Se atentar a geometria dos componentes estruturais, optando por superfícies planas ou lisas, geometrias curvas em vez de cantos angulados, arredondamento dos cantos de extremidades, evitar angulações que dificulte o acesso à região na hora de inserção e manutenção. A figura 6 abaixo, mostra como os cantos arredondados facilita a aplicação e promove a durabilidade da camada protetora de tinta, pois a película do revestimento se torna bem mais fina nas quinas, facilitando a rápida degradação da tinta nessas localidades e dando início ao processo corrosivo.

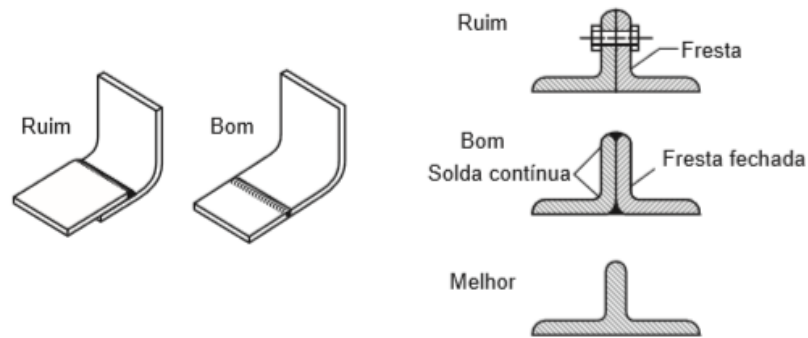
Figura 6 – Representação do revestimento em elementos com cantos angulados e arredondados



Fonte: Pannoni (2015)

- É importante também optar por componentes simples em vez de componentes compostos que envolvam muitas ligações e junções de metais facilitando o aparecimento de frestas e dificultando inspeção. Por exemplo, a figura 7 abaixo, mostra que é preferível ligações de perfis por meio de soldas ao invés de peças complexas aparafusadas, e que melhor ainda seria o perfil formado por peça única, a fim de evitar a formação de frestas devido a sobreposição de peças metálicas. Como mostra a imagem seguinte, é importante se atentar também na concepção das peças soldadas para que se possa evitar ao máximo a sobreposição de peças.

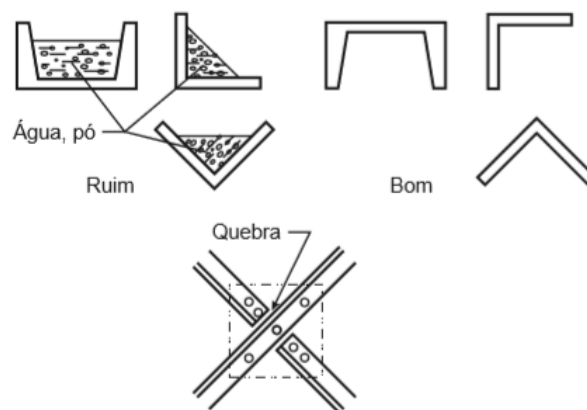
Figura 7 – Representação dos princípios de prevenção de frestas em estruturas metálicas



Fonte: Pannoni (2015)

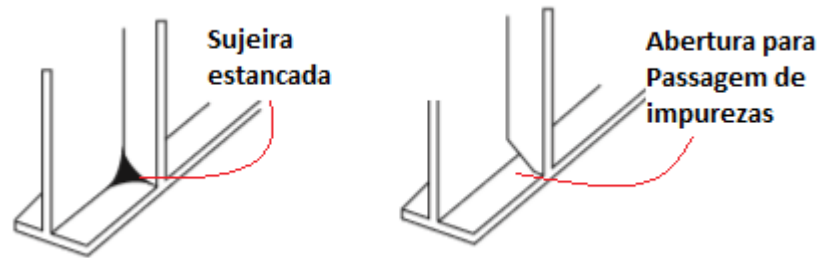
- Evitar seções abertas na face superior, de modo que não facilite o acúmulo de água e impurezas, caso contrário providenciar sistemas de escoamento de modo a drenar líquidos acumulados. A figura 8 ilustra os princípios para se evitar o acúmulo de impurezas nos perfis a partir da concepção e posicionamento dos mesmos, onde na imagem que contém a ligação parafusada é aconselhável que se faça uma quebra na junção das cantoneiras, de modo a permitir a passagem de impurezas e drenagem de líquidos. E a figura 9 mostra uma concepção importante para as chapas enrijecedoras.

Figura 8 – Representação dos princípios básicos de prevenção de acúmulo de água e impurezas em perfis de seção aberta



Fonte: Pannoni (2015)

Figura 9 – Recomendação de projeto de enrijecedores para prevenção de corrosão



Fonte: Adaptado de Kumar [201-]

- Se atentar na união dos componentes estruturais, sendo preferível a união por solda de modo a evitar a descontinuidade das peças, sempre optando por cordões de solda contínuos e côncavos.
- Se atentar para que os cordões de solda e chapas de solidarizarão não acumulem o meio corrosivo.
- Deve-se evitar componentes sobrepostos de modo a gerar frestas, e caso ocorra, é fundamental proteger a fresta com vedação ou pintura eficiente. Além de tomar cuidado com os metais sobrepostos, onde os mesmos devem ser analisados, pois metais diferentes podem gerar diferença de potencial prejudicial de modo a ocorrer corrosão eletroquímica.
- Ao ligar um componente de aço a uma peça de concreto (ligação da base do pilar por exemplo) deve-se atentar ao tratamento adequado como vedação por resinas acrílicas ou revestimento adicional na região mais crítica.

3.5 REVESTIMENTOS

Uma forma de impedir a exposição do material metálico com o meio corrosivo é revesti-lo com outro material, proporcionando uma barreira física que impede o substrato de manter contato com o eletrólito, impedindo a formação das reações catódicas (CARDOSO, 2013). Esse revestimento pode ser metálico, orgânico, ou por conversão química. Para esse trabalho focaremos nos revestimentos orgânicos convencionais, as tintas, por serem mais empregados e de fácil aplicação e conhecimento mais difundido, além de serem economicamente viável.

Como é exposto por Castro (1999), os revestimentos orgânicos são classificados em convencionais e de alta espessura, sendo o primeiro utilizado em estruturas expostas em

ambientes atmosféricos, e o segundo para proteger estruturas enterradas ou submersas em águas.

O revestimento adequado, bem como sua forma de aplicação vai depender da agressividade do meio em que o elemento metálico está inserido. Dessa forma, existe um procedimento para se manter a eficiência desse sistema de proteção, em que, a primeira demão de tinta conhecida como “primer” tem a função de proteger e nivelar a superfície metálica. Em seguida vem a segunda camada (tintas intermediárias) cujo objetivo é aumentar a espessura da camada de tinta e melhorar a proteção por meio do aumento da barreira física. E dependendo do meio corrosivo, ainda tem a terceira camada de tinta (tinta de acabamento) cuja função é dá espessura, acabamento, cor e textura, sendo essa camada a que tem o contato direto com o meio agressor. Em um meio de pouca ou média agressividade, pode ser utilizado apenas o primer (CASTRO, 1999; MAGNAN, 2011).

Castro (1999) apresenta de forma sucinta todos os tipos e aplicações de tintas, destacando a diversidade desses revestimentos com composições e empregos diversificados que se adéqua a depender da necessidade de projeto. O mesmo fala das tintas à base de resinas alquídicas, a base de resinas apoxídicas e a base de resinas de poliuretano sendo estas citadas em ordem de nobreza e custo. Ainda é destacado a existência de outros tipos de tintas como a borracha clorada, fenólicas, resinas vinílicas, etil-silicato, silicone entre outras, sendo estas usadas em condições de elevadas temperaturas, estruturas enterradas entre outras situações específicas. Mas, Pannoni (2002) descreve de modo mais prático as classificações das tintas, além de conter um sistema de pintura que se recomenda consultar, sendo:

TINTAS ALQUÍDICAS: São conhecidas como esmaltes sintéticos com monocomponentes e de secagem ao ar. São utilizadas geralmente em interiores secos e abrigados, ou em exteriores não poluídos, não resistindo ao molhamento constante ou à imersão em água. Recomendadas apenas para ambientes de média e baixa agressividade, podendo ser aplicadas em superfícies com limpeza apenas regular. Os primers desse tipo de pintura não permitem a repintura com outras classes de tintas (CASTRO, 1999; PANNONI, 2002).

TINTAS EPOXÍDICAS: São tintas bicomponentes de secagem ao ar quando ocorre a reação química entre os dois componentes. Um componente geralmente é à base de resina epoxídica e o outro é o agente de cura, podendo ser à base de poliamida, poliamina ou isocianato alifático. São tintas mais impermeáveis e resistentes aos agentes químicos do que as alquídicas. Tem boa resistência a diversas intempéries, porém esse tipo de tinta deteriora quando exposta ao Sol e a chuva devido calcinarem (CASTRO, 1999; PANNONI, 2002).

TINTAS POLIURETANICAS: São tintas bicomponentes com componente a base de resina de poliéster ou resina acrílica e um agente de cura à base de isocianato alifático. Essas tintas são de alta performance, resistentes a agentes químicos, a abrasão, ao intemperismo. São utilizadas em acabamentos como esmaltes e vernizes em atmosferas altamente corrosivas. São compatíveis com primers epoxídicos e resistem por muitos anos com menor perda da cor e do brilho originais (CASTRO, 1999; PANNONI, 2002).

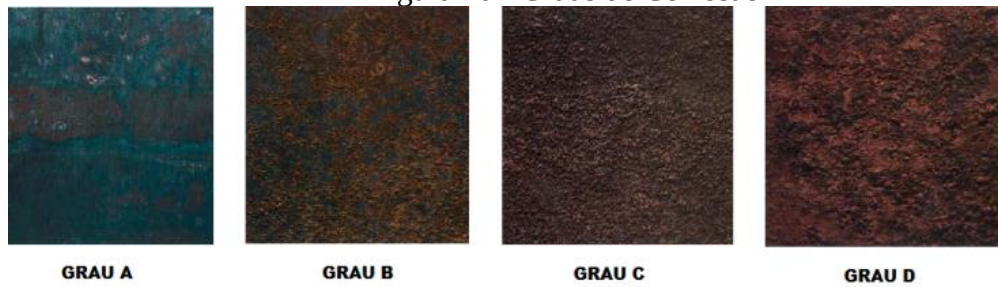
3.5.1 Aplicação

Pannoni (2002) e Cardoso (2013) mostra os procedimentos para o tratamento da superfície corroída que receberá o revestimento, em função do grau de oxidação na estrutura, bem como o grau de tratamento dessa superfície que também é em função do estado de corrosão. Eles utilizam as recomendações previstas na norma Sueca SIS 05 59 00-1967 “Graus de Enferrujamento da Superfície de Aço Laminado a Quente e Graus de Preparo destas Superfícies para Aplicação de Revestimentos Anticorrosivos”.

Os padrões de graus de corrosão são definidos por meio de fotografias do nível de oxidação em que o elemento estrutural se encontra para receber o revestimento (Figura 10), sendo então classificado em:

- Grau A: superfície com a carepa de laminação praticamente intacta em toda a superfície e sem corrosão. Representa a superfície de aço recentemente laminada;
- Grau B: superfície com princípio de corrosão, quando a carepa de laminação começa a desprender-se;
- Grau C: superfície onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão ou poderá ser removida por raspagem ou jateamento, desde que não tenha formado ainda cavidades muito visíveis (pites) em grande escala;
- Grau D: Superfície com corrosão generalizada e com pontos profundos de corrosão (pites).

Figura 10 - Graus de Corrosão



Fonte: <https://danieljsn.wordpress.com/2016/08/03/jateamento-abrasivo-seco/>

Dependendo do grau de corrosão, a limpeza da superfície pode ser realizada com solventes quando o objetivo é remover sais, óleos, terras entre outros poluentes de mesma categoria. Nesse caso pode ser utilizado solventes orgânicos, detergentes, vapor de água doce entre outros procedimentos dependendo da geometria e do local onde vai se realizar o tratamento.

Quando o estado de oxidação está muito avançado utiliza-se jateamento abrasivo, caso não seja possível esse método, utiliza-se a preparação da superfície por meios mecânicos e/ou manuais. Tem-se então como as ferramentas manuais mais utilizadas, as lixas, escovas de aço, raspadeiras e martelos de impacto. E às ferramentas mecânicas, tem-se as pistolas de agulha, escovas de aço e lixadeiras rotativas.

Para esse procedimento as normas SIS 055900-1967 e ISO 8501, estabelece os padrões de limpeza St 2 e o St 3, não sendo estes empregados no grau de oxidação A.

- Padrão St 2: raspagem com raspadeira de metal duro e escovamento cuidadoso a fim de remover a laminação, óxido e partículas estranhas. Após a limpeza, a superfície deverá ter suave brilho metálico. Para os graus de intemperismo os padrões de limpeza são B St 2, C St 2 e D St 2;
- Padrão St 3: raspagem e escovamento com escovas de aço, de modo cuidadoso. Após a limpeza, deverá a superfície apresentar pronunciado brilho metálico. Para os graus de intemperismo, os padrões de limpeza são B St 3, C St 3 e D St 3.

Após o tratamento adequado da superfície, da verificação das condições ambientais e de projeto, aplica-se a tinta de modo a garantir sua correta configuração, sendo essencial uma execução de qualidade com profissional qualificado, pois um erro em qualquer uma das etapas que vai desde o tratamento da superfície até a concepção do revestimento pode causar

patologias que inviabilizam a peça, deixando-a desprotegida e sujeita a ataques corrosivos, necessitando de manutenções posteriores antes do tempo previsto, gerando gastos e retrabalhos.

3.5.1.1 Sistema de pintura

Na hora de aplicar a tinta deve-se levar em conta todos os pontos abordados anteriormente, como as condições ambientais, grau de corrosão, grau de limpeza e preparo da superfície. No caso de preparo mecânico da superfície, Gnecco (2003) propõe uma espessura de revestimento em função do grau de limpeza e do ambiente em que a estrutura está inserida. Os ambientes são classificados pelo autor da seguinte forma:

- Rural: Baixos teores de poluentes naturais - Sol, chuva, umidade e poeiras do solo.
- Urbano: Depende da intensidade do tráfego e do porte da cidade - Sol, chuva, umidade, fuligem e SO₂.
- Industrial: Sol, chuva, umidade, fuligem, poeiras de produtos químicos, SO₂, NO, NO₂, CO e H₂S.
- Marítimo: Sol, chuva, umidade, poeiras de areia e névoa salina (predominância de cloreto de sódio NaCl).

A figura 11 abaixo mostra as recomendações de preparo da superfície e espessura da camada de tinta conforme recomendação da NBR 8800:2008:

Figura 11 - Preparo da superfície e espessura da camada de tinta

Ambiente	Rural	Urbano	Industrial ou Marítimo	Peças Enterradas	Imersão
Preparo de superfície mínimo	St 3	St 3	St 3	-	-
Faixa de espessura (μm)	125 a 175	150 a 250	250 a 375	-	-

Nota: Utilizar a limpeza mecânica, no padrão de limpeza St 3, somente no grau C de enferrujamento, onde não existe mais carepa de laminação presente na superfície da peça.

Tabela 3.5 - Preparo de superfície e espessuras da película recomendadas para limpeza mecânica

Fonte: GNECCO (2003)

Em seguida apresenta-se os sistemas de pintura para aço carbono e aço patinável recomendados pelo CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço em função dos diversos ambientes como pode ser visto nas figuras 12, 13 e 14 a seguir:

Figura 12 - Sistemas de pintura para ambientes rurais

3.4.3.1 *Sistemas para ambientes rurais*

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (µm)	EPS Total (µm)	Observações
CBCA-01	Fundo/Acabamento	Alquídico DF	1	75	75	Sistema de custo baixo por galão Expectativa de durabilidade (3 a 6 anos) Secagem rápida
CBCA-02	Fundo	Primer Alquídico	1	40	120	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (4 a 7 anos)
	Acabamento	Esmalte Alquídico	2	40		
CBCA-03	Fundo	Primer Epóxi	1	40	120	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (5 a 8 anos)
	Acabamento	Esmalte Alquídico	2	40		
CBCA-04	Fundo	Primer Epóxi	1	40	120	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (6 a 9 anos) Calcina (muda de cor e de brilho)
	Acabamento	Esmalte Epóxi	2	40		
CBCA-05	Fundo/Acabamento	Epoximastic cores	1	100	100	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (6 a 9 anos) Calcina (muda de cor e de brilho)
CBCA-06	Fundo	Primer Acrílico WB	1	50	130	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (5 a 9 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte Acrílico WB	2	40		
CBCA-07	Fundo/Acabamento	Poliuretano DF	1	100	100	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação

Fonte: GNECCO (2003)

Figura 13 - Sistemas de pintura para ambientes urbanos

3.4.3.2 *Sistemas para ambientes urbanos*

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (µm)	EPS Total (µm)	Observações
CBCA-08	Fundo	Primer Alquídico	2	40	160	Sistema de baixo custo por galão Expectativa de durabilidade (4 a 7 anos)
	Acabamento	Esmalte Alquídico	2	40		
CBCA-09	Fundo	Primer Epóxi	2	40	160	Sistema de médio custo por galão Expectativa de durabilidade (5 a 8 anos)
	Acabamento	Esmalte Alquídico	2	40		
CBCA-10	Fundo/Acabamento	Epoximastic cores	1	120	120	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (6 a 9 anos) Calcina (muda de cor e de brilho)
CBCA-11	Fundo	Primer Acrílico WB	2	50	180	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (6 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte Acrílico WB	2	40		
CBCA-12	Fundo/Acabamento	Poliuretano DF	2	70	140	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação

Fonte: GNECCO (2003)

Figura 13 - Sistemas de pintura para ambientes industriais
3.4.3.3 *Sistemas para ambientes industriais*

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (μm)	EPS Total (μm)	Observações
CBCA-13	Fundo/ Acabamento	Epoximastic cores	2	125	250	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (6 a 9 anos) Calcina (muda de cor e de brilho)
CBCA-14	Fundo	Primer Epóxi	1	75	275	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (6 a 9 anos) Calcina, porém é excelente para superfícies abrigadas
	Acabamento	Esmalte Epóxi	2	100		
CBCA-15	Fundo	Primer Epóxi	1	125	275	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte Poliuretano	2	75		

Fonte: GNECCO (2003)

Figura 15 - Sistemas de pintura para ambientes marítimos

3.4.3.4 *Sistemas para ambientes marítimos*

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (μm)	EPS Total (μm)	Observações
CBCA-16	Fundo	Primer etil silicato de zinco	1	75	265	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (8 a 12 anos) Tem excelente resistência ao ambiente marítimo Tem boa resistência à calcinação
	Intermediária	Tinta epóxi-poliâmida (tie-coat)	1	40		
	Acabamento	Esmalte Poliuretano	2	75		
CBCA-17	Fundo	Primer Epóxi rico em zinco	1	75	275	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (7 a 11 anos) Tem excelente resistência ao ambiente marítimo Tem boa resistência à calcinação
	Intermediária	Esmalte Epóxi	1	125		
	Acabamento	Esmalte Poliuretano	1	75		
CBCA-18	Fundo	Primer Epóxi	2	125	300	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (6 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte Poliuretano	1	50		

Fonte: GNECCO (2003)

Castro (1999) também recomenda de forma prática um sistema de pintura, onde indica o tipo de tinta em função dos ambientes, no caso poucos agressivos, e tratamento de superfície realizado de modo mecânico ou manual, como podemos ver na imagem abaixo:

Figura 16 -Sistema de pintura

AMBIENTE COM CONDIÇÕES NORMAIS – POUCO AGRESSIVOS (locais abrigados e secos)			
Preparação da superfície: Limpeza mecânica ou com solventes (St1 ou SP1)			
CLASSIFICAÇÃO	Nº DE DEMAOS	TINTA	ESPESSURA DO FILME SECO POR DEMAÑO (μm)
PRIMER	2	Primer Alquídico	30
ACABAMENTO	2	Esmalte Sintético	30
			TOTAL: 120

Fonte: CASTRO (1999)

Devido muitos problemas patológicos, bem como manutenção da estrutura ou camadas com tintas diferentes, exigem um cuidado especial na hora de aplicar camadas distintas de revestimentos, logo, é fundamental proceder com a melhor compatibilidade possível entre as tintas. Assim, Castro (1999) apud Dias (1998) apresenta uma tabela de compatibilidade entre as tintas de modo a facilitar a verificação, deixando a tomada de decisão mais prática. A tabela pode ser visualizada a seguir:

Figura 17 - Compatibilidade entre as tintas

PRIMER OU CAMADA ANTERIOR (APLICADA)	ACRÍLICA	ALQUÍDICA	ALQUÍDICA SILICONE	BORRACHA CLORADA	EPÓXI-ALCATRÃO	EPÓXI-POLIAMIDA	EPÓXI-POLIAMINA	EPÓXI-VINÍLICA-POLIAMIDA	ETIL-SILICATO	FENÓLICA	LÁTEX	POLIÉSTER	POLIURETANA	SILICATO INORGÂNICO	SILICONE	VINÍLICA
TIPO DE TINTA (A APLICAR)																
ACRÍLICA	B	C	C	B	B*	B	B	C	B	C	B	C	B	B	C	B
ALQUÍDICA	C	B	B	B	B*	B	B	B	NR	B	C	B	B	NR	C	B
ALQUÍDICA SILICONE	C	B	B	B	B*	B	B	B	NR	B	C	B	B	NR	B	B
BORRACHA CLORADA	C	B	B	B	B*	B	B	B	B	C	B	B	B	B	C	B
EPÓXI-ALCATRÃO	NR	NR	NR	NR	B	B	B	C	B	C	NR	B	NR	B	NR	NR
EPÓXI-POLIAMIDA	NR	NR	NR	NR	B*	B	B	C	B	C	NR	B	NR	B	NR	NR
EPÓXI-POLIAMINA	NR	NR	NR	NR	B*	B	B	NR	B	C	NR	B	NR	B	NR	NR
EPÓXI-VINÍLICA-POLIAMIDA	NR	NR	NR	NR	B	B	B	B	B	C	NR	B	B	B	NR	B
ETIL-SILICATO	NR	NR	NR	NR	C	C	C	C	B	C	C	C	C	C	NR	NR
FENÓLICA	NR	NR	NR	NR	C*	B	C	NR	C	B	NR	B	NR	B	NR	NR
LÁTEX	C	C	C	C	C*	C	C	C	B	B	B	B	B	C	B	C
POLIÉSTER	NR	NR	NR	NR	C*	C	C	NR	NR	C	NR	B	NR	NR	NR	NR
POLIURETANA	NR	NR	NR	NR	B*	B	B	B	B	B	NR	B	B	B	NR	NR
SILICONE	B	C	B	B	B*	B	B	B	B	B	C	B	C	B	B	B
VINÍLICA	C	C	C	B	B*	B	B	C	B	C	B	C	B	C	B	B

Legenda:

B - Bom

C - Condicionado (consulta prévia ao fabricante)

NR - Não Recomendado

* - Indica que haverá sangramento

Fonte: CASTRO (1999)

3.5.2 Patologia das tintas

Devido à porosidade natural do revestimento, com o tempo, pode-se ocorrer a penetração do eletrólito no revestimento iniciando o processo de corrosão sempre por baixo da camada de tinta, sendo então necessário a repintura periodicamente dependendo da vida útil estipulado pelo fabricante da tinta utilizada, ou do estado de degradação desse revestimento aferido nas manutenções preventivas (CASTRO, 1999).

De acordo com Castro (1999) e Cardoso (2013) os problemas patológicos nas tintas podem ser de ordem estética, geral e econômica. As de ordem estética são causadas por diversas

razões, porém as principais causas são devidas a ação humana durante o manuseio e a aplicação. Assim, principais patologias de ordem estética são:

IMPREGNAÇÃO DO ABRASIVO: Acontece devido uma aproximação da região onde é feito o jateamento com o local onde a pintura é executada, em que as partículas abrasivas dispersas no ar se incorporam com as superfícies já pintadas que ainda não atingiram a secagem ao toque. Esse problema é solucionado afastando o local onde é feito o jateamento do local de pintura. O maior prejuízo dessa patologia é de ordem estética, podendo ser avaliado a correção ou não desse problema.

ESCORRIMENTO: Problema bastante comum de acontecer, o mesmo ocorre devido alguns motivos como acúmulo excessivo de tinta na superfície, formulação errada da tinta, superfície muito fria, aproximação excessiva da pistola de aplicação. Pode-se solucionar isso removendo a camada excessiva de tinta e reaplicando a mesma, ou adicionar mais tinta até uniformizar a camada, as decisões vão depender do que for mais viável e prático.

PELE OU CASCA DE LARANJA: Defeito causando uma rugosidade na película semelhante a casca de laranja. Se dá devido a aplicação com pistola com solvente muito volátil, pouca pressão na pistola, muita aproximação da pistola com a superfície pintada. Não causa problemas e até pode ser usado como efeito decorativo.

SOBREAPLICAÇÃO: Aspecto fosco na película devido a uma pré-secagem sofrida pela tinta durante sua deposição. Ocorre devido a evaporação do solvente antes da tinta atingir a superfície metálica. Isso pode acontecer por causa da pressão excessiva da pistola, temperatura ambiente e da peça elevada, solvente altamente volátil, grandes distancias entre a pistola e a superfície metálica.

Já os defeitos de ordem geral podem prejudicar a eficiência da película de tinta dando início a processos corrosivos. Esses defeitos são gerados por problemas na aplicação das tintas ou na composição das mesmas, sendo necessário uma intervenção adequada para solucioná-los. Os principais defeitos de ordem geral são:

EMPOLAMENTO: É a formação de nódulos ou bolhas sob a película de tinta devido o aprisionamento de algum fluído, sendo ocasionado principalmente devido as condições inadequadas de aplicação da tinta como aplicação em umidade relativa superior a 85% e temperatura no metal inferior a 10°C, bem como processos corrosivos acelerados causando o aparecimento de bolhas. É um problema relativamente grave necessitando de uma intervenção mais rigorosa como a limpeza da superfície por jateamento ou ação mecânica e em seguida a aplicação da nova tinta.

CALCINAÇÃO: É a degradação do revestimento devido a ação do Sol, ocasionando a liberação de pigmentos e a perda de brilho. É um problema ocasionado desde a concepção do projeto, onde deve-se identificar as partes da estrutura que ficarão expostas ao Sol e planejar uma pintura resistente aos raios ultravioletas. No caso de já ocorrido a patologia, a solução é aplicar uma outra camada de tinta sobre a antiga, sendo a nova camada resistente a ação do Sol, de modo que seja garantido a boa aderência entre as camadas e a compatibilidade das tintas utilizadas.

FENDILHAMENTO: Consiste na quebra da película do revestimento devido à perda de flexibilidade do mesmo, sendo ocasionado geralmente pela formulação mal balanceada da tinta e a falta de plastificante na mesma. Esse problema é solucionado por meio de uma remoção da película danificada e aplicação de uma nova camada de tinta com as configurações adequadas.

DESCASCAMENTO: É uma das patologias mais comuns em estruturas metálicas, onde é ocasionado devido à perda de aderência entre a película de tinta e o substrato, ou entre películas de demãos diferentes. São vários os fatores que podem ocasionar o descascamento, como limpezas inadequadas das superfícies do substrato, contaminação da superfície a ser pintada ou entre as demãos, pouca rugosidade inviabilizada a boa aderência, incompatibilidade entre camadas de tintas e desleixo quanto aos intervalos de repintura. Essa patologia pode ser solucionada através da completa remoção da película por jateamento e em seguida a realização de repintura.

ENRRUGAMENTO: Ocorre devido secagem irregular da tinta formando uma ondulação da película. Esse fenômeno é gerado devido películas muito espessas e/ou solventes extremamente voláteis. A solução é a limpeza da tinta comprometida através de jateamento ou limpeza mecânica com posterior repintura.

SANGRAMENTO: Ocorre mais frequentemente nas colorações vermelhas consistindo no manchamento da película de tinta. Ocorre devido ao afloramento da cor da tinta de fundo devido a ação do solvente muito forte da tinta de acabamento, onde isso ocasiona a dissolução da tinta de fundo. Essa patologia é solucionada refazendo a pintura.

Os defeitos de ordem econômica não prejudicam a eficiência do sistema de proteção desde que atinja a espessura mínima necessária, porém causa prejuízos financeiros devido o aumento do consumo de tinta. Os principais problemas de ordem econômica são:

CONSUMO ELEVADO: Quando o rendimento da tinta fica muito abaixo do esperado, sendo esse fato ocasionado por diversos motivos como rugosidade excessiva da superfície do substrato, equipamento de aplicação inadequado, falta de habilidade do aplicador, ventos

excessivos para aplicação das tintas, desperdício de tinta devido ao não aproveitamento total da tinta do recipiente e/ou devido ao endurecimento das tintas não aplicadas no tempo hábil destinada.

ESPESSURA EXCESSIVAMENTE DESUNIFORME: Esse problema vai depender unicamente do aplicador, sendo necessário refazer a pintura e realizar a aplicação com um aplicador capacitado.

3.5.3 Manutenção

Segundo exposto por Castro (1999), todo revestimento tem uma vida útil, e conforme vai envelhecendo começa a perder sua efetividade como protetor, sendo que a porosidade natural da camada de revestimento permite o eletrólito penetrar e alcançar a superfície metálica iniciando o processo corrosivo. Assim, caso não tenha proteção catódica nem falhas devido a ação mecânica, a falha do revestimento acontecerá sempre por corrosão embaixo da película, de modo que a película será sempre atacada primeiro que o comprometimento do aço. Com isso, de acordo com a vida útil do revestimento, deve-se programar repinturas periodicamente ou conforme se verifique necessidade imediata nas manutenções preventivas.

Como bem é apresentado por Filho et al (2018), devem ser realizadas manutenções periodicamente nas estruturas, e por profissionais capacitados, pois se identificado corretamente um problema em tempo hábil, a maioria podem ser solucionados sem grandes custos financeiros. Além disso, a prevenção deve começar ainda em fase de projeto, onde deve ser realizado um estudo sobre as condições ambientais e de localização da estrutura, de modo a se projetar pensando no fácil acesso da estrutura para as manutenções e interferências futuras, pois a falta de manutenção periódica e o difícil acesso na estrutura pode tornar mais grave os problemas existentes.

4 METODOLOGIA

Por se tratar de um estudo sobre as manifestações patológicas geradas pela corrosão em estruturas metálicas, a alternativa expositiva escolhida para esse trabalho foi o estudo de caso. Logo, essa investigação é de natureza teórica qualitativa e a seguir serão relatadas as principais etapas metodológicas para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Primeiro foi realizado um estudo teórico, nas bibliografias referenciadas nesse trabalho, a respeito do fenômeno da corrosão em estruturas metálicas, envolvendo seus mecanismos,

causas, consequências e procedimentos para solucionar as patologias. Envolveu-se também um estudo bibliográfico a respeito do procedimento e precauções para a utilização de revestimentos protetores em estruturas metálicas, bem como as patologias desses revestimentos.

A segunda etapa foi a realização de uma visita em campo na estrutura em estudo para verificar nos pilares todas as variáveis estudadas na etapa inicial, em que nessa etapa foi realizada uma inspeção cuidadosa em casa pilar treliçado da edificação, bem como o ambiente nas suas proximidades e todos os aspectos que interagem com a estrutura, onde fez-se um registro fotográfico de cada pilar individual de modo a registrar as manifestações patológicas e os meios corrosivos atuantes. Ainda nessa etapa, por meio de uma trena métrica, foi realizado um levantamento em cada elemento das alturas, a partir da base, das regiões consumidas pela corrosão.

A terceira etapa consiste na descrição dos aspectos gerais das anomalias encontradas nas etapas anteriores e a formulação de hipóteses de diagnóstico das prováveis causas das anomalias encontradas no estudo de caso. Esse diagnóstico foi realizado com base nos estudos bibliográficos dos autores referenciados neste trabalho.

A quarta etapa consiste em formular as análises e conclusões do trabalho com base no diagnóstico mais provável definido na etapa anterior.

Conforme as etapas realizadas nesse trabalho, possibilitou-se uma maior simplicidade no processo percorrido, pois não faz parte do objetivo desse estudo etapas de verificações laboratoriais que envolvessem aspectos das propriedades físicas e químicas dos elementos em estudo.

Metodologia semelhante também foi utilizada por Santos et al (2016) em sua publicação no Congresso Latino-Americano da Construção Metálica, onde fez uma investigação das manifestações patológicas nas estruturas de aço do Parque do Povo em Presidente Prudente, os autores analisaram uma quadra poliesportiva, um palco de shows e vários pergolados utilizando como metodologia o levantamento de campo com registros fotográficos das manifestações patológicas e apresentação das anomalias e suas prováveis causas detectadas a partir da comparação com outros estudos feitos pelos autores referenciado em sua publicação.

Brinck et al (2005) também utilizou uma metodologia semelhante para analisar a corrosão na avaliação da integridade estrutural da ponte Marechal Hermes do rio São Francisco em Minas Gerais, onde o autor fez visitas in loco, e através de inspeção visual, filmagem e registros fotográficos, determinaram um diagnóstico comparando os registros com os estudos bibliográficos referenciados na publicação.

Em um estudo de caso sobre a corrosão na passarela Sebastião Carlota em Manhuaçu – Minas Gerais, Filho et al (2018) também utilizou uma metodologia semelhante a deste trabalho, onde o autor propôs possíveis soluções para os tipos de corrosão encontrado no objeto de estudo a partir da visita em campo, registros fotográficos e estudos bibliográficos referenciados na pesquisa.

4.1 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Para esse trabalho, a edificação analisada é uma cobertura metálica do pátio da Escola Municipal Manoel Raimundo de ensino fundamental no município de Água Nova – Rio Grande do Norte. Trata-se de uma estrutura erguida por pilares metálicos treliçados, pilares esses, que são os objetos de estudo sobre as manifestações patológicas nesse trabalho. Essa edificação é utilizada para cobrir todo o pátio da escola, e tem todas suas laterais cercadas pelo corpo em alvenaria e concreto da escola, como mostrado na figura 18.

Figura 18 - Estrutura Metálica do pátio da escola



Fonte: Autor (2019)

Esse pátio é a área livre do colégio onde as crianças transitam nos horários de intervalos, e todo acesso e circulação dentro do colégio se dá sob a estrutura, sendo então uma edificação de grande importância por se impor sobre grandes quantidades de pessoas.

O colégio é localizado numa zona urbana de pouca movimentação, onde os arredores são constituídos de ruas pouco movimentadas sem grande fluxo de tráfego ou zonas industriais, caracterizando um ambiente pacato com pouca poluição.

A estrutura é formada por treliças possuindo contraventamento horizontal no banzo superior (Figura 19), sem contraventamento vertical, com telhas de fibrocimento e por 24 pilares treliçados formados por perfil U e cantoneiras de abas iguais L 1"x1"x1/8" (Figura 20), sendo verificadas anomalias nas bases dos pilares que são objeto de estudo desse trabalho e serão discutidas mais à frente.

Figura 19 - Contraventamento Horizontal



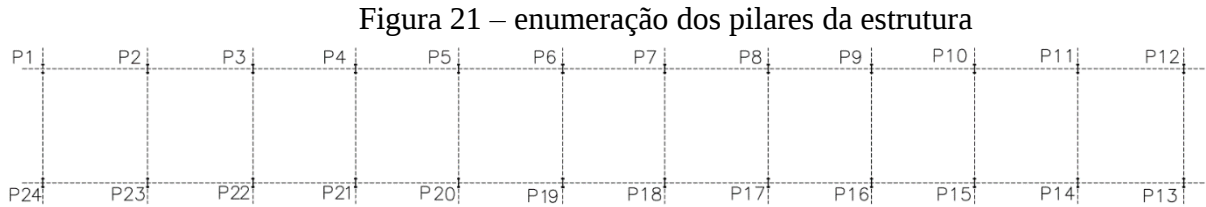
Fonte: Autor (2019)

Figura 20 – Pilar tipo responsável por suspender a estrutura



Fonte: Autor (2019)

Para melhor sistematização do estudo, os elementos estudados foram denominados conforme o esquema abaixo da figura 21:



Fonte: Autor (2019)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DEFINIÇÃO DA PATOLOGIA EM ESTUDO

Observando os 24 pilares da estrutura, são perceptíveis manchas avermelhadas em todos os elementos, sendo em alguns mais intensos que outros, variando de acordo com as localidades ao longo do pátio. As manchas avermelhadas se apresentam com grande intensidade nas proximidades da base do pilar e nas ligações soldadas dos elementos que compõem a treliça, e se propagam por toda a estrutura com pouca intensidade, geralmente localizadas nos pontos onde existe danificação ou insuficiência do revestimento protetor, como exemplo podemos apresentar essas anomalias nos pilares mostrados na figura 22 a seguir (Todos os pilares são mostrados no APÊNDICE A desse trabalho).

Figura 22 – Mancha avermelhada de corrosão na base do pilar 9, ao longo da cantoneira do pilar 14, e na ligação soldada do pilar 10



Pilar 9

Pilar 14

Pilar 10

Fonte: Autor (2019)

Ao longo dos elementos estruturais são notáveis arranhões e descascamentos da pintura protetora, deixando exposto o aço, como é possível ver nos pilares mostrados na figura 23.

Figura 23 - Exemplos de arranhões e descascamentos ilustrados em alguns pilares da estrutura



Fonte: Autor, 2019

Anomalias mais severas devido ao processo corrosivo foi a grande perda de espessura em alguns pilares da estrutura, chegando em alguns casos a consumir completamente a seção transversal do perfil. Essas anomalias são concentradas especificamente nas bases dos pilares como podemos observar alguns exemplos na figura 24.

Figura 24 – Perda de seção transversal nos pilares 13, 17 e 19



Fonte: Autor (2019)

O pilar mais prejudicado foi o pilar 13, onde a corrosão comprometeu até aproximadamente a metade do pilar, consumindo toda a seção transversal em alguns pontos, e diminuindo significativamente a massa metálica ao longo dos elementos. Os pilares 17 e 19 ilustram a perda de seção na base, ficando os perfis em U constituídos apenas pelas mesas, sendo a alma consumida pela corrosão na base. Os demais pilares podem ser observados no APÊNDICE A deste trabalho, sendo os pilares 13,14,16,17,18,19, e 20 os mais comprometidos pela perda de seção transversal.

5.2 TIPOS DE CORROSÃO ENCONTRADO

Pela verificação visual, é possível determinar um tipo de corrosão nas regiões com menor severidade, sendo que nos locais mais agravados, devido ao progresso do estado de corrosão, a seção transversal da peça acaba sendo consumida por completo, não ficando claro qual o tipo de corrosão que deu início à degradação. Com exceção do pilar 13, praticamente todo os pilares com corrosão mais severa foram atacados com mais intensidade apenas nas bases com distribuição de pequena área, consumindo de modo uniforme a seção transversal, porém com pouca extensão, possivelmente por uma insuficiência do revestimento naquela localidade.

Alguns casos, como os citados acima, a degradação de modo uniforme da seção pode ter sido gerada inicialmente devido a formação de frestas entre acúmulos de sujeiras e líquidos e a superfície metálica na base do pilar. A corrosão por frestas devido muitas vezes serem imperceptíveis inicialmente, pode ter se agravado e se expandido de modo uniforme até consumir a seção transversal dos pilares. No caso do pilar 13, devido aos variados tipos de intempéries que o mesmo está exposto, sua deterioração se deu em praticamente até metade do elemento.

Independentemente do tipo de corrosão definida neste trabalho, é perceptível que as causas de todas elas são as mesmas, variando os mecanismos de acordo com a particularidade de cada tipo. Para que se possa ter uma melhor compreensão e sistematização da análise, será listado a seguir os principais tipos de corrosão que iniciaram a degradação dos elementos, bem como seu mecanismo de formação, e nos tópicos seguintes será listado as causas que provavelmente motivaram a formação desses mecanismos.

5.2.1 Corrosão uniforme

A corrosão uniforme é mais perceptível no pilar 13, onde é observado uma crosta uniforme de produto de corrosão nas cantoneiras e em partes dos perfis U, como mostra a figura 25, caracterizando um estado avançado da corrosão uniforme. Nas partes inferiores grande massa do pilar já foi consumido pela corrosão.

Figura 25 – Corrosão uniforme no pilar 13



Fonte: Autor (2019)

O mecanismo gerador desse problema é ativado pelo meio ao qual o elemento está inserido, como é possível verificar na figura 25, o elemento estrutural está sujeito a umidades devido as proximidades de um reservatório com água, sendo o reservatório abastecido pela torneira logo acima, gerando respingos que podem atingir até grandes alturas da estrutura, além de umedecer o piso provocando o contato da água com a base do pilar.

O pilar 13 se encontra em frente a um banheiro e é locado em nível com o piso, tendo contado com todos os líquidos oriundos da limpeza do banheiro e do chão onde está inserido, ocasionando uma grande concentração de impurezas na base, local onde foi mais afetado pelo processo corrosivo (Figura 26).

Figura 26 – Meio onde o pilar 13 está inserido



Fonte: Autor (2019)

Outros casos de corrosão uniforme podem ser observados nos pilares 16 e 17. Esses pilares estão locados com partes dentro de valas de esgoto e em calçadas úmidas. Os esgotos contêm líquidos originados das limpezas com produtos químicos dos ambientes da escola, bem como material orgânico que pode se impregnar nas bases dos pilares gerando pilhas de aeração e frestas, bem como um consumo permanente e uniforme da seção transversal dos elementos.

Nas figuras 27 e 28 a seguir, tem-se corrosão uniforme nas bases sobre a vala do esgoto, bem como total degradação do aço nos perfis sobre a calçada, sendo estes assim como os demais casos nos demais pilares, provocado por corrosão por frestas, que vem a gerar um caso agravado de corrosão uniforme consumindo de modo homogêneo toda a alma do perfil.

Figura 27 – Caso de corrosão uniforme no pilar 16, e o meio onde está exposto



Fonte: Autor (2019)

Figura 28 – Pilar 17 com problemas semelhantes ao pilar 16



Fonte: Autor (2019)

Filho et al (2018) no estudo de caso da Passarela Sebastião Carlota, localizada na cidade de Manhauçu, também encontrou casos severos de corrosão uniforme, chegando a ser recomendável a verificação da segurança estrutural da Passarela. Na análise do autor, os fatores preponderantes para a causam da corrosão uniforme foi o meio em que a estrutura está inserida, bem como as intempéries causadas pelo homem, como urina humana, e defeitos e insuficiência

da camada de revestimento protetor ocasionado pela falta de manutenção preventiva. O caso mais grave devido a corrosão na passarela está apresentado na figura 29 abaixo.

Figura 29 – perfis metálicos da Passarela Sebastião Carlota danificados e com perda de área da seção transversal devido a corrosão



Fonte: Filho et al (2018)

O caso apresentado acima é semelhante ao ocorrido no pilar 13 e demais pilares deste estudo, onde ocorreu perda da seção de aço devido a corrosão uniforme.

Brinck et al (2005) ao analisar a integridade da ponte Marechal Hermes no rio São Francisco em Minas Gerais, também verificou casos de corrosão generalizada nos elementos estruturais da ponte. O fator gerador do mecanismo de corrosão também foi a insuficiência do revestimento protetor devido à falta de manutenção, expondo o aço carbono ao meio atmosférico e a umidades. A figura 22 abaixo mostra um exemplo da corrosão uniforme na estrutura analisada pelo autor.

Figura 30 – Corrosão uniforme na ponte Marechal Hermes



Fonte: Brinck et al (2005)

5.1.3 Corrosão por frestas

Os casos de corrosão encontrados nas bases dos pilares e nas ligações soldadas das cantoneiras com os perfis em U foram ocasionadas devido a formação de frestas do elemento metálico com sujeiras acumuladas. Na verificação em campo, no caso do pilar 11 por exemplo, ao remover-se a sujeira ancorada na base do pilar, verificava-se a crosta avermelhada e os destacamentos em lâminas da pintura e da superfície do metal devido a corrosão. E os demais pilares, que mostra ser uma evolução da corrosão escondida na sujeira, já estavam com a seção completamente consumida pela corrosão, como é o caso do pilar 17 mostrados na figura 31 abaixo:

Figura 31 – Pilar 11 com corrosão aparecendo depois de retirado a sujeira, pilar 12 com acúmulo de sujeira e pilar 17 com Alma consumida pela corrosão



Fonte: Autor (2019)

Pelo padrão da forma como a corrosão se desenvolve nos pilares, é possível determinar que o avanço da corrosão foi acontecendo de forma imperceptível nas bases de alguns pilares, pois impurezas se acumulavam nos perfis formando as frestas que escondiam a corrosão em seu interior, acumulava umidades, e em alguns casos como o pilar 11, a corrosão também agia sob a camada de tinta, tornando perceptível apenas em estado já bastante avançado.

O mesmo ocorre nas ligações das cantoneiras, que devido à disposição das mesmas, acaba acumulando sujeira entre os elementos estruturais. A corrosão nessas ligações soldadas não é tão intensa como nas bases devido o pequeno espaçamento da extremidade da cantoneira com o perfil em U que possibilita uma drenagem de líquidos e que em alguns casos não acumulava impurezas. Os pilares 8 e 10 da figura 31 a seguir ilustram essas anomalias.

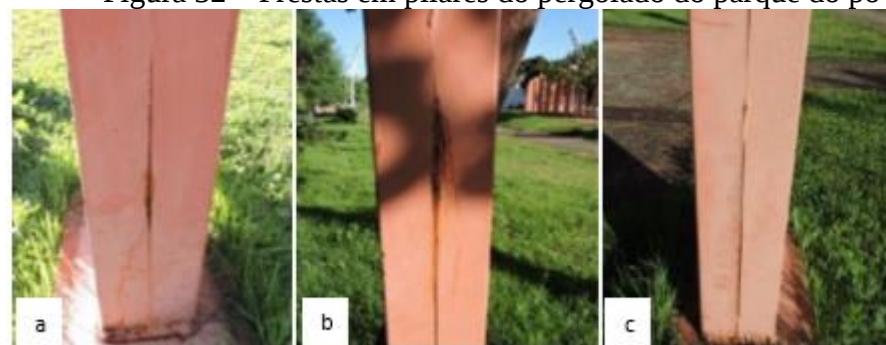
Figura 31 – Pilar 8 com acúmulo de sujeira na ligação soldada, e pilar 10 com corrosão na ligação



Fonte: Autor (2019)

Santos et al (2016) em sua investigação já citada anteriormente também encontrou diversos casos de corrosão por frestas nas estruturas de aço do Parque do Povo, sendo que nessa situação as frestas são geradas devido a união de dois perfis metálicos, como é o caso do pilar do pergolado mostrado na figura 32 abaixo:

Figura 32 – Frestas em pilares do pergolado do parque do povo



Fonte: Santos et al (2016)

Na análise o autor listou como a causa provável a ação química da água da chuva que penetra nos perfis “U” dos pilares pela parte superior, onde a umidade nas frestas gera pilhas de aeração diferencial, provocando o processo de corrosão nas frestas entre os dois perfis. O

autor citou a falta de manutenção preventiva e o acúmulo de impurezas como geradores do problema.

Filho et al (2018) também identificou corrosão por frestas geradas pela junção de dois perfis metálicos na ponte Sebastião Carlota, onde a falta de manutenção e a exposição a umidades ocasionou o acúmulo de impurezas no interior das frestas dando início ao processo de corrosão, como pode ser observado na figura 33 abaixo:

Figura 33 – Frestas na estrutura da ponte Sebastião Carlota



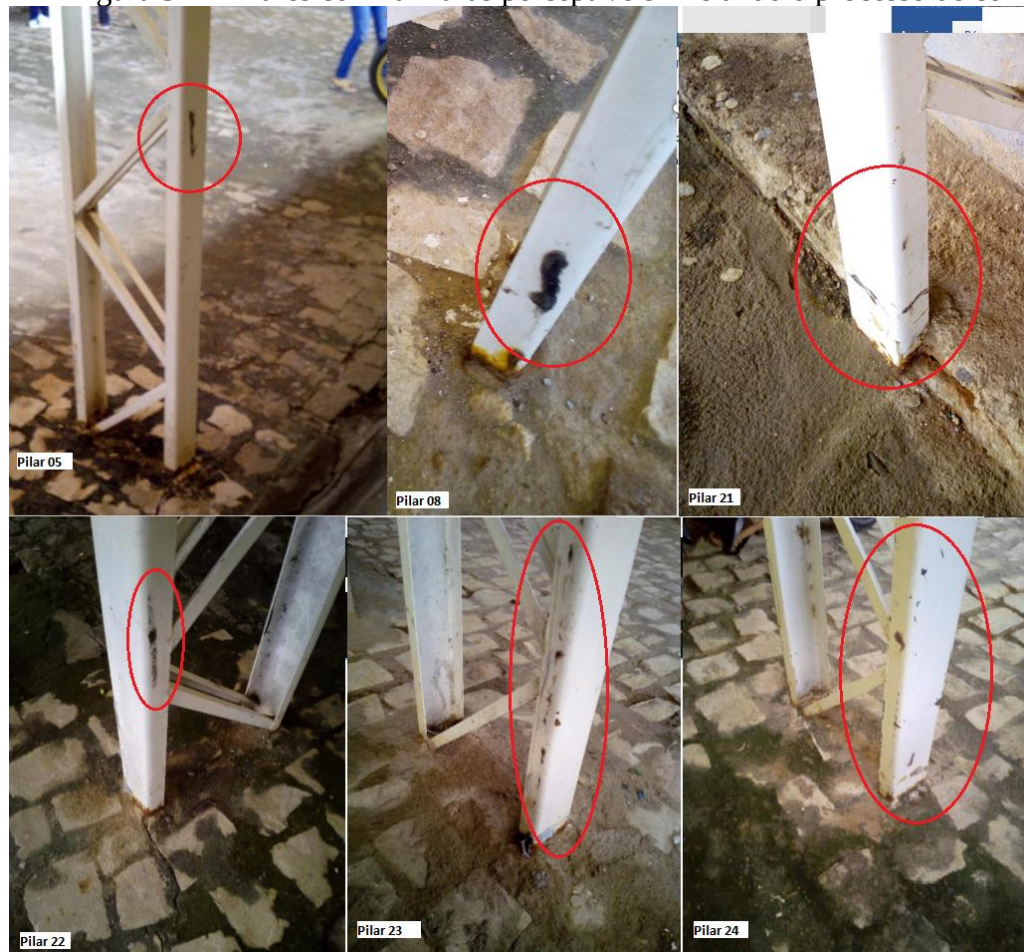
Fonte: Filho et al (2018)

5.1.4 Corrosão por ranhuras

Devido ao grande número de pessoas, e a grande movimentação que ocorre dentro do pátio escolar, praticamente todos os pilares sofrem pequenas ranhuras, porém muito superficiais e de difícil observação por fotografia. A maioria dos descascamentos de revestimento são gerados por patologias nas tintas, e falta de manutenção. Apenas os pilares 05, 08, 21, 22, 23, e 24 apresentam ranhuras consideráveis que possam encadear o processo corrosivo mais agressivo caso não seja corrigido.

Nesse ambiente, é possível perceber no local um grande número de motocicletas estacionadas dentro do ambiente e próximo aos pilares, muitas vezes em contato com os elementos, além do grande número de pessoas que entram em contato com os pilares, possibilitando ser esses uns dos motivos pelo aparecimento dessas ranhuras. Os pilares citados podem ser observados na figura 34 a seguir:

Figura 34 – Pilares com ranhuras perceptíveis iniciando o processo de corrosão



Fonte: Autor (2019)

Em um dos elementos estruturais da passarela Sebastião Carlota, Filho et al (2018) encontrou corrosão por ranhuras em sua análise, no qual a figura 35 abaixo mostra um elemento bastante danificado pela corrosão, em que o autor identifica as ranhuras como geradoras de parte desse processo:

Figura 35 – trecho com corrosão por ranhuras na passarela Sebastião Carlota

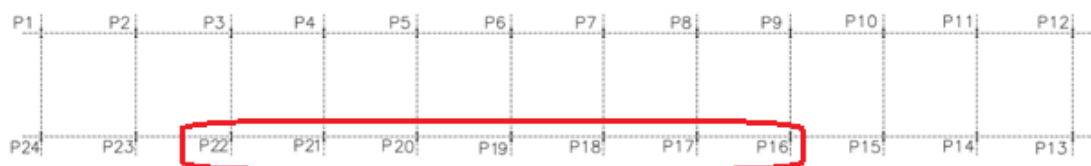


Fonte: Filho et al (2018)

5.2 CAUSAS DEVIDO EXECUÇÃO

Os casos mais graves de corrosão na estrutura em estudo foram motivados por concepções errôneas de projeto e execução. Conforme foi observado nos tópicos anteriores, todos os pilares foram executados diretamente sobre o chão, fazendo com que todo líquido e umidade que se propaguem pelo chão, como água e produtos químicos de limpeza do ambiente, água da chuva, e demais umidades, entrem em contato com as bases dos pilares metálicos. Para agravar ainda mais a situação, os pilares 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22 que são os pilares do lado direito mostrados na figura 13, estão em contato direto com as valas de esgoto, entrando em contato com todas os líquidos e material químico e orgânico presente nos esgotos, substâncias altamente nocivas para o processo corrosivo. Esses pilares deste lado, são os que mais sofreram com a corrosão nas bases.

Figura 36 -Pilares que mais sofreram com a corrosão na base



Pilares em contato direto com o esgoto

Fonte: Autor (2019)

Como não foi realizado nenhum ensaio destrutivo, não é possível identificar como foram realizadas as fundações desses pilares, se os elementos foram ou não colocados em contato com o solo.

Essas anomalias poderiam ter sido evitadas se fossem seguidas as práticas da boa construção, onde os pilares seriam executados suspensos do chão ligados a uma base de concreto por meio de chapas e chumbadores metálicos conforme as recomendações normativas vigentes, como será visto no item 5.5.1.

Silva Neto e Ferreira (2007), ao realizarem um estudo de caso sobre patologias em construções mistas de concreto e aço, analisaram duas indústrias com pilares em aço, onde na primeira foi possível observar uma gama de anomalias nas ligações de bases que desencadeavam a corrosão. Foram encontrados problemas construtivos nas ligações de base dos pilares, onde os mesmos ficavam no plano do chão (como o caso em estudo deste trabalho), que ocasionavam o contato constante com produtos químicos, além de em alguns casos serem

identificados a falta de grauteamento nas ligações de base, e detalhamentos que ocasionavam o acúmulo de água nos elementos metálicos.

Santos et al (2016) também encontrou problemas devido a execução referentes as ligações de bases dos pilares em sua investigação das patologias nas estruturas de aço do Parque do Povo. O autor identificou corrosão nos cordões de solda que liga a chapa de base ao pilar devido ao acúmulo de água na chapa de base do pergolado, e no pilar do palco para shows o problema foi semelhante ao que trata este trabalho, no qual os pilares foram fixados com chapa de base, porém em nível com o piso, ocasionando o acúmulo de impurezas e umidades na base do pilar. Na quadra poliesportiva, que faz parte das estruturas do parque do povo, o autor também identificou problemas devido falhas de projeto e/ou detalhamento onde o condutor de águas pluviais descarrega sobre a chapa de base que acumula essa água devido as nervuras de rigidez que aprisionam o líquido sem nenhuma drenagem.

5.3 CAUSAS DEVIDO A MANUTENÇÃO

Muitas das intempéries que ocasionaram o surgimento e agravamento da corrosão, foram causados por ação humana e negligência quanto a prevenção da estrutura, no qual o revestimento apresentava patologias não tratadas, e os elementos estruturais apresentavam impurezas que poderiam ser removidas caso houvesse inspeção preventiva na estrutura. Além de muitos meios corrosivos estarem em contato com o aço devido a ação e ignorância humana.

Pela análise visual da estrutura é perceptível vários tipos de patologias no revestimento, como empolamento, calcinação e descascamentos. Além da exposição frequente ao Sol, ações mecânicas devido ao fluxo humano e contato de veículos com a estrutura deterioraram excessivamente a camada de tinta, e pelo grau de corrosão em alguns pilares, e notória a falta de manutenção preventiva.

Fatores devido a ação humana também agravaram o problema da manutenção, como é o caso do pilar 13 mostrado na figura 17, onde o elemento está em constante contato com um reservatório de água e produtos de limpeza do piso. Os pilares próximos as calçadas também entram em contato com umidade devido a limpeza das calçadas onde a água é lançada para o calçamento do pátio.

A maioria dos autores citados nesse trabalho relatam o agravamento e causa das patologias também devido a falta e descuido na manutenção das estruturas, como é o caso de Brinck et al (2005) que justifica o agravamento da corrosão na ponte Marechal Hermes com a falta de manutenção preventiva, comentando ainda que no Brasil não é comum a realização de

manutenção preventiva, o que afeta a segurança da estrutura levando a necessidade de reparos mais severos e mais caros. O autor relatou ainda, que diante dos dados obtidos em sua pesquisa, é necessária a manutenção da ponte em análise.

Santos et al (2016) em seus estudos sobre a corrosão nas estruturas de aço do Parque do Povo, também relatou a falta de manutenção preventiva como uma das causas de todas as estruturas analisadas, exceto na ligação da terça da cobertura, que foi problema de execução. O autor ainda conclui afirmando que o fator que mais contribuiu com os problemas no palco para shows e pergolados foram a falta de prevenção, manutenção e reparo das anomalias detectadas.

Serra (2012) também relatou deficiência da manutenção preventiva como um dos fatores que contribuíram para o agravamento e surgimento das patologias nas 21 estruturas analisadas localizadas numa zona marítima da cidade do Porto.

5.4 CONSEQUENCIAS DA PATOLOGIA

O processo corrosivo apresenta inicialmente características visuais desagradáveis na estrutura, principalmente se a camada de revestimento estiver degradada. O fator estético é primeiramente afetado, e conforme a corrosão vai evoluindo, temos consequências mais sérias como o comprometimento estrutural diante da perda de espessura do material metálico.

A estrutura em análise foi constituída por elevado número de pilares, e a mesma não recebe esforços considerável da ação do vento devido a sua locação dentro dos blocos da escola, sendo o caso mais grave de corrosão o do pilar 13, e os demais pilares que perderam a espessura da alma nas bases ainda se mantinham fixados pelas mesas. Desse modo, como não foi realizado nenhuma análise estrutural considerando a perda de espessura do aço, pode-se determinar que os efeitos mais prejudiciais a estrutura seriam os efeitos de ordem local.

Conforme os pilares fossem perdendo sua seção transversal, os mesmos assim como o pilar 13, iriam ficando suspensos sob as treliças da cobertura, causando sobrecargas e podendo levar a estrutura a empenamentos e sobrecargas não previstas em projeto. Além se comprometer a estabilidade dos pórticos, contraventamentos, e equilíbrio da edificação.

Preocupado com as consequências estruturais da ponte Marechal Hermes do Rio São Francisco/MG, Brinck et al (2005) realizou uma avaliação da integridade estrutural da ponte realizando uma análise do comportamento da estrutura com e sem os danos devido a corrosão, assim, o autor realizou uma modelagem estrutural por meio de elementos finitos da estrutura conforme o projeto, e depois considerando uma redução de 5% da espessura dos elementos danificados, mesmo assim não foi possível determinar qualquer conclusão, sendo necessárias

novas análises, pois ao colocar no modelo computacional, a redução dos elementos não apresentou grande influência nas distribuições dos esforços.

5.5 SOLUÇÕES SUGERIDAS

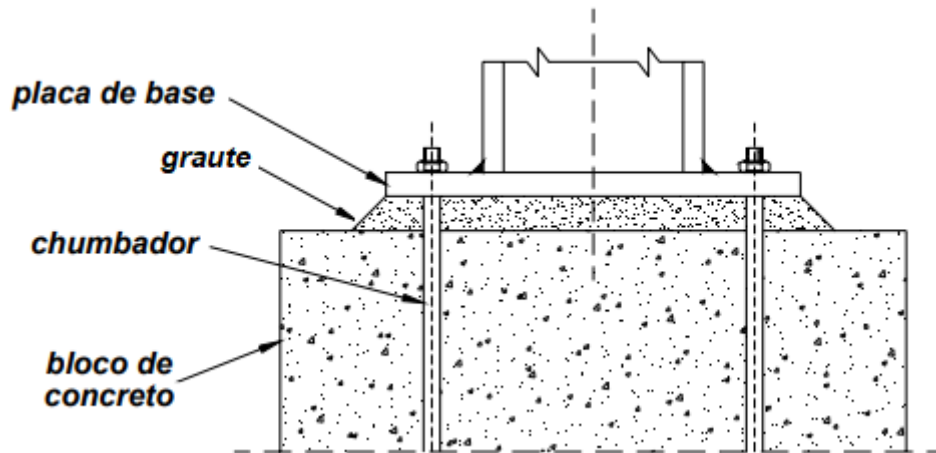
Para os perfis dos pilares foi avaliado o grau de corrosão e entendido que essa patologia não é apenas superficial, comprometendo a segurança da estrutura. Dentre as soluções a serem tomadas, como a maioria dos pilares tiveram maior comprometimento apenas nas bases, recomenda-se uma restauração dos elementos danificados. Essa restauração será realizada no sentido de garantir a estabilidade do pórtico e prevenir futuras patologias devido a erros de execução das ligações de base, recompondo as seções transversais dos pilares, além de realizar a execução das fundações e das ligações de base. Após esses procedimentos é importante o revestimento adequado dos elementos após um tratamento adequado da superfície, bem como as manutenções preventivas.

Para solucionar o problema da corrosão na ponte Marechal Hermes do Rio São Francisco em Minas Gerais, como a situação era apenas superficial, Brinck et al (2005) também sugeriu o tratamento adequado da superfície com revestimento eficiente e compatível com circunstâncias do ambiente, bem como nesse processo conferir maior atenção para as frestas e ligações.

5.5.1 Execução da ligação de base

Conforme encontrado nas literaturas como Fakury et al (2016), as bases dos pilares são apoios para a estrutura e precisam, dependendo da análise estrutural, ser projetadas para resistir a momentos fletores, forças axiais, e forças cortantes. Desse modo, as bases de pilares metálicos são constituídas geralmente por uma placa de base soldada na extremidade do pilar, onde é fixada em um bloco de concreto da fundação por meio de chumbadores, podendo em alguns casos conter uma placa de cisalhamento para conter os esforços cisalhantes. Entre a chapa de base e o bloco de concreto é realizado um grauteamento com a finalidade de nivelar o pilar e preencher os vazios entre a placa e o bloco. A figura 30 ilustra os componentes da base de pilar conforme a boa prática construtiva

Figura 36 – Exemplo de ligação de base de um pilar metálico



Fonte: Martins (2002)

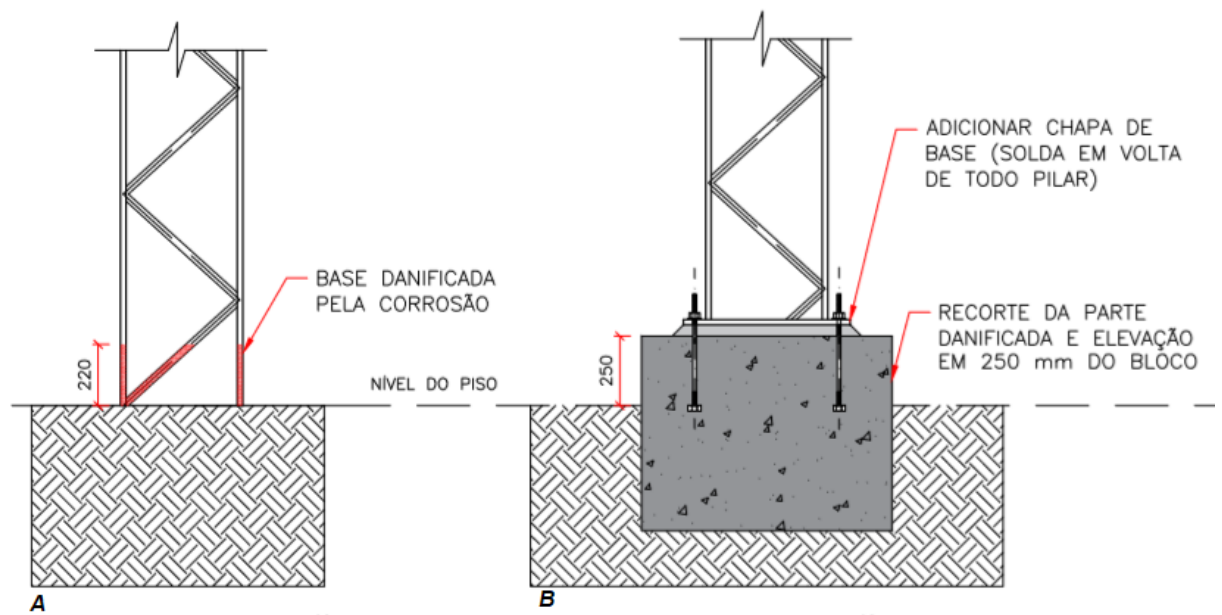
No caso desse trabalho, nenhum pilar da estrutura contém os elementos apresentados acima. Desse modo, para corrigir a falha construtiva é necessária uma interferência em todos os pilares, de modo a reexecutar as fundações de todos os pilares e realizar as ligações de base adequadas. Para isso é necessário eliminar toda a parte danificada pela corrosão, soldar as chapas de base nas extremidades inferiores dos elementos, executar as fundações e os blocos de concreto e fixar por meio de chumbadores as chapas metálicas nos blocos.

A solução adequada para esse procedimento, seria suspender a estrutura e realizar as interferências adequadas. Para isso, é necessário realizar a análise estrutural da edificação e dimensionar os elementos conforme os dados obtidos.

A altura dos blocos de concreto para suspender os pilares, foram determinados conforme a altura do pilar que teria que eliminar devido ao grande desgaste pela corrosão. Desse modo, foram realizadas em campo as medidas de cada pilar a partir do piso, que foram desgastados pelo processo corrosivo. Todas as medidas podem ser visualizadas no APÊNDICE A. Para a altura do bloco acima do piso, adotou-se uma medida padrão (do pilar com maior altura de corrosão) de maneira que excluísse um tamanho padronizado de todos os pilares, suficiente para retirar toda a região danificada, com exceção do pilar 13, que já seria necessário substituir todo o elemento.

Todo esse procedimento de projeto foi realizado pelo grupo de pesquisa “Contribuições para análise e dimensionamento de estruturas no município de Água Nova -RN”, no qual chegaram na seguinte ligação para a base do pilar mostrada da figura 37:

Figura 37 – Processo de execução das bases de pilares onde em (A) representa a situação antes da interferência, e (B) a situação projetada. As medidas estão em milímetros



Fonte: Contribuições para análise e dimensionamento de estruturas no município de Água Nova -RN, (2019)

Os detalhes do projeto são observados no Anexo A desse trabalho.

5.5.2 Revestimento

Levando em conta a retirada de todo aço danificado, o processo de revestimento da estrutura torna-se semelhante ao de uma manutenção preventiva. Nesse caso, segue-se apenas as recomendações já vistas nas bibliografias citadas nesse trabalho. Assim, recomenda-se remover toda a camada de tinta danificada e posteriormente aplicar uma nova camada de revestimento.

Como o ambiente ao qual a edificação está inserida é um local reservado de grandes centros urbanos, estando a estrutura cercada pelo prédio que forma toda a escola, não tem grande movimentação de veículos nas proximidades e nem indústrias, pode-se classificar o ambiente como rural.

A NBR 8800:2008 no seu anexo N classifica os ambientes em seis categorias, onde a escolha da categoria é dada através de um monitoramento da estrutura e é classificado em função da perda de espessura após um ano de exposição, ou através de analogias com os ambientes típicos apresentados na tabela, como é possível observar na tabela N.1 da norma apresentada na figura 38 a seguir:

Figura 38 – Tabela N.1 da NBR 8800:2008

Tabela N.1 — Categorias de corrosividade atmosférica e exemplos de ambientes

Categoria de corrosividade	Perda de massa por unidade de superfície/perda de espessura (após um ano de exposição)				Exemplos de ambientes típicos	
	Aço baixo-carbono		Zinco		Exterior	Interior
	Perda de massa g/m ²	Perda de espessura μm	Perda de massa g/m ²	Perda de espessura μm		
C1 Muito baixa	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Edificações condicionadas para o conforto humano (residências, escritórios, lojas, escolas, hotéis)
C2 Baixa	> 10 a 200	> 1,3 a 25	> 0,7 a 5	> 0,1 a 0,7	Atmosferas com baixo nível de poluição. A maior parte das áreas rurais	Edificações onde a condensação é possível, como armazéns e ginásios cobertos
C3 Média	> 200 a 400	> 25 a 50	> 5 a 15	> 0,7 a 2,1	Atmosferas urbanas e industriais com poluição moderada por dióxido de enxofre. Áreas costeiras de baixa salinidade	Ambientes industriais com alta umidade e alguma poluição atmosférica, como lavanderias, cervejarias e laticínios
C4 Alta	> 400 a 650	> 50 a 80	> 15 a 30	> 2,1 a 4,2	Áreas industriais e costeiras com salinidade moderada	Ambientes como indústrias químicas e coberturas de piscinas
C5-I Muito alta (industrial)	> 650 a 1500	> 80 a 200	> 30 a 60	> 4,2 a 8,4	Áreas industriais com alta umidade e atmosfera agressiva	Edificações ou áreas com condensação quase que permanente e com alta poluição
C5-M Muito alta (marinha)	> 650 a 1500	> 80 a 200	> 30 a 60	> 4,2 a 8,4	Áreas costeiras e offshore com alta salinidade	Edificações ou áreas com condensação quase que permanente e com alta poluição

Fonte: NBR 8800:2008

Para o caso em estudo, se fosse classificar o ambiente conforme a NBR 8800:2008, seria a categoria de corrosividade C1, que equivale, por analogia, a ambientes rurais. Nesse caso, de modo prático utiliza-se uma limpeza de superfície mecânica ou com solvente, e poderia aplicar um dos sistemas de pintura para ambientes rurais apresentados nas figuras 12 e 16.

6 CONCLUSÃO

Devido as especificidades das estruturas metálicas, é necessário cuidado desde a etapa de concepção do projeto até a entrega da obra para que não ocorram erros construtivos, que através de acompanhamento de profissionais capacitados, podem ser facilmente evitados, bem como o acompanhamento após a conclusão da obra por meio de inspeções e manutenções preventivas.

O estudo de patologias em estruturas metálicas ainda se encontra com pouca pesquisa no meio científico se comparado com os demais sistemas estruturais. O relato citado por Castro (1999) ainda se encontra atual conforme foi percebido na realização desse estudo, como falado

pelo autor, os diversos textos técnicos a respeito de problemas patológicos em estruturas metálicas, não descreve o problema de forma global, em que a maioria dos trabalhos realizados foram desenvolvidos levando em conta outros campos como a metalurgia ou mecânica industrial, e não em estruturas. Com isso, é relevante um estudo de caso dessa natureza, de forma que é possível ter um entendimento das patologias em estruturas de aço através de verificações práticas.

O caso analisado apresenta problemas patológicos de causas diversas, desde erros na concepção estrutural, falta de manutenção dos revestimentos da estrutura até ambientes altamente propensos para corrosão, tanto devido as características desse ambiente, como a desinformação das pessoas que acabam facilitando a agressividade da corrosão através da má conservação da estrutura e a exposição a eletrólitos.

Nesse caso, devido ao tempo em que essa estrutura foi edificada, podemos concluir que o principal causador dessas patologias, foi antes de tudo a falta de conservação e manutenção preventiva, pois mesmo os pilares estando fixados de maneira incorreta, verificou-se que em locais onde não tinha muita exposição de poluentes e líquidos, os pilares enterrados em material cimentício, ainda apresentava sua integridade aparentemente ilesa.

Porém, o erro construtivo de não suspender esses pilares do solo foi primordial para que os mesmos mantivessem contato com todos esses eletrólitos e poluentes, e sendo esse problema sanado, as simples manutenções e inspeções periódicas comuns a toda estrutura metálica já é suficiente para garantir a expansão da vida útil dessa edificação.

REFERÊNCIAS

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

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

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

PANNONI, Fábio Domingos. **PRINCÍPIOS DA PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM SITUAÇÃO DE CORROSÃO E INCÊNDIO**. [S. l.: s. n.], 2002.

CASTRO, EDUARDO MARIANO CAVALCANTE. **PATOLOGIA DOS EDIFÍCIOS EM ESTRUTURA METÁLICA**. 1999. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

COZZA, Eric. Uma nova era para o aço. *techné*, São Paulo, n. 36, p. 18-23, set/out. 1998.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 7., 2016, São Paulo. **INVESTIGAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS DE AÇO DO PARQUE DO POVO**. São Paulo: Abcem, 2016. 15 p.

DILLON, C. P. Forms of corrosion - recognition and prevention : nace handbook 1.. 2. ed. Houston : National Association of Corrosion Engineers. 1982. 116 p.

FLORES, Inês; BRITO, Jorge de. **PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE CONSTRUÇÕES EM ESTRUTURA METÁLICA**. Apontamento da Cadeira de Reabilitação de Edifícios. Agosto de 2005.

FAKURY, Ricardo H.; SILVA, Ana Lydia R. Castro e; CALDAS, Rodrigo B.. **DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE AÇO E MISTOS DE AÇO E CONCRETO**. São Paulo: Pearson, 2016. 496 p.

GNECCO, CELSO ; MARIANO, ROBERTO; FERNANDES, FERNANDO. **TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE E PINTURA**. RIO DE JANEIRO: IBS/SBCA, 2003.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

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

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12944-3:1998(E)**: Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 3: Design considerations. 1 ed. Suíça: Iso, 2002. 10 p.

LIMA, Gustavo Melo de. **Análise de Corrosão Superficial por Análise de Imagem Digital por Textura utilizando Câmara de Névoa Salina**. 2017. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. Cap. 2.

MARTINS, Marcelo Melo. **ESTUDO DE BASES DE PILARES METÁLICOS PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**. 2002. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002. Cap. 1.

PANNONI, Fábio Domingos. **PRINCÍPIOS DA PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM SITUAÇÃO DE CORROSÃO E INCÊNDIO**. 6. ed. Rio de Janeiro: Gerda, 2015.

PRAVIA, Z. M. C.; BETINELLI, E. A. **FALHAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS: CONCEITOS E ESTUDOS DE CASO**. Curso de Engenharia Civil da FEAR –UPF.

PIRES FILHO, Carlos Augusto Bonifácio et al. **CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS – ESTUDO DE CASO**. *Revista Educação, Meio Ambiente e Saúde*, Manhuaçu, v. 8, n. 2, p.25-42, jul. 2018.

SACCHI, Caio César; SOUZA, Alex Sander Clemente de. **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E CONTROLE DE QUALIDADE NA MONTAGEM E FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS**. *Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, [s.l.], v. 13, n. 1, 31 ago. 2016. Universidade Federal de Goiás.
<http://dx.doi.org/10.5216/reec.v13i1.41214>.

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

SATISH KUMAR, S.R.; SANTHA KUMAR, A.R. **Design of Steel Structures**. Índia: [s. n.], [201-].

SERRA, A. H. GARRIDO FERREIRA. **ANÁLISE DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS CONSTRUÍDAS EM AMBIENTE MARÍTIMO**. 2012. Dissertação (Mestrado) - FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO POR, Portugal, 2009.

SILVA NETO, Pedro R.; FERREIRA, Cláudio Vidrih. **PATOLOGIA EM CONSTRUÇÕES MISTAS CONCRETO E AÇO (ESTUDO DE CASO)**. São Paulo, 2007.

APÊNDICE A – Registro fotográfico de todos os pilares e as respectivas medidas de altura da corrosão

PILAR 01
Z1=8 CM



PILAR 02
Z2 = 1 CM (Pouca intensidade que não compromete o desempenho estrutural)



PILAR 03

Z3 = 6 CM (crosta de corrosão pouco intensa)



PILAR 04

Z4 = 3 CM (Pouca intensidade que não compromete o desempenho estrutural)



PILAR 05
Z5 = 4 CM



PILAR 06
Z6 = 6 CM



PILAR 07
Z7 = 7 CM



PILAR 08
Z8 = 7 CM



PILAR 09
Z9 = 6 CM



PILAR 10
Z10 = 8 CM



PILAR 11
Z11=2CM



PILAR 12
Z12 = 1 CM



PILAR 13
Z13 = 123 CM



PILAR 14
Z14 = 10 CM NO BANZO
28 CM NA DIAGONAL



PILAR 15
Z15 = 8 CM DA CALÇADA



PILAR 16
Z16 = 10 CM DA CALÇADA
26 CM DO ESGOTO



PILAR 17
Z17 = 10 CM DA CALÇADA
22 CM DO ESGOTO



PILAR 18
Z18 = 6 CM DO DEGRAU
30 CM DA CALÇADA
40 CM DO ESGOTO



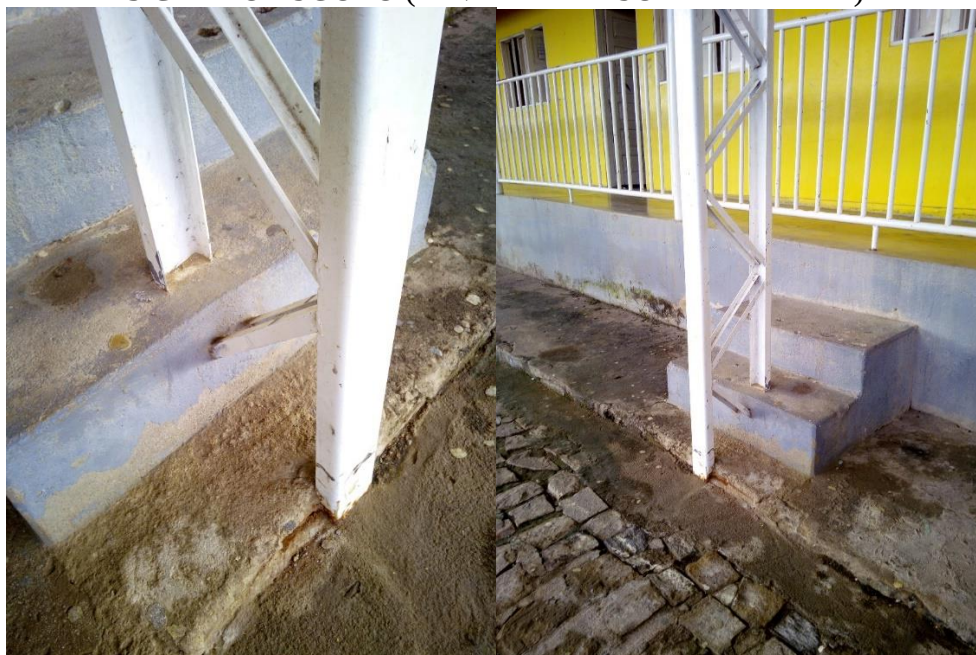
PILAR 19
Z19 = 18 CM DA CALÇADA
22 CM DO ESGOTO



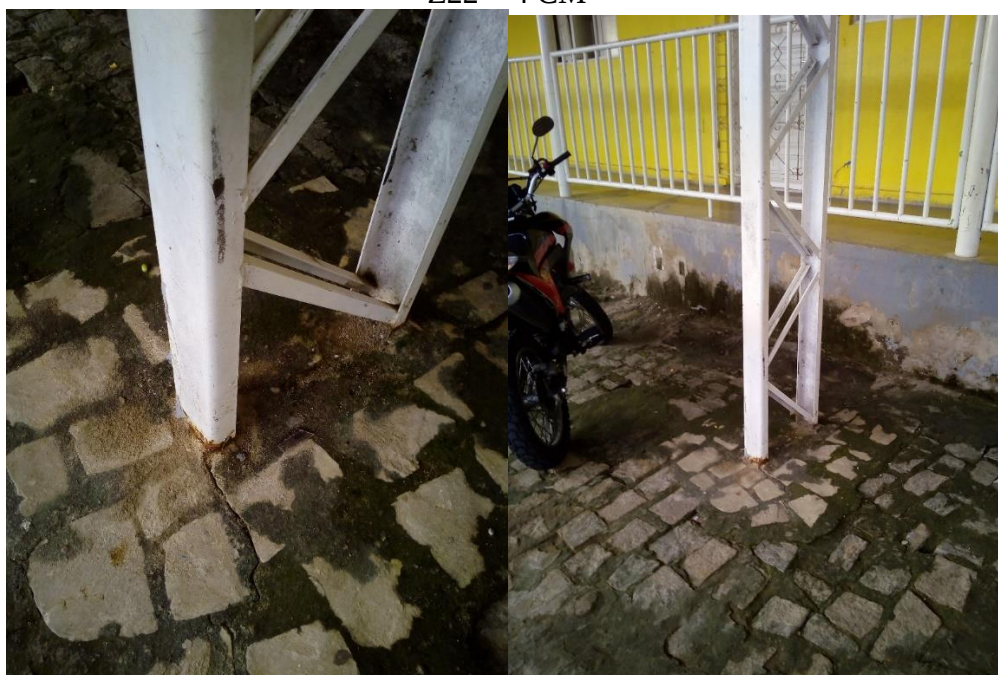
PILAR 20
Z20 = 8 CM DA CALÇADA
18 CM DO ESGOTO



PILAR 21
Z21 = NÃO TEM CORROSÃO APARENTE
3 CM DO ESGOTO (LEVEMENTE SOBRE A TINTA)



PILAR 22
Z22 = 4 CM



PILAR 23
Z23 = 1,5 CM APROXIMADAMENTE



PILAR 24
Z24 = 3 CM APROXIMADAMENTE (CORROSÃO LEVE SOBRE A TINTA NÃO
COMPROMETENDO O DESEMPENHO DA ESTRUTURA)



ANEXO A – Detalhamento das ligações de base dos pilares

