



INSTITUTO FEDERAL
GOIÁS
Câmpus Anápolis

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS
CÂMPUS ANÁPOLIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA
MOBILIDADE**

**ANÁLISE DAS PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS:
ESTUDO DE CASO EM TRÊS OBRAS EM ANÁPOLIS-GO**

LORRAM FABRICIO RODRIGUES DE SOUZA

**ORIENTADOR: Prof. Dr. MATHEUS TABATA SANTOS
COORIENTADOR: Prof. Me. LUCAS DE OLIVEIRA ZÚÑIGA**

**ANÁPOLIS
2024**

LORRAM FABRICIO RODRIGUES DE SOUZA

**ANÁLISE DAS PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS:
ESTUDO DE CASO EM TRÊS OBRAS EM ANÁPOLIS-GO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil da Mobilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Anápolis, como requisito final para conclusão de curso.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Tabata Santos
Coorientador: Prof. Me. Lucas De Oliveira Zúñiga

ANÁPOLIS, 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Souza, Lorrám Fabrício Rodrigues de.

S729a Análise das principais patologias em estruturas metálicas: estudo de caso em três obras em Anápolis - GO./ Lorrám Fabrício Rodrigues de Souza. – Anápolis: IFG, 2024.

116 f. il. color.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Tabata Santos.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Anápolis – Bacharelado em Engenharia Civil da Mobilidade, 2024.

1. Construção civil. 2. obras. 3. execução. 4. patologias.

I. Santos, Matheus Tabata (orient.).

II. Zúñiga, Lucas de Oliveira (co-orient.).

III. Título.

CDD 624.182



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ANÁPOLIS

ATA Nº 08/2024.1

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

No 4º dia do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 14:00 horas na sala T-60 foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso do Graduando **Lorram Fabrício Rodrigues de Souza**, de matrícula 20201060130326 do curso de Engenharia Civil da Mobilidade. A banca foi composta pelos seguintes membros: Lucas de Oliveira Zúñiga, Juliano Rodrigues da Silva e Valéria Conceição Mouro Costa, sob a presidência do primeiro. O trabalho de conclusão de curso tem como título “**ANÁLISE DAS PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS: ESTUDO DE CASO EM TRÊS OBRAS EM ANÁPOLIS-GO**”, da área de Estruturas, sob orientação do Prof. Matheus Tabata Santos. Após a apresentação, tendo sido o autor arguido pela Banca Examinadora, a nota obtida foi 85,0 (Oitenta e cinco pontos) e o Trabalho de Conclusão de Curso foi considerado (X) aprovado () aprovado com correções () reprovado pela banca examinadora.

Encerra-se a presente sessão às 15 horas e 20 minutos. Eu, Prof. Lucas de Oliveira Zúñiga, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da Banca e pelo graduando.

Prof. Lucas de Oliveira Zúñiga

(Assinado eletronicamente)

Prof. Juliano Rodrigues da Silva

Documento assinado digitalmente



JULIANO RODRIGUES DA SILVA

Data: 09/10/2024 16:14:42-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Valéria Conceição Mouro Costa

(Assinado eletronicamente)

Lorram Fabrício Rodrigues de Souza

(Assinado eletronicamente)

Documento assinado eletronicamente por:

- Valeria Conceicao Mouro Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 09/10/2024 14:54:59.
- Lorrann Fabricio Rodrigues de Souza, 20201060130326 - Discente, em 07/10/2024 20:10:08.
- Lucas de Oliveira Zuniga, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO, em 07/10/2024 19:09:55.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 07/10/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 572677

Código de Autenticação: dd5f082775



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Avenida Pedro Ludovico, s/ nº, None, Reny Cury, ANÁPOLIS / GO, CEP 75131-457
(62) 3703-3373 (ramal: 3373)



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: LORRAM FABRICIO RODRIGUES DE SOUZA

Matrícula: 20201060130326

Título do Trabalho: ANÁLISE DAS PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS: ESTUDO DE CASO EM TRÊS OBRAS EM ANÁPOLIS-GO

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Anápolis-GO, 17 de outubro de 2024.



Documento assinado digitalmente

LORRAM FABRICIO RODRIGUES DE SOUZA

Data: 17/10/2024 22:44:32-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

“Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.” Josué 1:9.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de manifestar meus profundos agradecimentos a todos que contribuíram para a realização deste trabalho acadêmico, com um agradecimento especial a Deus, por me guiar, proteger e fortalecer a cada dia.

Em primeiro lugar, agradeço imensamente aos meus pais, que sempre me proporcionaram o melhor e acreditaram em mim. Aos meus familiares e amigos, que me apoiaram ao longo de toda a jornada acadêmica, ofereço meu sincero agradecimento.

Agradeço também à minha companheira de vida, por acreditar em mim e estar sempre presente.

Aos meus orientadores, professores, Lucas e Matheus, expresso minha gratidão pela orientação e apoio ao longo deste processo. Sua experiência, dedicação e paciência foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Não posso deixar de mencionar todos os professores, colegas de curso e demais profissionais que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento acadêmico. Seus ensinamentos foram essenciais na formação do profissional que estou me tornando.

Agradeço sinceramente a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Meu profundo agradecimento a todos!

RESUMO

Manifestações patológicas em estruturas metálicas, como falhas de montagem, projeto inadequado, problemas de pintura, corrosão e falhas em ligações metálicas, têm se tornado cada vez mais frequentes em obras que utilizam esse tipo de estrutura. Várias questões podem ser levantadas a respeito disso, como a falta ou insuficiência de detalhamento nos projetos, falhas no planejamento, utilização de materiais de baixa qualidade e falta de especialização da mão de obra. Na engenharia civil, a patologia refere-se ao estudo dos sintomas, causas e origens das anomalias que podem afetar a vida útil de uma edificação. O objetivo principal deste estudo de caso foi identificar as manifestações patológicas presentes em obras com estruturas metálicas na cidade de Anápolis-GO, analisar suas possíveis causas e propor estratégias de reparo e mitigação. Para isso, foi realizado um levantamento das anomalias encontradas por meio de fotografias e coleta de dados, além de uma revisão bibliográfica. As principais manifestações patológicas identificadas foram falhas na pintura, falhas na montagem, falhas de projeto, corrosão e falhas nas ligações metálicas, originadas por falhas no projeto, na execução da obra e pela utilização de materiais de baixa qualidade e pouca resistência. A falta de qualificação adequada da mão de obra também foi um fator que contribuiu para esses problemas. Ao término desta pesquisa, foi possível fornecer um diagnóstico completo das manifestações patológicas observadas, identificar suas causas e propor métodos para correção e prevenção futura. Os problemas identificados poderiam ter sido evitados se todas as etapas do projeto de cada estudo de caso contassem com uma mão de obra capacitada.

Palavras-chave: Manifestações; Construção civil; Patologia; obras; Execução.

ABSTRACT

Pathological manifestations in metal structures, such as assembly failures, inadequate design, painting problems, corrosion and failures in metal connections, have become increasingly frequent in works that use this type of structure. Several questions can be raised about this, such as the lack or insufficiency of detailing in the projects, planning failures, use of low-quality materials and lack of specialization of the workforce. In civil engineering, pathology refers to the study of the symptoms, causes and origins of anomalies that can affect the useful life of a building. The main objective of this case study was to identify the pathological manifestations present in works with metal structures in the city of Anápolis-GO, analyze their possible causes and propose repair and mitigation strategies. To this end, a survey of the anomalies found was carried out through photographs and data collection, in addition to a bibliographic review. The main pathological manifestations identified were paint failures, assembly failures, design failures, corrosion and failures in metal connections, caused by flaws in the design, in the execution of the work and by the use of low-quality and low-resistance materials. The lack of adequate qualifications of the workforce was also a contributing factor to these problems. At the end of this research, it was possible to provide a complete diagnosis of the pathological manifestations observed, identify their causes and propose methods for correction and future prevention. The problems identified could have been avoided if all stages of the project in each case study had been carried out by a qualified workforce.

Keywords: Manifestations; Civil construction; Pathology; works; Execution.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT -	Associação Brasileira Normas Técnicas
ASTM -	American Society for Testing and Materials
EM -	Normas Europeias
HB -	High Build
ISO -	Organização Internacional de Normalização
IBS	Instituto Brasileiro de Siderurgia
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Construção - Estrutura metálica.....	15
Figura 2 - Ponte de Coalbrookdale	16
Figura 3 - Edifício Casa do Comércio da Bahia em Salvador.....	17
Figura 4 - Ligação soldada	20
Figura 5 - Ligação parafusada	21
Figura 6 - Principais tipos de corrosão em superfícies metálicas.....	28
Figura 7 - Corrosão uniforme em chapa metálica	29
Figura 8 - Corrosão filiforme em superfície metálica	29
Figura 9 - Corrosão em placas na superfície metálica.....	30
Figura 10 - Corrosão alveolar em superfície metálica.....	30
Figura 11 - Corrosão puntiforme em chapa metálica	31
Figura 12 - Corrosão intergranular	31
Figura 13 - Esquematização da corrosão intergranular e da intragranular	32
Figura 14 - Gráfico de elasticidade do aço	34
Figura 15 - Flambagem local em um perfil metálico	35
Figura 16 - Flambagem Global - Montante de uma treliça	35
Figura 17 - Falta de fusão na soldagem.....	36
Figura 18 - Pintura de um perfil metálico	42
Figura 19 - Etapas da galvanização por imersão a quente.....	47
Figura 20 – Caso 1	53
Figura 21 – Caso 2.....	53
Figura 22 – Caso 3.....	54
Figura 23 - Falhas na pintura - Enrugamento - Porosidade – impregnação	55
Figura 24 - Falhas na pintura – Porosidade – Impregnação	56
Figura 25 - Solda - Presença de porosidade na solda	59
Figura 26 - Solda - Falta de penetração	59
Figura 27 - Solda - Presença de porosidade	60
Figura 28 - Solda - Sobreposições e falta de fusão.....	60
Figura 29 - Solda - Presença de porosidade	61
Figura 30 - Solda - Presença de porosidade	61
Figura 31 - Solda - Presença de porosidade	62

Figura 32 - Solda - Presença de porosidade	62
Figura 33 – Perfil de W200x15	71
Figura 34 – Perfil de W150x13	71
Figura 35 - Vigas da cobertura - W150x13	71
Figura 36 - Base do pilar 1 - Galpão - corrosão uniforme e puntiforme	74
Figura 37 - Base do pilar 2 - Galpão - corrosão uniforme e puntiforme	75
Figura 38 - Ponto de ônibus Integrado	75
Figura 39 – Pilar 1 - ponto de ônibus - corrosão uniforme	76
Figura 40 – Pilar 2 - ponto de ônibus - corrosão em placas	76
Figura 41 – Cobertura do ponto de ônibus – Enrugamento da tinta.....	81
Figura 42 – Pilar da entrada do galpão – Sangramento da tinta.....	81
Figura 43 – Viga treliçada no ponto de ônibus – Falta de revestimento	82
Figura 44 – Ligação no galpão – Solda – presença de porosidade.....	86
Figura 45 –Treliça - ponto de ônibus – Solda - Falta de penetração e fusão.....	86
Figura 46 - Entrada do Galpão	92
Figura 47 - Contravento lateral.....	92
Figura 48 - Base do pilar metálico.....	93
Figura 49 - Bases dos pilares metálicos.....	93
Figura 50 – Ligação parafusada 1.....	97
Figura 51 – Ligação parafusada 2.....	98
Figura 52 – Porosidade na pintura da peça metálica	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedade Mecânicas do Aço-carbono.....	18
Tabela 2 - Propriedades Mecânicas do Aços de Baixa Liga	19
Tabela 3 - Fontes de anomalias na construção civil	25

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Manifestações patológicas mais comuns e as principais causas	26
Quadro 2 - Falhas e defeitos nas pinturas - causas	39
Quadro 3 - Falhas e defeitos nas pinturas – Soluções	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVO GERAL	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3. JUSTIFICATIVA	14
1.4. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. ESTRUTURAS METÁLICAS.....	15
2.1.1. Histórico do uso de ligas metálicas na construção civil.....	15
2.1.2. Aço Estrutural	17
2.1.2.1 Tipos de aços estruturais.....	17
2.1.2.2 Propriedades do aço.....	19
2.1.3. Sistemas de ligações em estruturas metálicas	20
2.1.3.1 Ligações soldadas	20
2.1.3.2 Ligações parafusadas	21
2.1.4. Vantagens e desvantagens das estruturas metálicas	22
2.1.5. Aplicações na construção civil.....	23
2.2. PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS.....	24
2.2.1. Principais patologias em estruturas metálicas.....	26
2.2.1.1 Corrosão	27
2.2.1.2 Falhas de projeto.....	32
2.2.1.3 Deformações excessivas	33
2.2.1.4 Flambagem	34
2.2.1.5 Falhas na fabricação	36
2.2.1.6 Falhas na montagem	36
2.2.1.7 Falhas nas ligações metálicas	37
2.2.1.8 Falhas na pintura.....	39

2.3.	ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO E REPARO DAS PATOLOGIAS	41
2.3.1.	Corrosão	42
2.3.1.1	Prevenção	42
2.3.1.2	Pintura e revestimento	42
2.3.1.3	Galvanização	46
2.3.2.	Falhas de projeto	47
2.3.3.	Falhas na fabricação.....	48
2.3.4.	Falhas na montagem.....	48
2.3.5.	Falhas nas ligações metálicas.....	49
2.3.6.	Falhas na pintura.....	50
3.	METODOLOGIA	52
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1.	CASO 1 – LAUDO DO CASO 1	55
4.1.1.	Falhas na pintura.....	55
4.1.2.	Falhas na montagem.....	58
4.1.3.	Falhas de projeto	70
4.2.	CASO 2 – GALPÃO PÚBLICO	74
4.2.1.	Corrosão	74
4.2.2.	Falhas na pintura.....	80
4.2.3.	Falhas na montagem.....	85
4.3.	CASO 3 - GALPÃO PÚBLICO	91
4.3.1.	Corrosão	91
4.3.2.	Falhas nas ligações metálicas.....	97
4.3.3.	Falhas na pintura.....	100
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

1. INTRODUÇÃO

No campo da construção civil, as estruturas metálicas se destacam como elementos essenciais que fornecem resistência, durabilidade e flexibilidade nas edificações, sendo que seu uso antecede décadas e continua de forma mais abrangente ainda, pois carrega consigo um conjunto de atributos mecânicos e estéticos, sendo um grande aliado na arquitetura e na estrutura em si da construção (Bellei; Pinho, 2008).

Caracterizados como elementos estruturais, os componentes que formam a estrutura metálica são criados a partir de material metálico, entre os principais o aço carbono (Oliveira, 2019). A procura pela qualidade, economia, e rapidez nos processos construtivos, acabou elevando a demanda pelo método construtivo (Almeida, 2017).

Desde décadas passadas, a indústria das estruturas metálicas vem expandindo em países como Reino Unido, Estados Unidos e Alemanha, já no Brasil o crescimento vem ganhando cada dia mais espaço no mercado, com um aumento de 30% a 50%, em relação a construção em concreto (Cortez *et al.*, 2017).

Entretanto, existem alguns fatores que elevam o custo desse tipo de estrutura, sendo a limitação de perfis metálicos, que chegam a ser escassos em determinadas regiões do Brasil, o projeto inadequado, exigências e especificações na criação e no processo de montagem (Almanda et al., 2021).

O mercado da construção civil sempre busca soluções e melhorias no processo construtivo, ganhando eficácia que elimina fases construtivas, reduzindo o uso dos demais sistemas construtivos e ganhando tempo, além de manter sua qualidade (Almeida, 2017).

Patologia é a ciência que estuda a origem, as manifestações e a estrutura dos problemas. De origem grega, a palavra patologia se divide em duas: “*PATHOS*” (doença) e “*LOGOS*” (estudo), ou seja, trata-se do estudo das doenças e irregularidades que surgem nas estruturas. Já as manifestações patológicas são os sintomas visíveis dessas irregularidades (Bessa, 2019).

Nas estruturas metálicas, as patologias surgem devido a problemas de projeto, montagem, planejamento, qualidade de materiais, mau uso, entre outros fatores, sendo que essas anomalias, resultam em riscos tanto pessoais quanto materiais, quando não são reparadas adequadamente, a corrosão é uma das principais patologias encontradas nesse tipo de estrutura, podendo comprometer até 30% da obra, limitando o uso de estruturas metálicas (Silva Neto; Nascimento; Lima, 2018).

Uma estrutura necessita ser bem aplicada e oferecer uma boa condição de uso e de segurança, para que não ocorra inúmeros tipos de danos, e isso exige prevenção de possíveis manifestações patológicas, mantendo um controle de qualidade que precisa reinar nas etapas do projeto, sendo necessário para evitar tais imprevistos, esse controle de qualidade no detalhamento, fabricação e na montagem vai reduzir a necessidade de reparar futuras falhas (Sacchi; Souza, 2017).

Segundo Silva Neto; Nascimento; Lima (2018), em estruturas metálicas, há vários tipos de patologias que podem ser encontradas visualmente com facilidade, isso quando observamos um local construído com esse tipo de estrutura, ainda mais quando não houve uma prevenção, sendo que as mesmas podem surgir desde a execução do projeto até as etapas finais da obra, sendo uma técnica pouca explorada no meio da construção.

Diante disso, pretende-se esclarecer por meios de pesquisas, revisão bibliográfica e estudos de caso, as principais manifestações patológicas nessas estruturas metálicas, suas causas, e estratégias de mitigação e reparo.

1.1. OBJETIVO GERAL

Este presente trabalho tem como objetivo geral investigar e analisar as principais manifestações patológicas identificadas em estruturas metálicas de três obras situadas na cidade de Anápolis, estado de Goiás, visando compreender as causas dessas anomalias e propor estratégias de mitigação e reparo.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar estudos de três casos reais de estruturas metálicas afetadas por patologias.
- Identificar, descrever e analisar as características e causas de cada patologia encontrada.
- Investigar e propor estratégias de mitigação e reparo para cada uma das patologias identificadas.

1.3. JUSTIFICATIVA

Esse estudo propõe conhecer as principais manifestações patológicas que afetam as estruturas metálicas, destacando a importância de análise das mesmas e sua relevância na garantia da segurança e durabilidade das construções, ressaltando a necessidade de estratégias eficazes para mitigar e reparar essas manifestações.

As anomalias construtivas podem ocorrer tanto por problemas de projetos, como também por erros de execução, mão de obra com baixa qualificação ou por não ocorrer manutenção. Conhecer as patologias e entender as suas causas é imprescindível para que se possa fazer a recomendação de medidas corretivas que sejam adequadas a cada caso. E também se torna importante evidenciar os erros mais comuns que acabam levando às patologias, para que se possa evitá-los e assim reduzir a incidência de anomalias desse tipo.

A compreensão aprofundada das patologias em estruturas metálicas é essencial para garantir a durabilidade e segurança dessas construções. Diante da complexidade e diversidade dessas manifestações, é fundamental realizar uma análise criteriosa, identificando suas origens e adotando estratégias eficazes de mitigação e reparo. A investigação das patologias em estruturas metálicas é crucial para aprimorar as práticas de manutenção e promover a sustentabilidade dessas edificações, alinhando-se com as exigências de um ambiente construtivo gradativamente mais desafiador (Araújo, 2018).

1.4. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho é dividido em cinco capítulos, distribuídos da seguinte forma: O primeiro capítulo serve como introdução ao tema, apresentando os principais objetivos da pesquisa e fornecendo uma justificativa para sua realização. Já o segundo capítulo aborda o referencial teórico, explorando temas como estruturas metálicas, suas principais patologias, suas causas e as estratégias de mitigação e reparo. No terceiro capítulo, é detalhada a metodologia de pesquisa adotada, além de ser feita a apresentação dos objetos de estudo que serão analisados ao longo do trabalho. O quarto capítulo concentra-se nos estudos de casos, destacando as patologias identificadas e as abordagens utilizadas para repará-las e mitigá-las. Por fim, o quinto e último capítulo engloba as conclusões derivadas do estudo, juntamente com as referências bibliográficas consultadas ao longo do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o desejo de aumentar o desempenho das estruturas metálicas, é notável o surgimento de novas tecnologias e novos materiais construtivos com a finalidade de aperfeiçoamento. Neste capítulo são apresentadas as características e propriedades dos elementos desse tipo de estrutura, as principais patologias das estruturas metálicas e suas formas de mitigação e reparo, sendo de suma importância, para que a vida útil da mesma seja prolongada.

2.1. ESTRUTURAS METÁLICAS

As estruturas metálicas possuem um grande papel na construção civil, fornecendo várias soluções duráveis e versáteis para uma variedade de aplicações estruturais, como pode ser visto na Figura 1, são compostas principalmente de aço, uma liga metálica que combina ferro e carbono, conhecida por proporcionar resistência e maleabilidade. De acordo com Margarido (2007), essas estruturas apresentam diversas vantagens, incluindo alta resistência à tração e compressão, durabilidade, capacidade de suportar cargas pesadas e facilidade de montagem.

Figura 1 - Construção - Estrutura metálica



Fonte: Cober-teto estruturas, 2023

2.1.1. Histórico do uso de ligas metálicas na construção civil

Segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008), os primeiros registros da utilização do ferro ocorreram nas antigas civilizações, como no antigo Egito, Babilônia e Índia, foi considerado um material nobre por volta de 6 mil anos a.C. Na época da industrialização,

alguns países como Inglaterra, França e Alemanha, isso durante meados do século XIX, testemunharam um crescimento significativo na utilização do ferro. No período de expansão industrial ocorreu uma diversificação ampla de variantes de produtos, como trilhos ferroviários, sendo na medida que a produção crescia.

A famosa ponte sobre o Rio Severn (Figura 2), localizada em Coalbrookdale, na Inglaterra, foi construída no ano de 1779 e ficou muito conhecida como a pioneira na construção em ferro, com um vão de mais de 40 metros (Bellei, Pinho e Pinho; 2007).

Figura 2 - Ponte de Coalbrookdale

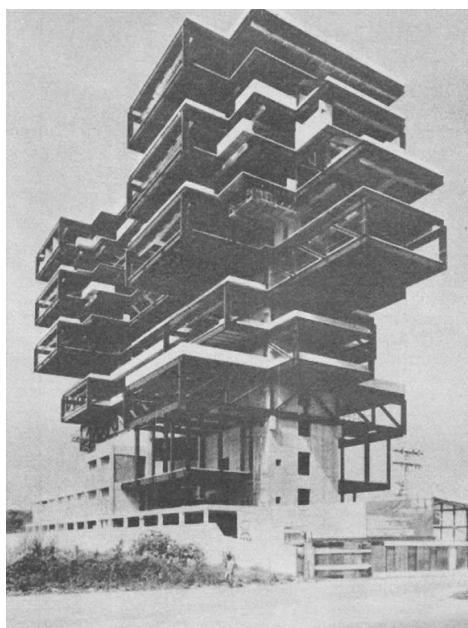


Fonte: Blog - Arquiteto Técnico Luis Alberto G. Márquez, 2018

A história da fabricação de estruturas metálicas no Brasil teve início em 1812, quando a produção em grande escala começou a se desenvolver devido o surgimento de grandes siderúrgicas. Em 1920, a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira foi fundada, e junto com outras siderúrgicas menores, o país alcançou uma produção de 35 mil toneladas. Já na década de 1940 marcou o estabelecimento da Companhia Siderúrgica Nacional, que produzia chapas e perfis nas dimensões norte-americanas (Costa, 2001).

Nos anos 1960, a Usiminas e a Cosipa entraram em operação, produzindo chapas, e posteriormente, a Gerdau Aço Minas começou a fabricar perfis laminados de abas paralelas. Este crescimento transformou o Brasil de um importador para um exportador. Devido à expansão da indústria, apesar do consumo interno relativamente baixo, a ascensão da indústria de estruturas metálicas viu a realização de grandes projetos, como o edifício da Casa do Comércio da Bahia (Figura 3), localizado na capital do estado, Salvador (Pinheiro, 2005; Bellei, Pinho e Pinho, 2008).

Figura 3 - Edifício Casa do Comércio da Bahia em Salvador



Fonte: Bellei, Pinho e Pinho, 2008

2.1.2. Aço Estrutural

Conforme o Manual de Construção em Aço (2011) do Instituto Aço Brasil, o aço estrutural é definido como um tipo de aço projetado para ser utilizado em estruturas de construção civil, as estruturas podem incluir edifícios, pontes, viadutos, torres de transmissão, entre outras. O aço estrutural é caracterizado por possuir propriedades mecânicas adequadas para suportar forças e cargas, o que o torna um material de suma importância na construção civil, sendo que o aço estrutural é capaz de suportar grandes cargas e deformações antes de falhar.

2.1.2.1 Tipos de aços estruturais

Os aços-carbono, conforme Pfeil e Pfeil (2009), possui propriedades mecânicas que estão ligadas ao teor de carbono presente em sua composição. Com o aumento deste teor, verifica-se um acréscimo na resistência do aço; no entanto, essa vantagem tem consequências, causando diminuição na ductilidade, o que pode causar desafios durante processos de soldagem.

Em estruturas convencionais, são empregadas peças de aço classificadas como de baixo teor de carbono, geralmente contendo menos de 0,29% de carbono. Aços com teores de carbono entre 0,3% e 0,59% se enquadram na categoria de médio carbono,

enquanto aqueles com concentrações de carbono entre 0,6% e 2,0% são classificados como alto carbono (Pfeil e Pfeil, 2009).

Seguindo os padrões da Associação Brasileira Normas Técnicas (ABNT), American Society for Testing and Materials (ASTM) e das normas europeias (EN), os principais tipos de aço utilizados na construção de estruturas, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedade Mecânicas do Aço-carbono

Especificação	Teor de carbono	Limite de escoamento (MPa)	Resistência á ruptura (MPa)
ABNT MR250	Baixo	250	400
ASTM A7	Baixo	240	370-500
ASTM A36	0,25 - 0,29	250 (36 ksi)	400-500
ASTM A307 (parafuso)	Baixo	-	415
ASTM A325 (parafuso)	Médio	635 (mínimo)	825 (mínimo)
EM S235	Baixo	235	360

Fonte: Adaptado de Pfeil, Pfeil, 2009

Outro tipo de aço estrutural são os aços de baixa liga, são aços-carbono que foram enriquecidos com elementos de liga, como cobre, manganês, níquel, fósforo e outros. Essas ligas têm o potencial de influenciar nas propriedades mecânicas do aço, isso resulta em um aumento significativo de sua resistência.

Os elementos tem um papel fundamental na modificação da microestrutura do aço, criando uma estrutura com grãos finos que possibilita a obtenção de elevadas resistências, mesmo com teores de carbono relativamente baixos.

A Tabela 2, apresenta uma visão geral das propriedades desses aços, levando em consideração essas adições. Assim como os aços-carbono, os aços de baixa liga também podem ter suas resistências aumentadas por meio de tratamentos térmicos (Pfeil e Pfeil, 2009). Na tabela, “C” corresponde ao carbono, “Mn” ao manganês e “Cu” ao cobre.

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas do Aços de Baixa Liga

Especificação	Principais elementos de liga	Limite de escoamento (MPa)	Resistência a ruptura (MPa)
ASTM 572 Gr.50	C<0,23% Mn<1,35%	345	450
ASTM A588	C<0,17% Mn<1,25% Cu<0,50%	345	485
ASTM A992	C<0,23% Mn<1,5%	345	450

Fonte: Pfeil, Pfeil, 2009

Conforme a classificação proposta por Lima (2017), os aços estruturais de liga são segmentados em dois grupos: aços de baixa liga sem tratamento térmico e aços de baixa liga com tratamento térmico. Essa distinção primordial entre esses dois grupos reside no tratamento aplicado após o processo de laminação, que confere ao material uma notável resistência mecânica.

2.1.2.2 Propriedades do aço

Segundo Rossatto (2015) as propriedades mecânicas do aço são fundamentais para entender seu comportamento quando utilizado em estruturas metálicas. Algumas das principais propriedades mecânicas do aço são: Resistência mecânica, Ductilidade, Fragilidade, Resiliência, Tenacidade, Dureza e Corrosão.

Resistência mecânica é o potencial do aço de suportar cargas sem falhar, geralmente medida em termos de resistência à tração, compressão e flexão (Pfeil e Pfeil, 2009).

A ductilidade é a capacidade do aço de deformar-se plasticamente antes de se romper. Um material dúctil pode se alongar significativamente sem se romper, sendo crucial em estruturas, pois permite a absorção de energia antes do colapso (Lima, 2017).

A fragilidade do aço representa a contraposição à sua ductilidade; ou seja, refere-se a elementos que não passam por deformações notáveis e, em vez disso, experimentam uma ruptura de maneira repentina, muitas vezes sem sinais prévios (Pfeil e Pfeil, 2009).

Resiliência do aço se refere-se à sua capacidade de absorver energia elástica e recuperar sua forma original após a remoção da carga (Pfeil e Pfeil, 2009).

A tenacidade é a capacidade do aço de absorver energia durante uma deformação antes do rompimento. Quando um aço está nessa condição ele tem potencial de absorver

choques e cargas de impacto sem fraturar de forma súbita. A tenacidade é particularmente importante em situações de som dinâmico (Lima, 2017).

Dureza do aço é uma propriedade mecânica fundamental que se refere à sua resistência a deformações permanentes ou penetração (Pfeil e Pfeil, 2009).

A corrosão é uma característica no qual o aço reage com elementos presentes no ambiente em que está exposto, resultando nas observações graduais de sua seção transversal. O processo corrosivo pode, em muitos casos, ser a causa de colapsos estruturais. (Pfeil e Pfeil, 2009).

2.1.3. Sistemas de ligações em estruturas metálicas

Ligações são todos os elementos construtivos responsáveis por unir as partes de uma estrutura, além de conectar essa estrutura a elementos externos, como fundações ou outras estruturas adjacentes. O tipo de conexão a ser empregado varia de acordo com as especificidades de cada projeto, porém, os sistemas mais comuns são as conexões por parafusos e as conexões soldadas (IBS/CBCA, 2004).

2.1.3.1 Ligações soldadas

Segundo Castro (1999), a solda é descrita como um método de união que age de maneira similar a uma "cola", integrando-se ao metal base e permitindo a transmissão direta das tensões, conforme é apresentado na figura 4. Dessa forma, a conexão se assemelha a uma união monolítica entre as peças conectadas.

Figura 4 - Ligação soldada



Fonte: Metalrio Estruturas Metálicas, 2018

A solda é considerada o método mais eficaz de conexão, pois assegura a continuidade das propriedades químicas e físicas ao longo da junta da peça. Isso resulta em economia e otimização de material, redução dos componentes de ligação, aumento da rigidez estrutural, significativa redução de peso em aço, e agilidade tanto na fabricação quanto na montagem (Andrade, 2000).

As principais vantagens desse tipo de ligação incluem a economia de material, a rigidez da estrutura mais próxima do modelo teórico, a facilidade de fazer modificações nos desenhos, maior capacidade de corrigir erros durante a montagem e a redução na quantidade de peças utilizadas, resultando em menor tempo necessário para detalhamento, fabricação e montagem. Por outro lado, as desvantagens incluem a necessidade de redução no comprimento para estruturas com grande extensão, a exigência de disponibilidade de energia elétrica adequada no local da montagem e a necessidade de maior cuidado na análise da possibilidade de fadiga da ligação (IBS/CBCA, 2004).

2.1.3.2 Ligações parafusadas

Ligações parafusadas em estruturas metálicas referem-se ao método de conexão onde os elementos estruturais são unidos por meio de parafusos conforme a figura 5. Nesse processo, os parafusos são inseridos através de furos pré-perfurados nas peças a serem unidas e fixados com porcas ou roscas, proporcionando uma ligação segura e resistente (Pfeil, 2009).

Figura 5 - Ligação parafusada



Fonte: Metalrio Estruturas Metálicas, 2018

Este método é comumente utilizado na construção de estruturas metálicas devido à sua facilidade de montagem, versatilidade e capacidade de suportar cargas variadas. As ligações parafusadas permitem também a desmontagem e reutilização das peças, oferecendo flexibilidade durante o processo de construção e manutenção da estrutura (IBS/CBCA, 2004).

Por outro lado, as desvantagens das ligações parafusadas incluem o enfraquecimento das peças conectadas devido aos furos, às vezes exigindo reforços adicionais. Além disso, as ligações parafusadas são mais complexas do que as ligações soldadas, demandando mais trabalho de cálculo, detalhamento e fabricação. É necessário também um planejamento antecipado para evitar a falta de parafusos durante a execução da obra (Pfeil, 2009).

2.1.4. Vantagens e desvantagens das estruturas metálicas

Segundo Pugliesi e Lauand (2005), esse tipo de estrutura apresentam algumas vantagens e desvantagens. Em relação as vantagens, é destacado:

- Redução do peso próprio da estrutura;
- Ganho de tempo no processo de montagem;
- Redução na quantidade de trabalhadores;
- Possibilidade de reaproveitamento dos materiais em estoque e sobras da obra;
- Uma obra limpa, sem resíduos;
- Precisão milimétrica na fabricação das estruturas;
- Permite um controle de qualidade do produto acabado;
- Garantia das dimensões e propriedades dos materiais;
- Possibilidade de desmontagem das estruturas e depois sua posterior montagem em outro local;
- Alta resistência estrutural.

Quanto as desvantagens, é possível listar:

- Falta de mão de obra especializadas;
- Limitação na montagem em fábrica, devido ao transporte até o local de sua montagem final;
- Necessidade de tratamento superficial nas peças, contra a corrosão, devido ao contato com ar atmosférico e contra chamas;
- Necessidade de equipamentos especializados para sua fabricação e montagem;
- Custo mais alto que a construção convencional;
- Desembolso em curto prazo, ou seja, como a fabricação e a montagem são rápidas, o desembolso com a estrutura acaba sendo rápido;
- Necessidade de um grau de precisão muito maior nos cálculos de pré-dimensionamento, visto que a rigidez de cada peça é muito menor que as equivalentes em concreto.

2.1.5. Aplicações na construção civil

Segundo Pfeil e Pfeil (2009) e Rossatto (2015), dentro do contexto da construção civil, as estruturas metálicas encontram uma grande variedade de aplicações, devido às suas propriedades e versatilidade. Sendo que esse tipo de estrutura é utilizada em diferentes tipos de edifícios e infraestruturas. Quanto as aplicações, são em:

- **Edifícios Comerciais e Industriais:** frequentemente utilizadas devido à sua capacidade de suportar grandes vãos livres e cargas pesadas, essas estruturas oferecem flexibilidade de layout e podem ser expandidas ou modificadas com relativa facilidade.
- **Pontes Metálicas:** é comum o uso de estruturas de aço, pois oferecem vantagens como resistência, durabilidade e construção rápida, e são ideais para vãos longos, sendo frequentemente utilizadas em rodovias e ferrovias.
- **Galpões e Armazéns:** utilizadas devido à sua capacidade de criar grandes espaços sem obstruções internas.

- **Estádios e Arenas:** são construídos com estruturas metálicas, pois possibilitam a criação de vãos de maior comprimento, proporcionando visibilidade desobstruída para os espectadores.
- **Construções Residenciais:** Embora menos comum do que em outros tipos de construções, o uso desse tipo de estrutura metálica em residências está crescendo devido à rapidez de construção e à capacidade de criar designs da arquitetura.
- **Plataformas *Offshore*:** são essenciais nesse tipo de construção, pois suportam equipamentos e operações de perfuração.
- **Estruturas para Energias Renováveis:** Aços especiais são usados em estruturas para energia eólica e solar, como torres e suportes de painéis, devido à sua resistência e durabilidade.

2.2. PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Na engenharia, o termo "patologia" representa o processo de deterioração dos componentes que fazem parte do sistema estrutural, sendo que cada material tem sua maneira específica de reagir aos fatores internos e externos, exibindo uma velocidade de degradação única (Bessa, 2019).

Os problemas patológicos podem surgir em qualquer momento em uma edificação, e para prevenir e lidar com eles, surgiu a necessidade de uma ciência que os estude, analise e ofereça soluções viáveis para sua correção. Denominada de "Patologia de Edificações", é uma área de estudo relativamente recente no campo da construção civil, e nos últimos anos ganhou destaque devido à sua crescente importância e relevância (Ferreira Filho, 2017).

No Brasil, desde obras de pequeno porte até grandes estruturas como viadutos, pontes, obras hidráulicas e túneis, bem como construções comerciais e residenciais, são influenciadas pelo clima. Altos gradientes de temperatura ao longo do dia, poluição, volumes significativos de chuvas e ambientes agressivos são contribuintes para o surgimento de manifestações patológicas (Sacchi, 2016).

Dessa forma, as patologias em estruturas metálicas manifestam-se de inúmeras maneiras, derivadas de diversos fenômenos, como: agentes atmosféricos, variações térmicas, incompatibilidade de materiais, sobrecargas, agentes biológicos, umidade e outros fatores que dão origem ao problema (Bessa, 2019).

As anomalias são, frequentemente, resultado de falhas no projeto, erros durante a concepção e montagem das estruturas, muitas vezes devido à negligência, falta de controle de qualidade ou até mesmo ausência de manutenção (Sacchi; Souza, 2017).

Segundo Sacchi e Souza (2017), as patologias principais nas estruturas metálicas podem ser classificadas em adquiridas, transmitidas e atávicas.

Patologias adquiridas são aquelas que surgem devido à exposição e interação contínua com elementos externos ao longo do tempo, incluindo agentes ambientais, uso indevido, falta de manutenção e falhas no projeto inicial da estrutura. Entre os principais fatores desencadeantes, estão a poluição atmosférica, umidade, gases ou líquidos corrosivos, e vibrações excessivas causadas por uma utilização inadequada das estruturas. A corrosão é um exemplo marcante dessas patologias (Bessa, 2019; Sacchi; Souza, 2017).

As patologias transmitidas são aquelas que se originam de vícios, erros ou falta de conhecimento técnico durante a fabricação ou montagem da estrutura. São replicadas de obra para obra devido a práticas inadequadas. Entre os exemplos, incluir a má prática de alguns soldadores que não removem a pintura nos pontos de solda, ignorando que a carbonização da tinta pode comprometer a qualidade do serviço. Outra situação é a falta de prumo e alinhamento adequado da estrutura durante a montagem (Bessa, 2019; Sacchi; Souza, 2017).

As patologias atávicas são aquelas que surgem devido a falhas na concepção do projeto estrutural. Podem incluir erros nos cálculos, seleção inadequada de perfis ou chapas com espessuras erradas, ou ainda a utilização de tipos de aço com resistência diferente da prevista no projeto (Bessa, 2019; Sacchi; Souza, 2017).

Na Tabela 3, são apresentadas as principais causas de anomalias patológicas na construção civil.

Tabela 3 - Fontes de anomalias na construção civil

Causa	Porcentagem	Classificação
Falha no projeto	45,00%	Atávicas
Falha na execução	22,00%	Transmitidas
Má qualidade dos Materiais	15,00%	Atávicas
Má utilização pelo usuário	11,00%	Adquiridas
Outros	7,00%	-

Fonte: Adaptada de Garcia, 2017

2.2.1. Principais patologias em estruturas metálicas

Nas estruturas metálicas, as patologias podem ser categorizadas em duas classes distintas. A primeira classe está relacionada às patologias que afetam os materiais empregados, sendo a corrosão o principal problema associado ao aço. Já a segunda classe diz respeito às patologias no próprio sistema construtivo (Pezzato, 2010; Roscoe, 2008).

No Quadro 2, são apresentadas as cinco manifestações patológicas mais comuns em estruturas metálicas.

Quadro 1 - Manifestações patológicas mais comuns e as principais causas

Manifestações patológicas	Principais causas
Corrosão localizada	Provocada por falta de drenagem das águas pluviais e deficiências nos detalhes construtivos, permitindo o acúmulo de umidade e de agentes agressivos.
Corrosão generalizada	Causada pela falta de proteção contra o processo de corrosão.
Deformações excessivas	Provocadas por sobrecargas ou efeitos térmicos não previstos no projeto original, ou ainda, deficiências na disposição de travejamentos.
Flambagem local ou global	Causadas pelo uso de modelos estruturais incorretos para verificação da estabilidade, ou falta no enrijecimento local de chapas, ou efeitos de imperfeições geométricas não consideradas no projeto e cálculo.
Fratura e propagação de fraturas	Falhas iniciadas por concentração de tensões, devido a detalhes de projeto inadequados, defeitos de solda, ou variações de tensão não previstas no projeto.

Fonte: Adaptado de Pravia e Betinelli, 2016

2.2.1.1 Corrosão

A corrosão é um fenômeno natural que ocorre quando um material é exposto ao ambiente, levando à deterioração e alteração de suas características, afetando a função para a qual foi designado. Esse processo pode representar uma ameaça à segurança das estruturas que compõem edificações, destacando a importância de considerar seus efeitos durante o dimensionamento (Serra, 2012).

Na execução e fabricação de peças de estruturas metálicas, os tipos de corrosão desempenham um papel crucial na determinação do tipo de manutenção necessário para o local. A corrosão localizada, é muitas vezes resultante de deficiências na drenagem de águas pluviais, exposição a agentes agressivos ou falhas nos detalhes construtivos. A corrosão também pode ser generalizada, ocorrendo quando não há mecanismos eficazes de proteção contra esse processo corrosivo. A distinção é fundamental para planejar e implementar estratégias de manutenção adequadas (Araujo, 2012; Serra, 2012).

A corrosão pode se manifestar de várias formas, o que possibilita sua classificação com base na morfologia, nas causas e mecanismos de atuação, no meio corrosivo ou em fatores mecânicos. É essencial realizar uma caracterização apropriada para identificar a conduta ideal a ser adotada diante do tipo específico de corrosão apresentado (Serra, 2012).

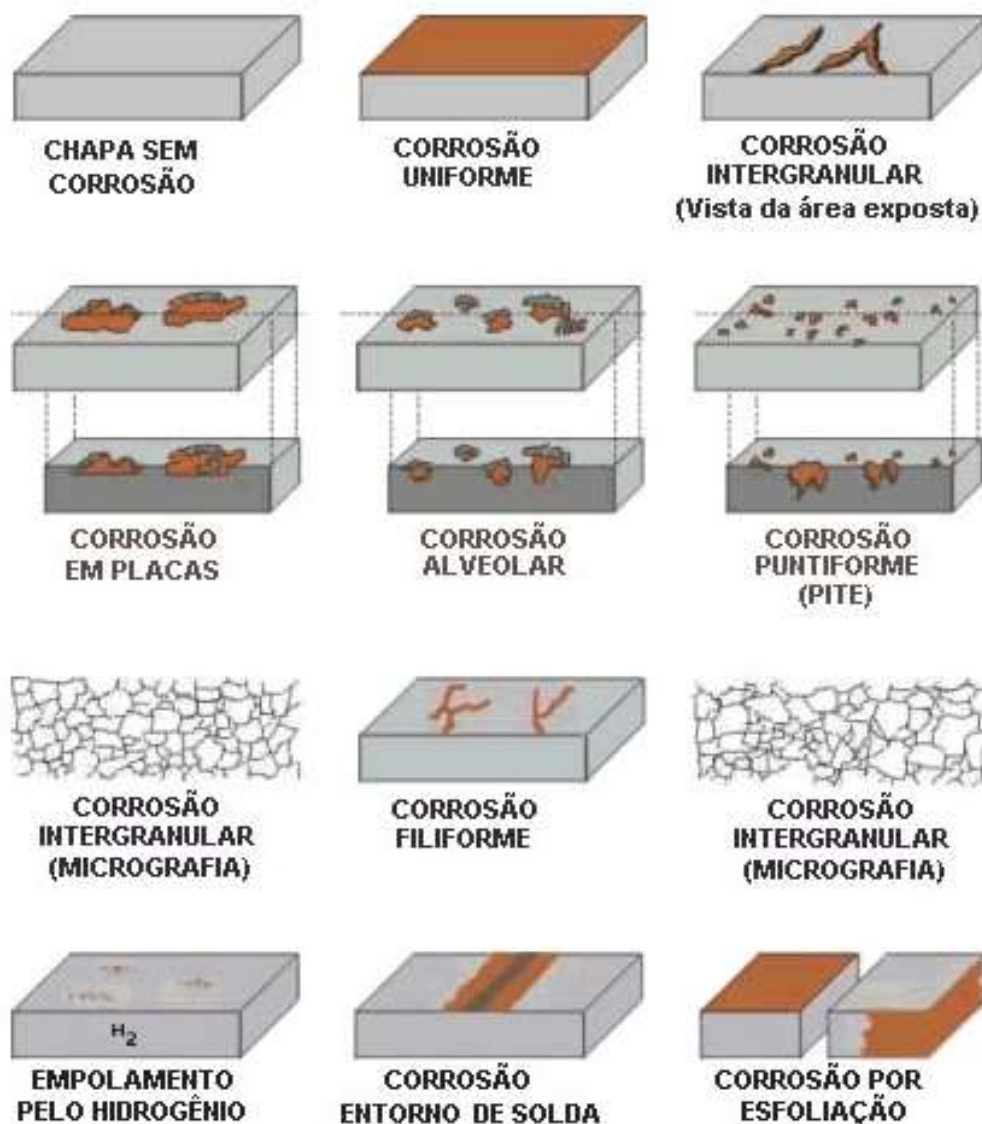
A classificação da corrosão com base no mecanismo de atuação é uma abordagem fundamental e pode ser simplificada em corrosão química e corrosão eletroquímica. A corrosão química ocorre por meio da reação de um gás com um metal, resultando na formação de uma película de óxido, denominada de corrosão seca, pois não há presença de água no processo corrosivo (Murolo, 2007).

A corrosão eletroquímica, por sua vez, ocorre em ambientes que tem presença de água e com o movimento de elétrons ao longo do material metálico, através da formação de uma célula de corrosão provida de diferença de potencial e de um eletrólito carregado de íons. Maior parte das corrosões em estruturas metálicas são do tipo eletroquímica, principalmente com a exposição à umidade do ambiente em que estão inseridas (Murolo, 2007).

Uma abordagem visual é essencial para identificar os diferentes tipos de corrosão com base em sua morfologia. Dentre os principais tipos (Figura 6), destacam-se: corrosão uniforme, filiforme, em placas, alveolar, puntiforme, intragranular e intergranular. É por

meio dessa análise visual que podemos compreender melhor as características distintas de cada manifestação corrosiva (Araujo, 2012).

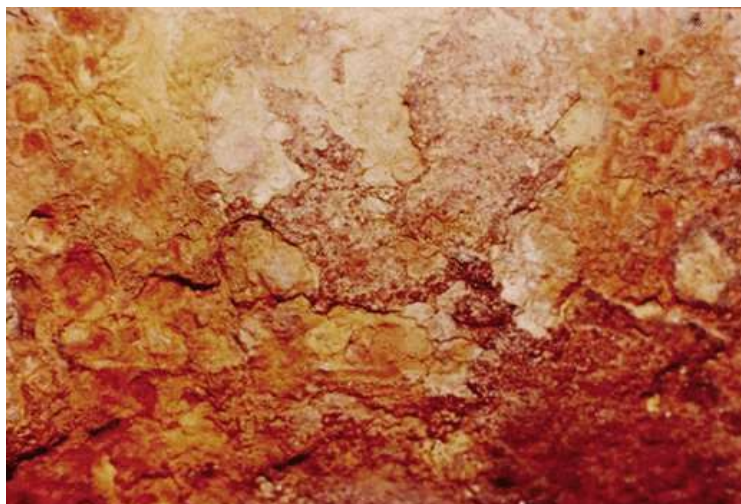
Figura 6 - Principais tipos de corrosão em superfícies metálicas



Fonte: Adaptado de Serra, 2012

A corrosão uniforme (Figura 7) é um tipo que afeta toda a superfície do material, resultando na perda de espessura de maneira uniforme (Araujo, 2012). Conforme observado por Serra (2012), esse tipo de corrosão gera uma camada pouco aderente e visível de óxido de ferro, conhecida como ferrugem. É bastante comum em estruturas metálicas e facilmente identificável, o que impede a progressão da deterioração.

Figura 7 - Corrosão uniforme em chapa metálica



Fonte: Engenheiro de Materiais, 2017

A corrosão filiforme (Figura 8) se apresenta na forma de filamentos estreitos e superficiais, espalhados em diversas direções e que não se interconectam. É mais frequente em ambientes com umidade do ar acima de 85% e superfícies metálicas que foram revestidas com materiais mais permeáveis à passagem de oxigênio e água, como tintas ou películas poliméricas (Araujo, 2012).

Figura 8 - Corrosão filiforme em superfície metálica



Fonte: Portal Ts, 2019

Corrosão em placas (Figura 9) forma regiões com escavações sobre a superfície metálica, sem comprometer toda a extensão do material. Essas escavações podem ter diferentes tamanhos e profundidades, mas não afetam uniformemente toda a superfície do metal (Araujo, 2012).

Figura 9 - Corrosão em placas na superfície metálica



Fonte: Sea Lectrics Main, 2012

A corrosão alveolar (Figura 10) é um tipo que provoca sulcos e escavações na superfície metálica, assemelhando-se a alvéolos, com diâmetro maior que a profundidade e fundo arredondado (Araujo, 2012).

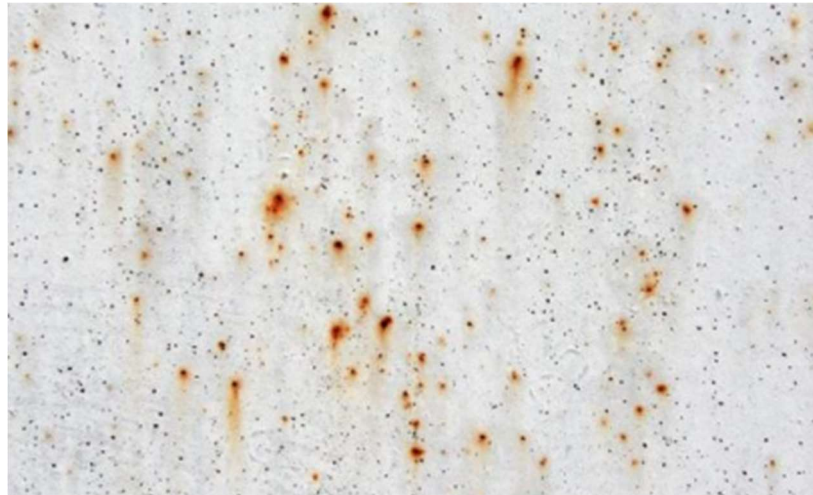
Figura 10 - Corrosão alveolar em superfície metálica



Fonte: Engenheiro de Materiais, 2017

A corrosão puntiforme (Figura 11), também conhecida como *Pitting Corrosion*, é caracterizada pela formação de pequenas áreas ou pontos de corrosão com cavidades de fundo angular, cuja profundidade é maior que o diâmetro das áreas afetadas. Essas cavidades são chamadas de pites, e ocorre principalmente em locais onde a camada protetora foi corroída, podendo até mesmo perfurar superfícies com baixa espessura (Araujo, 2012).

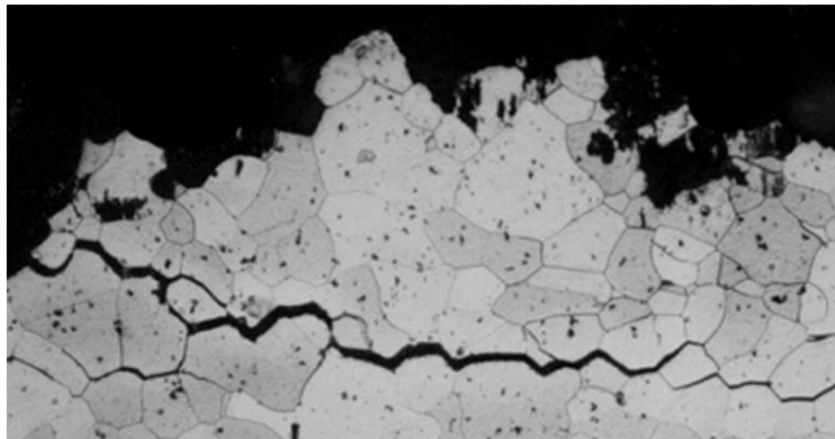
Figura 11 - Corrosão puntiforme em chapa metálica



Fonte: Conpleq, 2016

A corrosão intergranular ocorre, conforme Araujo (2012), nas interfaces entre as partes granulares da estrutura cristalina, levando à perda das propriedades mecânicas do material metálico. Esse tipo de corrosão pode resultar em fraturas quando o material está sujeito a esforços mecânicos. Um exemplo desse tipo de corrosão pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 - Corrosão intergranular

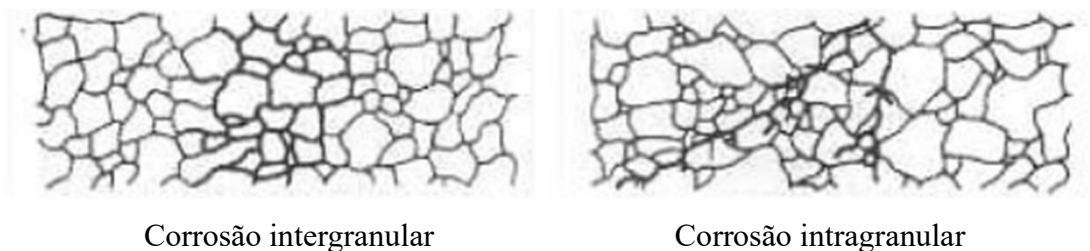


Fonte: Conpleq, 2016

Já a corrosão intragranular, conforme observado por Serra (2012), manifesta-se dentro dos próprios grãos da estrutura cristalina do material, resultante da difusão de espécies químicas nos grãos examinados. Esse processo pode levar à formação de fissuras que têm o potencial de progredir e causar falhas na estrutura.

Portanto, é evidente que a corrosão intergranular acontece entre os grãos do material, ao passo que a intragranular afeta o interior desses grãos, resultando em um impacto mais significativo na resistência desses materiais (Araujo, 2012). A distinção entre esses dois tipos pode ser visualizada na Figura 13.

Figura 13 - Esquematisação da corrosão intergranular e da intragranular



Fonte: Adaptado de Serra. 2012

2.2.1.2 Falhas de projeto

A vida útil de uma estrutura começa a ser delineada no processo de projeto e se consolida durante a execução, mas os princípios e conceitos do projeto devem se estender até a conclusão efetiva da estrutura. Em cada etapa desse processo, são enfrentados diversos desafios que demandam compreensão, planejamento e gestão contínua.

Projetar uma estrutura não se limita apenas a criar sua forma física, mas implica em gerenciar o desempenho dessa estrutura ao longo do tempo. Isso envolve controlar a degradação do desempenho ao longo do ciclo de vida da estrutura e prevenir falhas que possam comprometer sua funcionalidade e segurança (Sacchi; Souza, 2017).

Conforme abordado por Sacchi (2016), os problemas patológicos nas estruturas de aço, em sua maioria, têm sua origem na fase de projeto e execução. Podem ser resultado de má concepção do projeto, erros de cálculo, falta de compatibilidade entre os projetos envolvidos, falhas no sistema de montagem, escolha inadequada de perfis e espessuras de chapas, utilização de tipos de aço com resistências diferentes das previstas no projeto, ausência de um plano de controle de qualidade adequado nas etapas de projeto, fabricação e montagem.

De acordo com Sacchi (2016), os principais desafios em projetos de estruturas metálicas são evidenciados por meio de exemplos práticos, incluindo: inexperiência dos projetistas; incompatibilidade entre os projetos de estruturas metálicas e de concreto armado; falhas no gabarito de furação; ausência de detalhamento nas ligações; furos não

previstos no projeto, realizados durante a montagem; pontos de difícil acesso para aperto dos parafusos; espaços confinados para montagem das estruturas; peças volumosas e áreas restritas para a montagem da estrutura.

Essas anomalias resultam em desafios significativos durante a execução da obra. Muitas vezes, para atender aos prazos da construção, são implementadas soluções improvisadas no local, o que, em muitos casos, acaba acelerando o surgimento de outras patologias, como a corrosão (Sacchi, 2016).

Duas patologias derivadas de falhas em projeto segundo Cunha (2015), são as deformações excessivas, e as Flambagens locais e globais.

2.2.1.3 Deformações excessivas

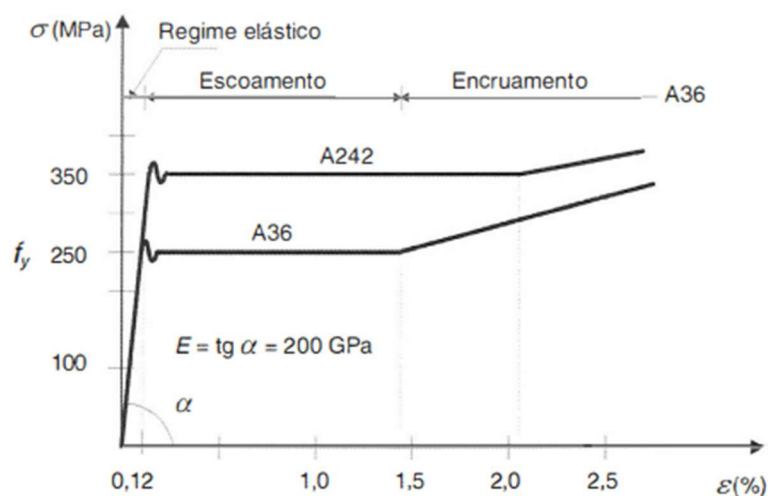
Cunha (2015), conceitua a deformação em uma estrutura metálica, quando à mudança nas dimensões ou na forma da estrutura devido à aplicação de cargas ou outros esforços. Essas deformações podem ocorrer de maneira elástica ou plástica, dependendo da natureza e magnitude das forças aplicadas e das propriedades do material metálico.

A deformação elástica é uma mudança temporária que ocorre quando uma carga é aplicada à estrutura, sendo que o material se deforma, mas retorna à sua forma original assim que a carga é removida, e a estrutura não sofre danos permanentes (Cunha, 2015).

A deformação plástica é uma deformação permanente que ocorre quando o material é submetido a cargas além de seu limite de elasticidade. O material não retorna completamente à sua forma original após a remoção da carga (Cunha, 2015).

Na figura 14, podemos observar em um método gráfico essa deformação do aço. O gráfico representa como o aço responde à aplicação de carga. Inicialmente, há uma região linear de mercúrio, onde a tensão e a deformação são diretamente proporcionais, seguindo a Lei de Hooke. O módulo de elasticidade (E) mede a rigidez do material nessa região. Após o limite de escoamento, o aço entra na fase de encruamento, onde a tensão aumenta com a deformação, tornando-se mais resistente, mas deformando-se permanentemente. O gráfico termina no ponto de fratura. Compreender essa curva é essencial para projetar estruturas com segurança, considerando como o aço se comporta sob carga (Cunha, 2015; Pfeil E Pfeil, 2009).

Figura 14 - Gráfico de elasticidade do aço



Fonte: Pfeil, Pfeil, 2009

As deformações excessivas em estruturas metálicas representam um problema sério que pode comprometer a segurança, a funcionalidade e a estabilidade da estrutura. Essas deformações podem ser resultado de diversos fatores, incluindo cargas excessivas, deficiências no projeto estrutural, erros na execução, falta de manutenção adequada, entre outros. As deformações excessivas podem se manifestar de várias formas, tais como deformações plásticas, flambagem, deslocamentos inaceitáveis em elementos estruturais, desvios de prumo, flechas excessivas em vigas e lajes, entre outros. Elas podem ser observadas visualmente ou medidas com instrumentos apropriados (Cunha, 2015; Pfeil E Pfeil, 2009).

2.2.1.4 Flambagem

Hibbeler (2016), define a flambagem como um fenômeno de instabilidade que ocorre em elementos estruturais submetidos a esforços de compressão, levando a uma deflexão lateral ou lateral-torsional. Pode ocorrer de duas formas principais: flambagem local e flambagem global, ambas apresentando sérios desafios para a segurança e estabilidade das estruturas.

A flambagem local (Figura 15) ocorre em uma parte específica ou localizada de um elemento estrutural, frequentemente nas extremidades ou em pontos de menor rigidez. A flambagem local é desencadeada por uma carga de compressão, que faz com que essa região da estrutura se curve ou envergue localmente. Isso é especialmente relevante em

barras ou colunas com defeitos locais, imperfeições ou menor espessura de parede (Hibbeler, 2016).

Figura 15 - Flambagem local em um perfil metálico



Fonte: Bedon, 2022

A flambagem global, como apresenta na Figura 16, por outro lado, afeta toda a estrutura ou uma parte significativa dela, e não está limitada a uma região específica. Pode ocorrer em colunas longas ou em vigas altas, por exemplo. A carga de compressão faz com que a estrutura se curve e deforme de forma global. A análise da flambagem global leva em consideração o comprimento total do elemento estrutural e as condições de apoio (Hibbeler, 2016).

Figura 16 - Flambagem Global - Montante de uma treliça

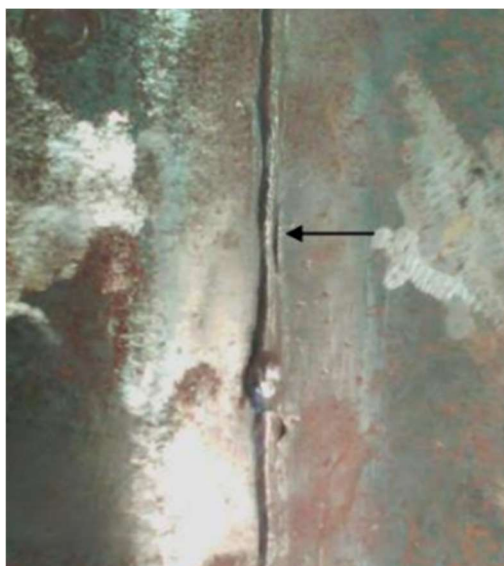


Fonte: Cardoso, 2007

2.2.1.5 Falhas na fabricação

Durante a fase de fabricação das estruturas metálicas, é crucial atentar para possíveis falhas habituais que podem surgir. Essas falhas estão muitas vezes relacionadas à soldagem, como mostrado na Figura 17, furação e aplicação de pintura nas estruturas. Além disso, erros de dimensionamento, ausência de elementos estruturais essenciais como conectores e contraventamentos para proporcionar rigidez, falta de ancoragem adequada entre os elementos construtivos, incompatibilidades com os elementos de fundação, problemas com a quantidade e qualidade dos parafusos de ligação, e deficiências no sistema de fundações são alguns dos desafios enfrentados (Peixoto, 2012).

Figura 17 - Falta de fusão na soldagem



Fonte: Netto, 2010

2.2.1.6 Falhas na montagem

Cada empreendimento apresenta suas próprias condições e particularidades, como a acessibilidade ao local, a topografia da área, a disponibilidade e características do canteiro de obras, o tipo de estrutura a ser montada, entre outros fatores. Por consequência, a etapa de montagem está sujeita a desafios específicos e únicos para cada obra (Sacchi, 2016 *apud* Raad Júnior, 1999).

Durante o processo de montagem de estruturas metálicas, várias anomalias podem surgir, impactando diretamente na qualidade e segurança da estrutura. Algumas dessas situações incluem: falta de capacitação da mão de obra de montagem, falta de cuidado no

manuseio, transporte e içamento das peças, excesso de confiança e falta de observância ao detalhamento do projeto, erro de locação da estrutura, soldas realizadas no canteiro sem os devidos cuidados, adaptações realizadas na obra, como furos e recortes, parafusos entortados ou colocados de maneira forçada.

2.2.1.7 Falhas nas ligações metálicas

Segundo Castro (1999), nas ligações soldadas, os problemas estão principalmente relacionados ao próprio meio de ligação, ou seja, ao cordão de solda durante sua execução. As falhas nas nesse tipo de ligação, frequentemente surgem de erros durante a execução do processo de montagem da estrutura. Entre as principais anomalias derivadas da soldagem são: Porosidade, Falta de Penetração, Trincas, Inclusão de escória, sobreposições inadequadas e falta de fusão.

- **Porosidade:** consiste na formação de cavidades gasosas (1 mm) ou formações vermiculares (10 mm), que têm por consequência a descontinuidade da solda e a redução de sua área efetiva. Esta patologia pode ocorrer com qualquer tipo de equipamento de soldagem por arco elétrico e sua ocorrência geralmente está associada à inabilidade ou negligência do soldador
- **Falta de penetração:** ocorre quando há falha em fundir completamente a raiz da junta, resultando em soldagem incompleta, fusão inadequada e possível formação de escória na raiz. Esse defeito é inaceitável em juntas que enfrentam solicitações significativas e têm alta responsabilidade estrutural.
- **Trincas:** são consideradas a patologia mais grave em juntas soldadas devido à sua capacidade de concentrar tensões. Elas resultam da incapacidade do material, devido à presença de pontos de fragilidade, em resistir a tensões de tração, sejam elas causadas por tensões transitórias, residuais ou externas. Essas trincas podem se desenvolver desde o processo de soldagem até mesmo durante o uso contínuo da estrutura.
- **Inclusão de escória:** falha que geralmente resulta da negligência ou falta de habilidade do soldador, levando ao enfraquecimento do cordão de solda.

Essa anomalia é caracterizada pela presença de partículas de óxidos ou sólidos não metálicos que ficam aprisionados entre os passes de solda ou entre a solda e o metal base. Sua ocorrência é frequentemente observada em processos de soldagem com eletrodo revestido, devido à limpeza inadequada ou ineficaz da escória formada durante o processo.

- **Superposição:** é quando há um excesso de material de solda sobre o metal base, sem que esse excesso esteja fundido ou incorporado a ele. Isso resulta em um transbordamento do material de adição sobre o metal base sem que ocorra fusão entre eles. O grande problema com esse tipo de defeito é que os locais onde ocorre se tornam pontos preferenciais para o surgimento de trincas e corrosão. As principais causas são: corrente demasiadamente baixa; ângulo inadequado do eletrodo; manipulação inadequada do eletrodo.
- **Falta de fusão:** é caracterizada pela ausência de união por fusão entre os passes de solda ou entre a solda e o metal base, resultando em uma solda fraca. Nessa região afetada, há uma redução na seção efetiva da solda para resistir aos esforços solicitantes, além de uma concentração severa de tensões, que pode facilitar o início de trincas.

Salmon (2009), define que as patologias em ligações parafusadas podem ser agrupadas em três tipos básicos: colapso da ligação, problemas de corrosão e detalhamento incorreto. Em todos os casos, o procedimento a ser seguido é a recuperação da ligação, com uma avaliação cuidadosa de sua resistência.

- **Corrosão:** os problemas estão principalmente ligados à presença de fendas na ligação que facilitam a entrada de umidade em seu interior. Essa patologia pode ser reduzida através de medidas de proteção da estrutura, como o revestimento da ligação com argamassa, a aplicação de tintas anticorrosivas ou a utilização de selantes nas bordas das fendas.
- **Detalhamento inadequado:** são os mais comuns de ocorrer em ligações parafusadas, especialmente quando não são empregados recursos de modelagem. Esses problemas podem surgir tanto durante o projeto quanto durante a fabricação das peças. As ligações parafusadas demandam um alto

nível de precisão para garantir o perfeito encaixe entre os diversos elementos estruturais. Os problemas mais frequentes incluem: dificuldade de aperto; gabarito errado; erro no cálculo do comprimento dos elementos; diâmetro errado do furo ou do parafuso; parafuso incompatível com a ligação; erros na locação dos furos durante a fabricação; falta de aperto ou aperto inadequado de parafusos.

- **Colapso da ligação:** englobam as seguintes situações: ruína por cisalhamento do fuste do parafuso; ruína por rasgamento da chapa junto ao parafuso; ruína por esmagamento/estriccionamento do fuste do parafuso; ruína por esmagamento da chapa; ruína por tensionamento axial do fuste do parafuso; ruína por dobramento do parafuso e ruína por rasgamento global da chapa na ligação.

2.2.1.8 Falhas na pintura

A pintura industrial representa uma técnica amplamente empregada na proteção anticorrosiva, visando aplicar revestimentos com essa finalidade por meio da pintura. É uma das abordagens mais prevalentes para proteger estruturas de aço. Os defeitos que surgem nas pinturas são geralmente detectados por inspeção visual. A seguir, no Quadro 3, podemos observar alguns defeitos e suas causas que são frequentes em pinturas nas estruturas metálicas que são encontrados na prática (Sacchi, 2016).

Quadro 2 - Falhas e defeitos nas pinturas - causas

Descrição dos tipos de falhas ou defeitos	Causas
Impregnação (lixa): Superfície da tinta apresenta-se áspera como lixa.	Abrasivos e poeiras levados pelo vento para a tinta ainda úmida. Pintura sobre superfícies contaminadas com abrasivos e poeira. Aplicação de tintas com rolo ou trincha contaminados com pelos, areia, poeira ou abrasivos

Poros (porosidade): A película de tinta apresenta descontinuidades invisíveis a olho nu ou não.	Superfície contaminada. Retenção de solventes ou ar no filme de tinta. Atomização deficiente. Temperatura do substrato muito alta. Água no ar de atomização da pistola
Pele ou casca de laranja: A pintura apresenta-se rugosa semelhante a uma casca de laranja.	Ocorre nas aplicações com pistola devido: • à proximidade da superfície. • à pressão baixa na pistola. • à um solvente muito volátil • à tinta muito viscosa. • à umidade no solvente. Existe um bico inadequado.
Pulverização seca (<i>over spray</i>): A superfície da tinta apresenta um aspecto fosco e áspero, porém sem o desprendimento do pó	Solvente muito volátil. Pistola muito distante da superfície ou com pressão excessiva. Temperatura ambiente muito elevada.
Empolamento (bolhas): A película de tinta apresenta-se com saliências semiesféricas que variam de tamanho e intensidade.	Retenção de solventes. Processo corrosivo acelerado. Efeito de eletrosmose. Contaminação do ar e/ou dos equipamentos de aplicação com sal, óleo, água e outros. Incompatibilidade entre demãos de tintas. Umidade relativa do ar elevada. Superfície fria.

Enrugamento: A película de tinta apresenta-se irregular, com encolhimento e/ou ondulação da película.	Espessura da película muito alta. Solventes muito voláteis. Superfície fria. Não atendimento dos intervalos entre demãos.
Sangramento: A película apresenta-se manchada pelo afloramento de substâncias ou pigmento da cor da demão que está abaixo, devido à solubilidade da demão inferior.	Cores claras sobre cores escuras, principalmente sobre o vermelho ou marrom. O solvente do novo acabamento dissolve a tinta antiga. A ação de solventes fortes da tinta de acabamento provoca a dissolução da tinta de fundo, manchando o acabamento. Aplicação de tintas sobre tintas à base de alcatrão.
Oxidação Precoce: A superfície pintada apresenta-se com pontos de corrosão logo após a aplicação da primeira ou das primeiras demãos.	Rugosidade excessiva (picos expostos). Película muito fina em meios muito agressivos.

Fonte: Adaptado de Nunes e Lobo, 2014

2.3. ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO E REPARO DAS PATOLOGIAS

A consideração do ambiente e a aplicação de práticas adequadas de projeto, detalhamento, cálculos e construção são vitais para garantir a eficácia e durabilidade das estruturas metálicas. Além disso, a manutenção adequada ao longo da vida útil da estrutura é essencial para preservar sua integridade e garantir que cumpra sua função com segurança e eficiência ao longo do tempo. É um ciclo contínuo de atenção e cuidado, desde a concepção até a manutenção, visando a segurança e a sustentabilidade das estruturas (Oliveira; Viana; Rufino, 2019). A seguir serão abordadas algumas estratégias disponíveis de mitigação e reparo das patologias abordadas durante esse trabalho.

2.3.1. Corrosão

2.3.1.1 Prevenção

Conforme destacado por Rezende (2018), a prevenção começa na fase de projeto, incorporando elementos como vinculações, apoios e inércias de perfis que evitem o acúmulo de água das chuvas e sujeira por períodos prolongados. É também viabilizada por meio de inspeções regulares e limpeza.

Por outro lado, Pannoni (2017) propõe estratégias que incluem a seleção criteriosa de materiais com baixa taxa de corrosão para o ambiente em questão, ajustes ambientais como a adição de agentes químicos inibidores de corrosão, modificações no potencial eletroquímico para conferir imunidade à corrosão e a aplicação de revestimentos apropriados sobre as superfícies metálicas.

2.3.1.2 Pintura e revestimento

O revestimento por pintura (Figura 18) é um método de proteção anticorrosão que oferece resultados superiores quando aplicado corretamente. Além de reduzir custos, ele também contribui para o aumento da segurança operacional. A eficácia de um sistema de pintura durável está intrinsecamente ligada à qualidade da preparação da superfície, à seleção apropriada das tintas e à aplicação precisa das espessuras necessárias (Cardoso, 2013).

Figura 18 - Pintura de um perfil metálico



Fonte: Tornado maquinas, 2019

Os dois principais objetivos do preparo da superfície são: limpeza superficial, visando a remoção de impurezas como poeira, gorduras, óleos e outros elementos que podem impedir uma adesão eficaz da tinta ao aço, e a Ancoragem mecânica, que desempenha um papel fundamental ao proporcionar maior aderência através da criação de uma rugosidade superficial, resultando em uma área de contato mais extensa entre o metal e a tinta, reforçando assim a durabilidade da proteção (Pannoni, 2017).

A norma ISO 8501-124 de 2007 é a referência para o adequado preparo da superfície do aço, estabelece os padrões para a aparência da superfície do aço antes e após processos como limpeza manual, limpeza motorizada, jateamento abrasivo, entre outros. (ISO 8501, 2007).

Antes de realizar qualquer processo mecânico de limpeza, é fundamental lavar a superfície com água e tensoativos neutros, utilizando uma escova de nylon. Em seguida, a secagem adequada, seja ao ar ou com ar comprimido limpo e seco, é crucial, pois o escovamento e o jateamento por si só não removem óleos, gorduras e sais (ISO 8501, 2007).

O jateamento abrasivo é um procedimento amplamente utilizado na fabricação de estruturas metálicas, consistindo no processo de impulsionar partículas, geralmente abrasivas, em alta velocidade contra a superfície a ser limpa. Esse método é altamente eficaz para eliminar todas as impurezas superficiais, possibilitando o contato adequado do revestimento com o substrato (Promar, 2019).

Além disso, o jateamento abrasivo cria uma rugosidade na superfície, o que proporciona a ancoragem ideal do revestimento. Diferentes tipos de abrasivos podem ser empregados nesse processo. Exemplos desses abrasivos incluem granalha de aço, alumina sinterizada, vidro, ferro fundido e escórias variadas. A seleção do abrasivo apropriado depende das características da superfície a ser preparada e das exigências do revestimento a ser aplicado. É um passo crucial no processo de preparo da superfície para garantir a aderência e a eficácia do revestimento anticorrosivo (Pannoni, 2017).

A tinta é uma composição complexa que possui três principais componentes: veículo, pigmentos e solventes. O veículo é composto pela resina e pelo solvente, sendo a resina responsável por proporcionar impermeabilidade, continuidade, flexibilidade e aderência entre a tinta e o substrato, é dissolvida pelo solvente. Por sua vez, os pigmentos são partículas finamente divididas, podendo ser orgânicos ou inorgânicos, que conferem cor, opacidade, coesão, inibição do processo corrosivo, além de contribuir para a consistência, dureza e resistência da película da tinta (Abrafati, 2005).

As tintas de fundo são categorizadas com base no principal pigmento anticorrosivo que contêm, enquanto as tintas intermediárias e de acabamento são classificadas de acordo com o tipo de resina utilizada. De acordo com Pannoni (2017), os tipos mais relevantes de tintas para a proteção do aço carbono são:

- As tintas alquídicas são esmaltes sintéticos monocomponentes que secam ao ar. São amplamente utilizadas em ambientes internos secos e abrigados, bem como em ambientes externos pouco poluídos. No entanto, devido às resinas serem saponificáveis, essas tintas não são adequadas para ambientes sujeitos a molhamento constante ou imersão em água, pois podem perder suas propriedades e durabilidade nessas condições.
- As tintas epoxídicas são formuladas com dois componentes e secam ao ar. São conhecidas por sua alta impermeabilidade e resistência a uma ampla gama de agentes químicos, superando as tintas alquídicas nesse aspecto. Elas resistem à umidade, imersão em água doce ou salgada, lubrificantes, combustíveis e diversos produtos químicos. No entanto, é importante mencionar que as epoxídicas à base de água oferecem resistência semelhante às formuladas com solventes orgânicos, mas não são recomendadas para exposição prolongada ao intemperismo, pois podem desbotar e perder o brilho devido à ação do sol e da chuva (processo conhecido como calcinação).
- As tintas poliuretânicas são tintas bicomponentes que se mostram compatíveis com primers epoxídicos. Elas se destacam por sua resistência ao intemperismo, mantendo a cor e o brilho originais por muitos anos, o que as torna ideais para o acabamento de estruturas expostas. Essa durabilidade e resistência às condições ambientais as tornam uma escolha popular para aplicações em ambientes externos.
- As tintas acrílicas são disponíveis em versões monocomponentes à base de solventes orgânicos ou à base de água. São amplamente indicadas para a pintura de acabamento, pois apresentam considerável resistência à ação direta do sol. Sua durabilidade e capacidade de manter a integridade frente às condições de exposição solar fazem delas uma escolha popular para finalização em diferentes tipos de superfícies.

As tintas de fundo desempenham um papel crucial na proteção contra a corrosão, pois contêm pigmentos inibidores de corrosão. Essas tintas são aplicadas diretamente sobre a superfície metálica limpa, promovendo aderência do esquema de revestimento ao substrato, fundamental para a proteção dos aços estruturais.

Em contrapartida, as tintas intermediárias, embora não possuam as propriedades anticorrosivas das tintas de fundo, contribuem para a proteção ao fornecer espessura ao sistema de pintura utilizado. A espessura da camada seca é um fator determinante para a vida útil do revestimento, e aplicar várias demãos até atingir a espessura adequada é uma prática comum para garantir uma proteção eficaz.

Conforme destacado por Pannoni (2017), os aditivos desempenham um papel fundamental ao melhorar as propriedades das tintas. Por conseguinte, um mesmo tipo de aço, quando pintado com diferentes tipos de tintas, pode apresentar comportamentos bastante distintos quando exposto ao mesmo meio agressivo. Isso ocorre devido aos variados mecanismos de ação das tintas no que concerne à proteção contra a corrosão. Entre esses mecanismos, é listado:

- Proteção por barreira: se baseia na impermeabilidade da tinta, que deve ser aplicada em espessuras significativas. Tintas de alta espessura, conhecidas como "*high build*" (HB), oferecem economia de mão de obra durante a aplicação. Além disso, tintas betuminosas e aquelas contendo alumínio são eficazes na proteção por barreira. No entanto, é importante ressaltar que esse mecanismo apresenta um inconveniente: se a película de tinta sofrer danos, a corrosão pode se propagar sob ela devido à aeração diferencial. Portanto, recomenda-se o uso de tintas de fundo que possibilitem o desenvolvimento de mecanismos de proteção catódica ou anódica, complementando assim a proteção oferecida pela barreira inicial.
- Proteção anódica: é um mecanismo em que a corrosão é inibida através da dissolução do pigmento anticorrosivo ou pela ação oxidante. Nesse processo, o pigmento anticorrosivo presente na tinta é dissolvido, evitando a corrosão do substrato metálico.
- Proteção catódica é um mecanismo de proteção anticorrosiva onde ocorre a formação de pares galvânicos entre o aço carbono e partículas de zinco presentes na tinta. Este mecanismo é frequentemente encontrado em tintas ricas em zinco. A presença de zinco na película de tinta é essencial para

esse tipo de proteção, sendo recomendado um teor mínimo de 85% de zinco na película seca. O contato elétrico é um elemento crucial para manter e efetivar essa forma de proteção contra a corrosão.

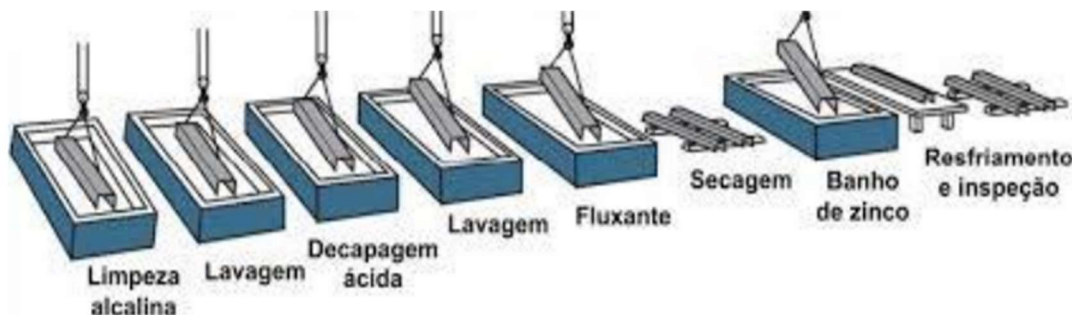
De acordo com Cardoso (2013), é fundamental compreender que, em um sistema de pintura, a durabilidade e eficácia da proteção ao aço estão diretamente relacionadas à qualidade do preparo da superfície e à espessura do revestimento. Portanto, é crucial levar em consideração diversos aspectos, como o ambiente em que a estrutura estará inserida, as características do substrato, a correta preparação da superfície, a seleção apropriada das tintas, a sequência correta de aplicação, o número adequado de demãos, a espessura ideal do revestimento, os métodos de aplicação e as condições às quais a superfície estará exposta durante sua vida útil.

2.3.1.3 Galvanização

O processo de galvanização a quente, também chamado de galvanização a fogo, é uma técnica altamente eficaz e amplamente adotada para proteger estruturas metálicas contra a corrosão. Esse processo envolve a imersão da peça de aço ou ferro fundido em um banho de zinco fundido em temperaturas elevadas. Durante essa imersão, uma camada de revestimento de zinco é aplicada sobre a superfície do metal, conferindo uma excelente proteção contra a corrosão, especialmente em ambientes adversos. A simplicidade e eficácia desse método contribuem significativamente para sua ampla utilização na indústria (Gentil, 2011).

Conforme abordado por Pannoni (2017), o processo (Figura 19) opera da seguinte maneira: inicialmente, procede-se à limpeza da superfície metálica por meio de processos químicos como desengraxe, visando eliminar todas as substâncias inorgânicas e gordurosas presentes na peça. Em seguida, realiza-se a decapagem para remover a carepa de laminação e a ferrugem. Posteriormente, a superfície de aço é imersa em um fluxante, assegurando um eficaz contato entre o aço e o zinco líquido durante a etapa de galvanização.

Figura 19 - Etapas da galvanização por imersão a quente



Fonte: Pannoni, 2017

O componente é submerso em um banho de zinco líquido, mantido a uma temperatura próxima de 450 °C. Nesse ambiente, ocorre a reação entre o zinco e o aço, formando uma série de ligas Zn/Fe que aderem de forma sólida à superfície do aço. Ao retirar o componente do banho, uma camada de zinco relativamente puro é depositada sobre a última camada de liga Zn/Fe.

Conforme o zinco se solidifica, adquire um brilho metálico característico. A espessura do revestimento está diretamente relacionada ao teor de silício do aço e ao tempo de imersão na cuba, sendo também influenciada por diversos fatores, tais como as dimensões e espessura do componente, bem como o tipo de preparo de superfície realizado anteriormente.

Em muitas aplicações a galvanização por imersão a quente é empregada sem necessidade de proteção adicional, como a pintura. No entanto, para garantir uma durabilidade adicional, ou quando existem requisitos estéticos específicos, pode-se optar pela aplicação de uma camada de pintura sobre o revestimento galvanizado. Essa combinação de revestimento metálico com sistema de pintura é conhecida como "sistema duplex" (Gentil, 2011).

2.3.2. Falhas de projeto

A seguir, serão discutidas estratégias para minimizar e corrigir as principais manifestações patológicas decorrentes de inadequações no projeto, conforme Sacchi (2016) e *apud* Raad Júnior (1999).

- **Revisão e Aprimoramento do Projeto:** é fundamental para identificar possíveis falhas que poderiam levar a patologias em estruturas metálicas,

além de corrigir as inadequações de cálculo, dimensionamento e detalhamento.

- **Integração dos Projetos Estruturais:** a integração adequada dos projetos de estruturas metálicas com outras alas da obra, como fundações e arquitetura, é crucial para evitar incompatibilidades e possíveis patologias.
- **Manutenção Preventiva:** a implementar práticas de manutenção preventiva, como inspeções regulares e cuidados específicos, pode ajudar a mitigar problemas decorrentes de falhas de projeto.
- **Técnicas de Reforço:** em situações onde há áreas enfraquecidas devido a falhas no projeto, técnicas de reforço estrutural podem ser aplicadas para corrigir e fortalecer a estrutura.
- **Considerações Hidrológicas:** ao projetar estruturas, é vital considerar aspectos hidrológicos, como drenagem eficiente, para evitar acúmulo de água que pode resultar em danos à estrutura.
- **Capacitação Profissional:** garantir que os profissionais envolvidos na elaboração do projeto, possuam a capacitação e o treinamento adequados é essencial para prevenir falhas de projeto.

2.3.3. Falhas na fabricação

Segundo Sacchi, (2016), as soluções para mitigar e reparar essas anomalias causadas na fabricação das peças que vão compor a estrutura metálicas são: o fabricante precisa estabelecer métodos precisos para garantir que todo o trabalho seja executado em conformidade com as exigências estabelecidas. Esse controle de qualidade começa desde a seleção cuidadosa dos fornecedores, garantindo a rastreabilidade da matéria-prima, passando pelo controle de qualidade durante a fabricação e montagem, até o uso de máquinas e ferramentas adequadas para cada aplicação. Além disso, é essencial contar com calibradores aferidos, planos de inspeção bem elaborados e funcionários qualificados e certificados para desempenhar suas funções em todas as fases do processo de fabricação.

2.3.4. Falhas na montagem

Para evitar e reparar as anomalias causadas na montagem das estruturas metálicas, é importante desenvolver um plano de montagem abrangente, que contemple desenhos e

diagramas detalhados, tanto para a montagem geral quanto para os subconjuntos da estrutura, como treliças. Esse plano deve incluir a programação de embarque, uma lista precisa de expedição que defina a composição de cada subconjunto e o modo de envio para a obra, além de um cronograma bem definido com prazos claros (Sacchi, 2016 apud Raad Júnior, 1999).

2.3.5. Falhas nas ligações metálicas

Segundo Peixoto (2012), a maioria das falhas que afetam as construções metálicas, especialmente relacionadas aos elementos de ligação, é atribuída a deficiências na fase de projeto. Investir em cuidados durante essa etapa não apenas é menos dispendioso, mas também altamente eficaz na redução das patologias e, conseqüentemente, na prolongação da vida útil da estrutura. Para mitigar as patologias em ligações metálicas, algumas medidas podem ser adotadas, como: projeto detalhado e preciso; seleção adequada de materiais; inspeções regulares; treinamento e qualificação dos trabalhadores; controle de qualidade; utilização de tecnologias avançadas e realizar manutenção preventiva.

Para reparar patologias em ligações metálicas, é essencial seguir algumas diretrizes, conforme Salmon (2009):

- **Identificação da causa raiz:** antes de iniciar qualquer reparo, é crucial identificar a causa subjacente da patologia para evitar que o problema se repita após o reparo.
- **Preparação adequada da superfície:** remova qualquer material solto, contaminante ou corrosão da área afetada para garantir uma boa adesão do reparo.
- **Seleção do método de reparo:** escolha o método de reparo mais adequado com base na natureza e na gravidade da patologia. Isso pode incluir soldagem de reparo, substituição de componentes danificados, tratamento anticorrosivo, entre outros.
- **Execução cuidadosa do reparo:** realize o reparo com atenção aos detalhes e seguindo as especificações técnicas e normativas aplicáveis. Certifique-se de seguir os procedimentos de segurança durante todo o processo.

2.3.6. Falhas na pintura

A seguir, no Quadro 4, serão apresentadas as correções dos defeitos e falhas no processo de pintura que foram abordados no tópico das principais patologias em estruturas metálicas, como proposta de mitigar e reparar tais patologias.

Quadro 3 - Falhas e defeitos nas pinturas – Soluções

Descrição dos tipos de falhas ou defeitos	Soluções
Impregnação (lixa): Superfície da tinta apresenta-se áspera como lixa.	Proteger a área a ser pintada. Remover a tinta ainda úmida com panos umedecidos em solventes. Lixar a pintura contaminada e aplicar nova demão.
Poros (porosidade): A película de tinta apresenta descontinuidades invisíveis a olho nu ou não.	Lixar a superfície e aplicar nova demão, ou retirar toda a pintura e fazer nova aplicação.
Pele ou casca de laranja: A pintura apresenta-se rugosa semelhante a uma casca de laranja.	Ajustar as condições de aplicação. Lixar e aplicar novas demãos.
Pulverização seca (<i>over spray</i>): A superfície da tinta apresenta um aspecto fosco e áspero, porém sem o desprendimento do pó	Aplicar um pano umedecido com solvente antes da secagem da tinta. Após a secagem, lixar e aplicar nova demão, ajustando a distância da pistola à superfície e/ou utilizando um solvente menos volátil.
Empolamento (bolhas): A película de tinta apresenta-se com saliências semiesféricas que variam de tamanho e intensidade.	Após secar, lixar as partes afetadas, preparar a superfície e repintar conforme a especificação técnica. A depender da extensão do problema, deve-se lixar e aplicar novas demãos.

Enrugamento: A película de tinta apresenta-se irregular, com encolhimento e/ou ondulação da película.	Após secar, lixar as partes afetadas, preparar a superfície e repintar conforme a especificação técnica. A depender da extensão do problema, deve-se remover ou lixar a pintura a aplicar novas demãos.
Sangramento: A película apresenta-se manchada pelo afloramento de substâncias ou pigmento da cor da demão que está abaixo, devido à solubilidade da demão inferior.	Dar uma demão de selagem. Consultar o fabricante quanto a recomendação de produtos
Oxidação Precoce: A superfície pintada apresenta-se com pontos de corrosão logo após a aplicação da primeira ou das primeiras demãos.	Controlar a rugosidade. Aplicar demãos mais espessas em ambientes mais agressivos. Diminuir, dentro dos limites, os intervalos entre demãos para reduzir os riscos de corrosão precoce.

Fonte: Adaptado de Nunes e Lobo, 2014

3. METODOLOGIA

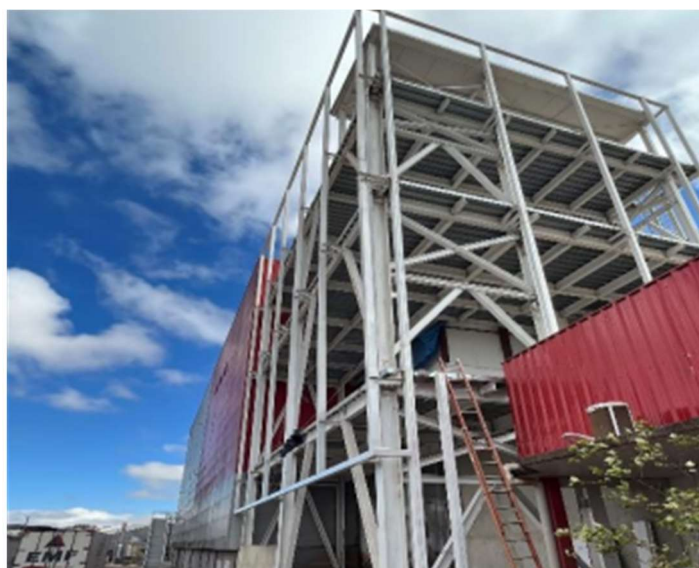
O estudo adota uma abordagem exploratória por meio de pesquisa de campo realizada na cidade de Anápolis, Goiás. Com o objetivo de identificar as principais manifestações patológicas em estruturas metálicas, foram exploradas três construções, visto que não foi viável encontrar todas as patologias em uma única edificação. Utilizou-se o método de amostragem teórica para estabelecer conexões entre os dados e informações obtidos, baseando-se em análises de estudos anteriores para aprofundar o entendimento sobre o tema em questão. Conforme destacado pela perspectiva de Gasque (2007), a amostragem teórica é empregada para coletar e organizar dados de modo a oferecer uma base teórica sólida para a pesquisa.

A primeira fase teve início com a elaboração do cronograma de atividades, estabelecendo as diretrizes para o acompanhamento e desenvolvimento do projeto de acordo com os prazos e metas previamente definidos. De acordo com o planejamento, a etapa subsequente compreendeu a coleta de dados de fontes documentais relacionadas a estruturas metálicas. Após a compilação dessas informações, procedeu-se à busca por dados relativos às principais patologias em estruturas metálicas, bem como às estratégias de mitigação e reparo.

Para a segunda fase, foi conduzida uma pesquisa de campo ao longo de 12 semanas. Durante esse período, foram realizadas visitas às estruturas para analisar todas as anomalias e suas possíveis causas. Durante essas visitas, foram conduzidas inspeções visuais abrangentes, levando em consideração o ambiente circundante e todas as características relevantes, bem como aspectos gerais da condição das construções. Adicionalmente, foi realizado um registro fotográfico *in loco* de cada patologia identificada, com o objetivo de criar um banco de informações que contribuiu para uma descrição visual detalhada, aprimorando a compreensão dos processos patológicos que impactam as edificações em estudo.

Nas Figuras 20, 21 e 22, são apresentadas as obras analisadas na pesquisa de campo. Para preservar a confidencialidade das partes envolvidas, tanto no âmbito da administração e construção, quanto da empresa responsável pela montagem e fabricação das estruturas, seus nomes serão resguardados ao longo da pesquisa. Para esse fim, as obras serão referidas como caso um, caso dois e caso três, respectivamente.

Figura 20 – Caso 1



Fonte: Autor, 2023

O primeiro caso, é uma estrutura de um novo prédio de uma empresa farmacêutica com a localização no Distrito Agroindustrial de Anápolis. Através de um laudo realizado logo após a montagem da estrutura, fornecido pela empresa para o presente estudo, foi possível identificar as seguintes patologias: falhas na montagem, na pintura, e de projeto. No laudo, não foram apresentadas formas de reparo das anomalias. No presente trabalho, as patologias foram classificadas e foram apresentadas formas de mitigação e reparo dessas patologias. O nome da empresa responsável pelo laudo também foi resguardado.

Figura 21 – Caso 2



Fonte: Autor, 2023

Figura 22 – Caso 3



Fonte: Autor, 2023

Já os casos 1 e 2, são obras públicas, destinadas para os feirantes dos bairros, para a realização de feiras. Os galpões, construídos com estrutura metálica, apresentaram as anomalias que foram abordadas nesse trabalho, sendo assim sua escolha justificada, posteriormente uma análise visual, com estratégias de correção do problema.

Os galpões foram selecionados devido à sua acessibilidade. A indústria farmacêutica, por ter fornecido o laudo, também selecionada para o estudo do presente trabalho.

Em sequência, os resultados são apresentados e discutidos em conjunto com estudos relacionados ao tema, a fim de oferecer possíveis formas de mitigação e reparo para as situações identificadas. Isto visa assegurar que as edificações desempenhem consistentemente seu papel, proporcionando um alto nível de conforto, segurança e condições adequadas de utilização para seus ocupantes de forma geral.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a inspeção das obras, foram coletados dados e conduzida uma análise das estruturas metálicas das edificações, visando atingir os objetivos da pesquisa. No entanto, no caso da estrutura da empresa farmacêutica, o acesso a todas as falhas era inviável, sendo necessário recorrer ao laudo como fonte de referência.

4.1. CASO 1 – LAUDO DO CASO 1

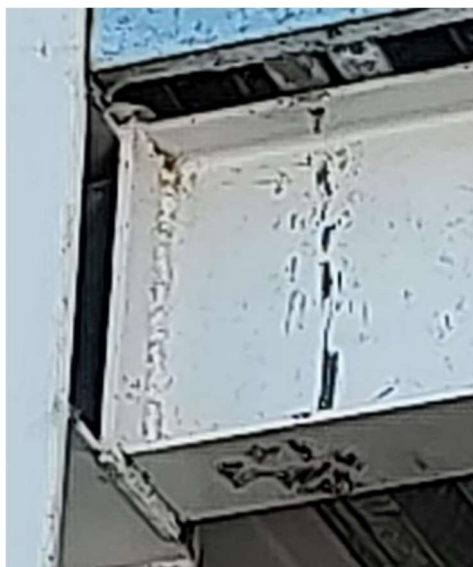
Para o estudo de caso desta obra, foi utilizado um laudo técnico fornecido pela empresa logo após a montagem da estrutura do prédio, em julho de 2023. O laudo apenas apresentou as patologias encontradas, sem informações de como mitigar ou reparar as anomalias.

No laudo foram apresentadas todas as patologias que surgiram após a montagem da estrutura, sendo elas: falhas na pintura, falhas na montagem e falhas de projeto.

4.1.1. Falhas na pintura

Falhas na pintura da estrutura foi uma das patologias encontradas através do laudo, sendo nitidamente visível nas Figuras 23 e 24, sendo classificada como uma patologia transmitida, pois a mesma surgiu devido a falhas na fabricação e montagem.

Figura 23 - Falhas na pintura - Enrugamento - Porosidade – impregnação



Fonte: Laudo técnico, 2023

Figura 24 - Falhas na pintura – Porosidade – Impregnação



Fonte: Laudo técnico, 2023

Conforme observado nas figuras, os tipos de falhas na pintura identificadas são impregnação, enrugamento e porosidade.

Causa: Segundo Nunes e Lobo (2014), as causas que originaram essa anomalia podem incluir:

- **Impregnação:** causado por aplicação excessiva de tinta, baixa viscosidade da tinta, ou porosidade do metal. Outra causa potencial é a falta de preparação adequada da estrutura por meio de limpeza química ou mecânica antes da aplicação da pintura, conforme especificado na norma ISO 8501-124.
- **Enrugamento:** isso pode ser causado por aplicação excessiva de tinta, secagem rápida demais, alta umidade relativa do ar, ou incompatibilidade entre camadas de tinta. Outra causa potencial é a falta de preparação adequada da estrutura por meio de limpeza química ou mecânica antes da aplicação da pintura, conforme especificado na norma ISO 8501-124.
- **Porosidade:** isso pode ser causado por contaminantes na superfície do metal, aplicação inadequada da tinta, presença de umidade ou solventes na

superfície durante a aplicação, ou reações químicas indesejadas entre a tinta e o metal. Outra causa potencial é a falta de preparação adequada da estrutura por meio de limpeza química ou mecânica antes da aplicação da pintura, conforme especificado na norma ISO 8501-124.

Estratégias de reparo: Conforme Nunes e Lobo (2014) afirmam, a correção dessas irregularidades requer:

- **Impregnação:** o reparo pode envolver a remoção da tinta afetada por meio de métodos como jateamento abrasivo, escovação mecânica ou solventes químicos. Após a remoção da tinta, a superfície deve ser adequadamente preparada e limpa antes da aplicação de uma nova camada de tinta com a espessura correta.
- **Enrugamento:** para corrigir o enrugamento, a superfície afetada pode ser lixada suavemente para remover as rugas ou ondulações. Em seguida, a área deve ser preparada e limpa conforme as especificações da pintura. Dependendo da gravidade do enrugamento, pode ser necessário aplicar uma camada de primer nivelador antes de aplicar a nova camada de tinta para garantir uma superfície lisa e uniforme.
- **Porosidade:** para corrigir porosidade na superfície da pintura, a área afetada deve ser lixada suavemente para remover os poros e garantir uma superfície uniforme. Em seguida, a área deve ser limpa e preparada adequadamente para receber uma nova camada de tinta. Dependendo da gravidade da porosidade, pode ser necessário aplicar uma camada de primer selante ou preenchedor para selar os poros e proporcionar uma base sólida para a nova camada de tinta.

Estratégias de mitigação: De acordo com Nunes e Lobo (2014), a mitigação dessas irregularidades demanda:

- **Preparação adequada da superfície:** antes da aplicação da tinta, é essencial preparar adequadamente a superfície metálica por meio de limpeza química ou mecânica, conforme especificado nas normas

relevantes, como a ISO 8501-124. Isso inclui a remoção de contaminantes, como óleos, graxas, ferrugem e resíduos de pintura antiga, para garantir uma adesão adequada da tinta e prevenir a impregnação e porosidade.

- **Controle da espessura da camada de tinta:** evite aplicar uma camada de tinta excessivamente espessa, pois isso pode levar à impregnação e ao enrugamento. Siga as recomendações do fabricante da tinta quanto à espessura adequada da camada de tinta e utilize métodos de aplicação adequados para garantir uma cobertura uniforme.
- **Controle das condições ambientais:** mantenha as condições ambientais ideais durante o processo de pintura, incluindo temperatura e umidade relativa do ar. Condições extremas de temperatura ou umidade podem contribuir para o enrugamento e porosidade da tinta. Além disso, evite aplicar tinta em condições de vento forte, pois isso pode interferir na aplicação e secagem adequadas da tinta.
- **Seleção adequada de materiais:** utilize materiais de pintura de alta qualidade e compatíveis com o substrato metálico para evitar problemas de aderência e compatibilidade que podem levar à impregnação, enrugamento e porosidade da tinta.
- **Inspeção e manutenção regulares:** realize inspeções regulares das estruturas metálicas pintadas para identificar precocemente quaisquer problemas de pintura, como impregnação, enrugamento ou porosidade. Realize manutenção preventiva, como retoques de pintura, quando necessário, para garantir a integridade do revestimento ao longo do tempo.

4.1.2. Falhas na montagem

As ligações das peças metálicas foram realizadas por meio de soldagem, e após a montagem da estrutura no local, foram observadas irregularidades. Essas anomalias foram registradas e classificadas como falhas na montagem, como evidenciado nas figuras 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32 abaixo.

Essa falha foi categorizada como uma patologia transmitida, pois os defeitos surgiram devido à falta de conhecimento da equipe durante a montagem.

Figura 25 - Solda - Presença de porosidade na solda



Fonte: Autor - Laudo técnico, 2023

Figura 26 - Solda - Falta de penetração



Fonte: Autor - Laudo técnico, 2023

Figura 27 - Solda - Presença de porosidade



Fonte: Autor - Laudo técnico, 2023

Figura 28 - Solda - Sobreposições e falta de fusão



Fonte: Autor - Laudo técnico, 2023

Figura 29 - Solda - Presença de porosidade



Fonte: Autor - Laudo técnico, 2023

Figura 30 - Solda - Presença de porosidade



Fonte: Autor - Laudo técnico, 2023

Figura 31 - Solda - Presença de porosidade



Fonte: Autor - Laudo técnico, 2023

Figura 32 - Solda - Presença de porosidade



Fonte: Autor - Laudo técnico, 2023

Nas imagens 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32 do laudo, observa-se diversas irregularidades na soldagem entre os componentes da estrutura. Essas incluem a presença de porosidade, sobreposições inadequadas, falta de fusão e falta de penetração.

Causa: De acordo com Bleile (2002), as irregularidades, juntamente com suas origens, estão enumeradas a seguir:

- **Presença de porosidade:**

- i. Umidade no material de base ou no metal de adição: A presença de umidade no material de base ou no metal de adição pode evaporar durante a soldagem, criando bolhas de gás na solda.
- ii. Contaminação na superfície do material: Sujeira, graxa, óleo ou outros contaminantes na superfície do material podem ser liberados durante a soldagem, formando bolhas de gás na solda.
- iii. Gases na atmosfera de soldagem: A presença de gases como oxigênio, nitrogênio ou vapor de água na atmosfera de soldagem pode ser incorporada à solda, criando porosidade.
- iv. Parâmetros de soldagem inadequados: Uma corrente de soldagem muito alta ou muito baixa, velocidade de soldagem inadequada, polaridade incorreta, ou uso de gás de proteção inadequado podem contribuir para a formação de porosidade.
- v. Reação química: Reações químicas entre os elementos na solda e o gás de proteção ou contaminantes podem liberar gases, formando porosidade.
- vi. Má técnica de soldagem: Movimentos irregulares do eletrodo ou da tocha de soldagem, ou oscilações inadequadas podem introduzir ar na poça de fusão, resultando em porosidade.
- vii. Material base inadequado: Alguns materiais podem ser mais propensos à formação de porosidade do que outros, devido à sua composição química ou características físicas.

- **Sobreposições inadequadas:**

- i. Velocidade de soldagem inadequada: Uma velocidade de soldagem muito lenta pode resultar em excesso de material depositado, levando a sobreposições inadequadas.
- ii. Falta de coordenação entre movimento e velocidade: Se o operador de soldagem não coordenar adequadamente o movimento da tocha ou do eletrodo com a velocidade de avanço, podem ocorrer sobreposições inadequadas.
- iii. Má técnica de soldagem: Movimentos irregulares do eletrodo ou da tocha durante a soldagem podem levar a sobreposições desalinhadas.
- iv. Preparação inadequada da junta: Uma preparação deficiente da junta, como alinhamento impreciso das peças a serem soldadas, pode resultar em sobreposições inadequadas.
- v. Excesso de material de adição: O uso excessivo de material de adição durante a soldagem pode resultar em sobreposições desnecessárias e irregularidades na junta.
- vi. Falta de treinamento ou experiência do soldador: Operadores de soldagem inexperientes podem ter dificuldade em manter a consistência na aplicação dos passes de solda, levando a sobreposições inadequadas.

- **Falta de fusão:**

- i. Baixa temperatura de soldagem: Se a temperatura de soldagem for muito baixa, pode não fornecer calor suficiente para fundir completamente o metal base e o metal de adição, resultando em falta de fusão.
- ii. Velocidade de soldagem muito alta: Soldar muito rapidamente pode não permitir que o calor se acumule o suficiente para fundir completamente o metal base e o metal de adição, levando à falta de fusão.

- iii. Preparação inadequada da junta: Uma preparação inadequada da junta, como uma folga excessiva entre as peças ou uma limpeza insuficiente da superfície, pode dificultar a fusão adequada da solda.
- iv. Má técnica de soldagem: Operadores de soldagem com habilidades insuficientes podem não ser capazes de manipular corretamente o arco de soldagem e o material de adição, resultando em falta de fusão.
- v. Condições inadequadas do ambiente de soldagem: Condições como vento forte, alta umidade ou sujeira excessiva podem interferir no processo de soldagem e levar à falta de fusão.
- vi. Seleção inadequada do material de adição: O material de adição inadequado em relação ao metal base pode não fundir corretamente, resultando em falta de fusão.

- **Falta de Penetração:**

- i. Baixa corrente ou potência de soldagem: Se a corrente de soldagem for muito baixa para o material e a espessura da peça, pode não gerar calor suficiente para fundir completamente o metal base, resultando em falta de penetração.
- ii. Velocidade de soldagem muito alta: Soldar muito rapidamente pode não permitir que o calor se acumule o suficiente para fundir completamente o metal base, levando à falta de penetração.
- iii. Preparação inadequada da junta: Uma preparação inadequada da junta, como um chanfro insuficiente ou uma folga muito grande entre as peças, pode dificultar a penetração adequada da solda.
- iv. Ângulo de soldagem inadequado: O ângulo de soldagem incorreto pode afetar a direção do calor e do metal de adição, levando à falta de penetração.
- v. Má técnica de soldagem: Operadores de soldagem com habilidades insuficientes ou inexperientes podem não ser capazes de manipular corretamente o arco de soldagem e o material de adição, resultando em falta de penetração.

- vi. Condições inadequadas do ambiente de soldagem: Condições como vento forte, alta umidade ou sujeira excessiva podem interferir no processo de soldagem e levar à falta de penetração.

Estratégias de reparo: Segundo Jeffus (2016) para reparar essas irregularidades, é ideal planejar e montar plano de ação para execução de reparos de solda, isso inclui a contratação de uma empresa especializada em soldagem de estrutura metálica, para acompanhamento e fiscalização de todo o processo. Abaixo estão os defeitos das soldas que foram mal executadas, com suas estratégias de reparo.

- **Presença de porosidade:** Devido a presença de porosidade nessas soldas serem inaceitáveis é necessário, segundo Jeffus (2020):
 - i. Identificação da área afetada: Examinar a solda para identificar a extensão e a localização da porosidade. Isso ajudará a determinar a quantidade de solda que precisa ser removida;
 - ii. Preparação da remoção: Utilizar ferramentas adequadas, como esmerilhadeiras ou cortadores de disco, para remover a solda. Certifique-se de tomar as medidas de segurança apropriadas, como o uso de equipamento de proteção pessoal;
 - iii. Remoção da solda: Corte cuidadosamente a solda afetada, garantindo que apenas a área afetada pela porosidade seja removida. Evite remover excesso de material para não comprometer a integridade estrutural da peça;
 - iv. Limpeza da área: Após a remoção da solda, limpe cuidadosamente a área para remover quaisquer resíduos ou contaminantes. Isso pode ser feito com escovação manual, lixamento ou o uso de solventes apropriados, conforme estabelecido pela norma ISO 8501-124;
 - v. Inspeção: Após a limpeza, inspecione a área para garantir que todos os vestígios de porosidade tenham sido removidos e que a superfície esteja pronta para ser soldada novamente;
 - vi. Refazer a soldagem: Uma vez que a área foi preparada adequadamente, proceda com a soldagem novamente, garantindo que todas as medidas

corretivas sejam implementadas para evitar a recorrência da porosidade.

- **Sobreposições inadequadas:** Por meio da avaliação do laudo nesse caso, a sobreposição de solda foi considerada inadequada e comprometeu a integridade da peça. Segundo Jeffus (2020) é necessário remover parte ou toda a sobreposição e refazer a soldagem.
 - i. Avaliação da sobreposição: Examine a sobreposição de solda para determinar a extensão do problema e identificar áreas afetadas por possíveis defeitos, como porosidade ou falta de fusão;
 - ii. Preparação para remoção: Utilize ferramentas apropriadas, como esmerilhadeiras ou cortadores de disco, para remover cuidadosamente a sobreposição de solda. Tome precauções de segurança para evitar danos adicionais à peça ou lesões pessoais;
 - iii. Remoção da sobreposição: Corte a sobreposição de solda, garantindo que apenas a quantidade necessária seja removida para corrigir o problema. Evite remover excesso de material, pois isso pode comprometer a integridade estrutural da peça;
 - iv. Limpeza da área: Após a remoção da sobreposição de solda, limpe cuidadosamente a área afetada para remover quaisquer resíduos ou contaminantes, conforme estabelecido pela norma ISO 8501-124;
 - v. Inspeção: Após a limpeza, inspecione a área para garantir que todos os defeitos, como porosidade ou falta de fusão, tenham sido removidos e que a superfície esteja pronta para ser soldada novamente;
 - vi. Refazer a soldagem: Prosiga com a soldagem novamente, garantindo que todas as medidas corretivas sejam implementadas para evitar a recorrência da sobreposição de solda e quaisquer defeitos associados.
- **Falta de fusão:** Segundo Jeffus (2020) para corrigir o problema e garantir a integridade estrutural da junta soldada, é recomendado remover a solda e fazer uma reaplicação, com isso garantira uma correção completa e duradoura do problema. Aqui estão as etapas para corrigir a anomalia:

- i. Identificação da falta de fusão: examine a solda para identificar áreas onde a fusão adequada não ocorreu. Isso pode ser evidenciado por espaços vazios entre os passes de solda ou entre a solda e o metal base;
 - ii. Preparação para remoção: Utilize ferramentas apropriadas, como esmerilhadeiras ou cortadores de disco, para remover cuidadosamente a solda afetada. Tome precauções de segurança para evitar danos adicionais à peça ou lesões pessoais;
 - iii. Remoção da solda: Corte a solda afetada, garantindo que apenas a área comprometida pela falta de fusão seja removida. Evite remover excesso de material, pois isso pode comprometer a integridade estrutural da peça;
 - iv. Limpeza da área: Após a remoção da solda, limpe cuidadosamente a área afetada para remover quaisquer resíduos ou contaminantes, conforme estabelecido pela norma ISO 8501-124;
 - v. Preparação para refazer a soldagem: Prepare a área para refazer a soldagem, garantindo que as superfícies estejam limpas e livres de contaminantes. Se necessário, faça os ajustes adequados nos parâmetros de soldagem, como corrente, tensão e velocidade de alimentação do arame;
 - vi. Refazer a soldagem: Prosiga com a soldagem novamente, garantindo que todas as medidas corretivas sejam implementadas para evitar a recorrência da falta de fusão. Certifique-se de que a nova solda penetre completamente no metal base e se funda adequadamente aos passes de solda adjacentes.
- **Falta de Penetração:** Segundo o laudo a falta de penetração foi pequena e não comprometeu a integridade da junta soldada, como podemos observar na Figura 24, então segundo Jeffus (2020) é possível corrigir o problema sem remover toda a solda. Aqui estão algumas etapas que podem ser consideradas para lidar com a falta de penetração em uma solda sem remover a solda:
 - i. Soldagem por trás: Se possível, uma abordagem pode ser realizar uma soldagem por trás da área afetada para alcançar melhor penetração.

Isso pode ser feito acessando a parte de trás da junta de solda, se viável, e aplicando calor e material de adição para preencher a lacuna;

- ii. Ajuste dos parâmetros de soldagem: Experimente ajustar os parâmetros de soldagem, como corrente, tensão e velocidade de alimentação do arame, para aumentar a penetração da solda na próxima tentativa;
- iii. Pré-aquecimento das peças: O pré-aquecimento das peças antes da soldagem pode ajudar a reduzir a diferença de temperatura entre o metal base e o metal de adição, facilitando uma melhor fusão e penetração;
- iv. Inspeção cuidadosa: Após a soldagem, inspecione cuidadosamente a junta soldada para garantir que a falta de penetração tenha sido corrigida e que a integridade da junta não tenha sido comprometida;
- v. Teste de qualidade: Realize testes de qualidade, como radiografia ou ultrassom, se disponíveis, para verificar a integridade da junta soldada e garantir que os requisitos de penetração tenham sido atendidos.

Estratégias de mitigação: Segundo Jeffus (2016) a mitigação dessa anomalia pode ocorrer por meio de:

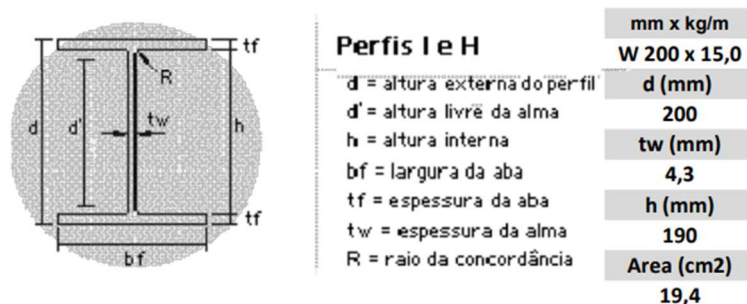
- **Treinamento e qualificação:** Investir em treinamento adequado para operadores de soldagem, garantindo que eles entendam os procedimentos corretos de soldagem e possuam habilidades técnicas necessárias para evitar defeitos. Isso inclui sobre como:
 - i. Preparar o local para receber a solda;
 - ii. Realizar a aplicação corretamente;
 - iii. Manusear com cuidado as peças;
 - iv. Secar os eletrodos revestidos;
 - v. Verificar a polaridade do retificador de solda;
 - vi. Ajustar a velocidade de soldagem;
 - vii. Ajustar a distância do eletrodo.

- **Inspeção e controle de qualidade:** implementar processos robustos de inspeção durante e após a soldagem para detectar defeitos precocemente. Isso pode incluir métodos de inspeção não destrutiva, como radiografia, ultrassom, partículas magnéticas, ou líquidos penetrantes.
- **Procedimentos de soldagem qualificados:** desenvolver e seguir procedimentos de soldagem qualificados e aprovados que atendam aos padrões e requisitos específicos da aplicação.
- **Seleção de materiais e consumíveis:** escolher cuidadosamente os materiais de base e os consumíveis de soldagem adequados para garantir uma compatibilidade adequada e minimizar a probabilidade de defeitos.
- **Preparação adequada da junta:** garantir que as peças a serem soldadas sejam devidamente preparadas, com bordas limpas, alinhadas corretamente e com folgas apropriadas, conforme exigido pelo procedimento de soldagem.
- **Controle de parâmetros de soldagem:** monitorar e controlar rigorosamente os parâmetros de soldagem, como corrente, tensão, velocidade de soldagem, taxa de alimentação do material de adição e proteção gasosa, para garantir uma operação consistente e de alta qualidade.
- **Preparar a superfície:** conforme estabelecido pela norma iso 8501-124. Manter um ambiente de soldagem limpo, livre de contaminantes como sujeira, graxa, óleo, umidade e gases indesejados, para evitar a formação de defeitos.
- **Correção atempada:** identificar e corrigir defeitos de solda assim que forem detectados, evitando que se propaguem e causem danos adicionais.
- **Realizar:** o projeto da junta de soldagem de maneira apropriada.

4.1.3. Falhas de projeto

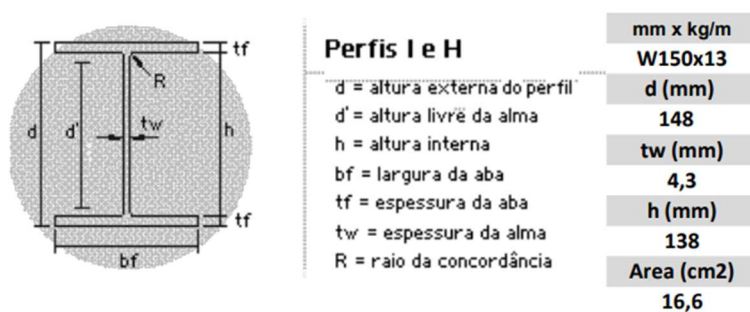
Na estrutura foram identificadas três vigas da cobertura, cada uma marcada com um perfil W200x15 no projeto, no entanto, foi constatado que em vez deste perfil, foi utilizado um perfil W150x13. As especificações dos perfis citados estão apresentadas nas figuras 33 e 34 respectivamente.

Figura 33 – Perfil de W200x15



Fonte: Adaptado pelo Autor - Galvão, 2024

Figura 34 – Perfil de W150x13



Fonte: Adaptado pelo Autor - Galvão, 2024

A anomalia é classificada como atávica, pois surgiu devido a falhas na concepção do projeto estrutural, com o uso de perfis com resistência diferente da prevista em projeto, como demonstra a Figura 35.

Figura 35 - Vigas da cobertura - W150x13



Fonte: Autor - Laudo técnico, 2023

Causa: O aparecimento deste defeito resultou do uso de perfis distintos do planejado no projeto, significativamente menores em tamanho do que o previsto, possivelmente por razões econômicas ou interpretação incorreta do projeto. Essa discrepância levou a uma redução na resistência dos materiais.

Estratégias de reparo: Conforme Sacchi (2016) e Raad Júnior (1999), para solucionar a patologia decorrente de um erro de projeto, várias etapas são necessárias, como:

- **Reavaliação do projeto:** verifique o projeto original para confirmar o tamanho correto do perfil recomendado e compare-o com o perfil utilizado.
- **Análise de carga:** avalie a carga aplicada na estrutura para determinar se o perfil menor é capaz de suportar adequadamente as demandas de carga. Isso pode exigir cálculos estruturais adicionais.
- **Substituição do perfil:** se a análise mostrar que o perfil menor não é adequado, planeje substituí-lo pelo perfil correto (w200x15) conforme especificado no projeto original.
- **Avaliação dos danos:** avalie se houve danos à estrutura devido à utilização do perfil inadequado. Se necessário, faça reparos ou reforços adicionais para garantir a integridade estrutural.
- **Reforço da estrutura:** considere a possibilidade de reforçar outras partes da estrutura, se necessário, para compensar a redução na resistência dos materiais causada pela discrepância no perfil.
- **Supervisão e inspeção:** certifique-se de que todas as correções sejam realizadas sob a supervisão de um engenheiro estrutural qualificado e que a estrutura seja inspecionada para garantir que esteja em conformidade com os padrões de segurança e regulamentos aplicáveis.
- **Documentação:** mantenha registros detalhados de todas as alterações feitas, incluindo análises estruturais, substituições de materiais e quaisquer reparos realizados.

Estratégias de mitigação: Para mitigar esse tipo de problema, conforme Sacchi (2016) e Raad Júnior (1999), podem ser realizadas as seguintes etapas:

- **Revisão do projeto:** realize uma revisão detalhada do projeto para identificar quaisquer discrepâncias entre as especificações de projeto e a execução real. Isso pode envolver uma análise completa das dimensões, materiais e capacidades de carga especificadas.
- **Procedimentos de controle de qualidade:** implemente procedimentos de controle de qualidade rigorosos para garantir que as especificações de projeto sejam seguidas corretamente durante a execução. Isso pode incluir verificações regulares durante a fabricação e instalação para garantir a conformidade com as especificações do projeto.
- **Comunicação eficaz:** estabeleça canais de comunicação claros entre os diferentes envolvidos no projeto, incluindo engenheiros, fabricantes e instaladores, para garantir que todos compreendam as especificações do projeto e quaisquer alterações ou desvios que possam surgir durante a execução.
- **Supervisão e inspeção:** realize inspeções regulares durante todas as fases do projeto para garantir que as especificações sejam seguidas corretamente. Isso pode incluir inspeções durante a fabricação, transporte, montagem e instalação da estrutura.
- **Documentação adequada:** mantenha registros detalhados de todas as etapas do projeto, incluindo especificações de projeto, alterações, inspeções e resultados de testes. Isso pode ajudar a identificar e corrigir quaisquer problemas que surjam durante o projeto.
- **Treinamento e capacitação:** forneça treinamento adequado para todos os envolvidos no projeto para garantir que compreendam as especificações do projeto e saibam como segui-las corretamente.
- **Análise de riscos:** realize uma análise de riscos abrangente para identificar e mitigar quaisquer potenciais problemas de projeto que possam surgir durante a execução. Isso pode ajudar a antecipar e evitar falhas de projeto antes que ocorram.

4.2. CASO 2 – GALPÃO PÚBLICO

No estudo de caso deste galpão, foram realizadas visitas ao local para registrar por meio de fotografias as patologias encontradas, e posteriormente classificadas conforme discutido no referencial teórico da pesquisa.

Apesar do uso frequente pelo público, foram identificadas poucas anomalias na estrutura deste galpão, que está em bom estado de conservação. Sua reinauguração em 2020, após passar por uma reforma, contribuiu para a redução das patologias.

A estrutura do feirão inclui um ponto de ônibus integrado, também construído com estruturas metálicas, que apresentou patologias. Essas anomalias serão analisadas em conjunto com as encontradas no galpão.

Por meio das imagens coletadas, foi possível identificar e categorizar as seguintes anomalias: corrosão, falhas na pintura e defeitos na montagem.

4.2.1. Corrosão

Na análise estrutural do galpão, foram identificados problemas de corrosão, todos classificados com base no mecanismo de atuação como corrosão eletroquímica, devido ao contato da água com o metal.

Nos dois primeiros casos, foram encontradas corrosões na base de dois pilares metálicos, conforme evidenciado nas figuras 36 e 37. Essas corrosões foram classificadas como corrosão uniforme, resultando na perda uniforme de espessura na base dos pilares.

Figura 36 - Base do pilar 1 - Galpão - corrosão uniforme e puntiforme



Fonte: Autor, 2024

Figura 37 - Base do pilar 2 - Galpão - corrosão uniforme e puntiforme



Fonte: Autor, 2024

Além disso, no perfil que constitui o pilar dessas bases, é visível uma corrosão pontual, caracterizada pela presença de pequenos pontos de corrosão com cavidades de fundo angular, também observada nas figuras 36 e 37, é classificada como corrosão puntiforme.

No galpão, há um ponto de ônibus integrado, conforme mostrado na figura 38. Neste ponto de ônibus, encontramos o terceiro caso de corrosão, que afeta um pilar metálico, como ilustrado na figura 39. Essa corrosão é classificada como corrosão uniforme.

Figura 38 - Ponto de ônibus Integrado



Fonte: Autor, 2024

Figura 39 – Pilar 1 - ponto de ônibus - corrosão uniforme



Fonte: Autor, 2024

No quarto caso, também no ponto de ônibus, é outro pilar que apresenta escavações sobre a superfície do perfil, como podemos observar na figura 40. Essas escavações tem diferentes tamanhos e profundidades, mas não afetou uniformemente toda a superfície, então é classificada como corrosão em placas.

Figura 40 – Pilar 2 - ponto de ônibus - corrosão em placas



Fonte: Autor, 2024

Causa: A corrosão é um fenômeno natural que ocorre em toda estrutura metálica quando exposta ao ambiente. Essa exposição resulta em deterioração e alteração das características dos materiais ao longo de sua vida útil, como foi o que ocorreu nessa estrutura desse galpão.

Porém as principais causas que aceleram a corrosão é a: exposição prolongada a ambientes corrosivos, como umidade, gases poluentes, produtos químicos agressivos, ausência de proteção anticorrosiva adequada, como pintura ou revestimento, micro danos na superfície do metal, presença de impurezas ou contaminantes locais, desigualdades na composição química do material e variações na temperatura e umidade.

Estratégias de reparo: Conforme Cardoso (2013), Pannoni (2017) e Rezende (2018), o reparo de uma estrutura afetada pela corrosão depende do grau de danos causados e da extensão do problema. Abaixo estão algumas etapas para reparar os danos dessa anomalia, sendo que a abordagem específica vai depender da sua classificação.

- **Corrosão uniforme e puntiforme:** O procedimento para reparar essas corrosões são basicamente o mesmo, inclui:
 - i. **Preparação da Superfície:** Inicialmente, é necessário limpar e preparar a superfície corroída, conforme estabelecido pela norma ISO 8501-124. Isso pode envolver a remoção de qualquer revestimento existente, limpeza da área afetada e preparação da superfície para o reparo.
 - ii. **Remoção da Corrosão:** Em seguida, a corrosão deve ser removida da superfície afetada. Isso pode ser feito por meio de métodos mecânicos, como lixamento, escovação ou jateamento, para eliminar completamente as camadas corroídas e expor o metal limpo.
 - iii. **Tratamento da Superfície:** Após a remoção da corrosão, a superfície deve ser tratada para proteção contra futuras corrosões. Isso pode envolver a aplicação de um primer anticorrosivo ou de um revestimento protetor adequado para o tipo de ambiente em que a estrutura está exposta.

- iv. **Reparo das Cavidades:** Como há cavidades de fundo angular resultantes da corrosão na base do pilar, então essas áreas devem ser reparadas. Isso pode ser feito preenchendo as cavidades com um material adequado, como massa de poliéster ou composto epóxi, e nivelando a superfície para garantir uma aparência uniforme.
 - v. **Aplicação de Revestimento:** Uma vez que a superfície esteja preparada e protegida, pode ser aplicado um novo revestimento para restaurar a aparência e a proteção da estrutura. Isso pode incluir tintas, epóxi, poliuretano ou outros revestimentos adequados para proteção contra corrosão.
 - vi. **Inspeção e Manutenção:** Após o reparo, é importante realizar inspeções regulares para monitorar a condição da estrutura e garantir que não haja recorrência da corrosão.
- **Corrosão em placas:** Como se tratar de um pilar que foi afetado por esse tipo de corrosão o reparo é complexo e exigir medidas adicionais. Aqui estão alguns passos a serem considerados para reparar esse dano no pilar:
 - i. **Avaliação dos Danos:** Inicie com uma avaliação detalhada dos buracos grandes e da extensão dos danos causados pela corrosão. Determine a profundidade e o tamanho dos buracos para planejar o reparo adequado.
 - ii. **Remoção da Corrosão Profunda:** Remova toda a corrosão profunda ao redor dos buracos, utilizando métodos mecânicos, como lixamento, escovação, ou jateamento, até alcançar o metal limpo e saudável ao redor dos buracos.
 - iii. **Preparação da Área de Reparo:** Prepare a área ao redor dos buracos para o reparo. Remova quaisquer resíduos soltos, limpe a superfície e aplique um primer anticorrosivo para proteger o metal exposto contra a formação de novas áreas corroídas, conforme estabelecido pela norma ISO 8501-124.
 - iv. **Reparo dos Buracos:** Preencha os buracos com um material de reparo adequado, como uma massa epóxi de alta resistência ou um composto de reparo específico para corrosão. Certifique-se de

preencher completamente os buracos e nivelar a superfície para um acabamento uniforme.

- v. **Reforço Estrutural:** Como o pilar perdeu significativa resistência devido aos buracos grandes, considere reforçar a área afetada com placas de metal adicionais, chapas de reforço, ou outros elementos estruturais para restaurar a integridade e a capacidade de carga.
- vi. **Aplicação de Revestimento Protetor:** Após o reparo, aplique um revestimento protetor sobre a área reparada para garantir uma proteção eficaz contra a corrosão futura. Escolha um revestimento adequado para o ambiente em que a estrutura está exposta, como tintas anticorrosivas, epóxi, poliuretano, entre outros.
- vii. **Inspeção e Manutenção:** Realize inspeções regulares na área reparada para monitorar sua condição e garantir que não haja recorrência da corrosão. Mantenha um programa de manutenção preventiva para proteger a estrutura a longo prazo.

Estratégias de mitigação: Para mitigar esse tipo de problema, conforme Rezende (2018) e Pannoni (2017), podem ser realizadas as seguintes etapas:

- **Fase de projeto:** A prevenção começa na fase de projeto, incorporando elementos como vinculações, apoios e inércias de perfis que evitem o acúmulo de água das chuvas e sujeira por períodos prolongados.
- **Materiais:** Outra forma de mitigar a corrosão ocorre por meio de seleção criteriosa de materiais com baixa taxa de corrosão para o ambiente em questão.
- **Revestimentos Protetores:** A aplicação de revestimentos protetores, como tintas anticorrosivas, epóxi, poliuretano, galvanização ou metalização, é uma das formas mais eficazes de mitigar a corrosão. Esses revestimentos formam uma barreira física entre o metal e o ambiente corrosivo, impedindo o contato direto e prolongando a vida útil da estrutura.
- **Inibidores de Corrosão:** O uso de inibidores de corrosão é outra estratégia importante. Esses produtos químicos são adicionados aos revestimentos ou

aplicados diretamente na superfície metálica para reduzir a taxa de corrosão. Eles funcionam inibindo reações químicas que causam a corrosão e protegendo o metal contra danos.

- **Controle do Ambiente:** Controlar o ambiente ao redor das estruturas metálicas é fundamental para mitigar a corrosão. Isso pode envolver o monitoramento e controle da umidade, temperatura, pH e presença de agentes corrosivos no ambiente de exposição das estruturas.
- **Manutenção Preventiva:** Implemente um programa de manutenção preventiva regular para inspecionar, limpar e proteger as estruturas metálicas contra a corrosão. Isso inclui a realização de inspeções visuais, testes não destrutivos, limpeza de superfícies, reparo de danos menores e reaplicação de revestimentos protetores conforme necessário.
- **Treinamento:** Treine os profissionais responsáveis pela manutenção e operação das estruturas metálicas sobre as melhores práticas de prevenção e mitigação da corrosão. Isso inclui o uso adequado de produtos de proteção, a identificação precoce de sinais de corrosão e ações corretivas apropriadas.

4.2.2. Falhas na pintura

Durante as visitas, foram identificadas anomalias na pintura da estrutura, as quais foram classificadas de acordo com suas características descritas no referencial teórico desta pesquisa. As classificações dessas patologias encontradas na pintura incluem enrugamento e sangramento da película de tinta.

Na figura 41, pode-se notar o enrugamento da película de tinta nos seis perfis metálicos que constituem a cobertura do ponto de ônibus, o qual está ligado ao galpão. A película de tinta exibe uma superfície irregular, com sinais de encolhimento e ondulação.

No caso do sangramento da película, na figura 42, podemos observar esse problema em um pilar localizado na entrada do galpão. A película exibe pigmentação da cor da camada inferior, devido à solubilidade desta última.

Figura 41 – Cobertura do ponto de ônibus – Enrugamento da tinta



Fonte: Autor, 2024

Figura 42 – Pilar da entrada do galpão – Sangramento da tinta

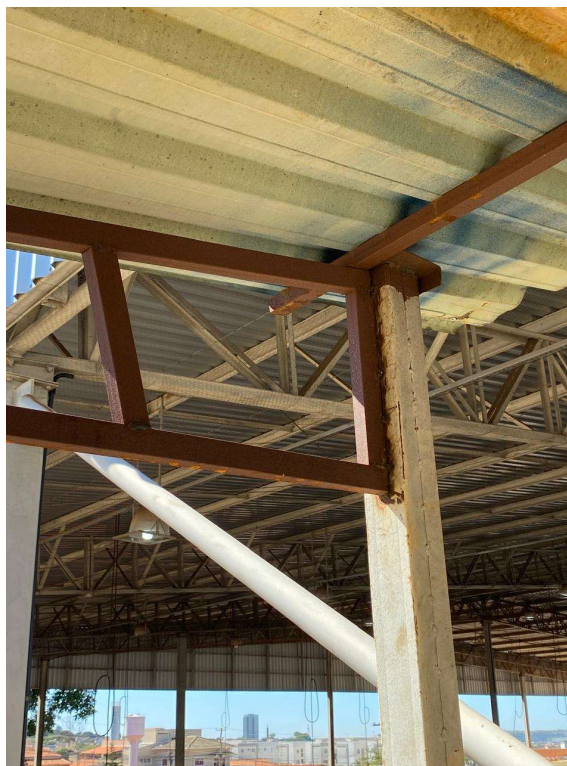


Fonte: Autor, 2024

Existe uma viga em formato treliçado que integra a cobertura do ponto de ônibus. Nota-se que essa viga apresenta ferrugem em toda a sua superfície. É importante destacar que esse componente não recebeu qualquer camada de revestimento, seja para proteção contra a corrosão ou para fins estéticos, como pode ser visto na figura 43. Essa patologia foi classificada como falta de revestimento para proteção do material,

indicando que desde a fase de fabricação e montagem da peça, essa anomalia já estava presente.

Figura 43 – Viga treliçada no ponto de ônibus – Falta de revestimento



Fonte: Autor, 2024

Causa: Segundo Sacchi (2016), as anomalias nas pinturas das estruturas metálicas são categorizadas por meio de inspeção visual, permitindo a identificação dos possíveis fatores que contribuíram para essas falhas. Alguns dos motivos que podem ter levado a essas anomalias incluem:

- **Enrugamento:** A anomalia observada, como o enrugamento e consequente descascamento da tinta, pode ter sido principalmente causada pelo tempo. No entanto, na época da aplicação da tinta, diversos fatores podem ter contribuído para acelerar esse problema, tais como: aplicação excessiva de tinta, secagem muito rápida, alta umidade relativa do ar ou incompatibilidade entre as camadas de tinta. Outro fator potencial é a falta de preparação adequada da estrutura, incluindo a limpeza química ou mecânica conforme especificado na norma ISO 8501-124

- **Sangramento:** Alguns motivos que levaram a essa anomalia: passou uma tinta clara sobre cores escuras, principalmente sobre o vermelho ou marrom. O solvente do novo acabamento não dissolveu a tinta antiga. A ação de solventes fortes da tinta de acabamento provocou a dissolução da tinta de fundo, manchando o acabamento. Aplicação de tintas sobre tintas à base de alcatrão.
- **Falta de revestimento:** Existem vários motivos que podem ter levado à falta de aplicação de revestimento na peça, tais como: economia, orçamento reduzido, execução inadequada do trabalho, ausência de projeto específico para a estrutura em questão e falta de conhecimento por parte da equipe de montagem e fabricação.

Estratégias de reparo: Nunes e Lobo (2014), o reparo de um revestimento de uma estrutura envolve diversas etapas e técnicas, tais como:

- **Enrugamento e sangramento:**
 - i. Preparação da superfície danificada: Remoção de partes soltas, oxidação, sujeira e outros contaminantes da superfície a ser reparada, conforme estabelecido pela norma ISO 8501-124.
 - ii. Tratamento da corrosão: é necessário realizar o tratamento adequado para evitar sua propagação e garantir a aderência do novo revestimento.
 - iii. Aplicação de primer: Aplicação de um primer adequado para promover a aderência entre o substrato e o novo revestimento.
 - iv. Aplicação do novo revestimento: Aplicação do revestimento de proteção escolhido de acordo com as especificações técnicas e as condições ambientais da estrutura.
 - v. Controle de qualidade: Verificação da qualidade do reparo realizado, incluindo a espessura do revestimento, aderência, resistência à corrosão, entre outros aspectos.

- **Falta de revestimento:**

- i. Remoção da ferrugem: Utilize métodos mecânicos, como escovas de arame, lixamento ou jateamento abrasivo, para remover a ferrugem da superfície da peça até atingir o metal limpo e não corroído, conforme estabelecido pela norma ISO 8501-124.
- ii. Tratamento antiferrugem: Aplique um produto químico anti-ferrugem, como um conversor de ferrugem, para converter qualquer resíduo de ferrugem remanescente em uma superfície estável e preparada para receber o revestimento.
- iii. Aplicação de primer: Aplique um primer específico para metais, que ajuda a promover a aderência do revestimento e proporciona proteção adicional contra a corrosão.
- iv. Aplicação do revestimento: Aplique o revestimento de proteção adequado para o tipo de ambiente e exposição da peça, como tintas anticorrosivas ou revestimentos de zinco, de acordo com as especificações técnicas recomendadas.
- v. Controle de qualidade: Verifique a espessura e a uniformidade do revestimento aplicado, garantindo uma cobertura adequada para proteger a peça contra a corrosão.

Estratégias de mitigação: Conforme Rezende (2018) e Pannoni (2017), para mitigar problemas de pintura em uma estrutura metálica, é importante seguir algumas práticas e procedimentos adequados:

- **Preparação da superfície:** Certifique-se de que a superfície metálica esteja limpa, seca e livre de contaminantes antes da aplicação da tinta. Remova óleos, graxas, poeira e ferrugem, se necessário, utilizando métodos como limpeza química, jateamento abrasivo ou escovamento, conforme estabelecido pela norma ISO 8501-124.
- **Escolha do revestimento correto:** Selecione um revestimento adequado para o ambiente e a exposição da estrutura metálica. Considere fatores como resistência à corrosão, resistência a intempéries, durabilidade e compatibilidade com o substrato metálico.

- **Aplicação correta da tinta:** Siga as recomendações do fabricante para a aplicação da tinta, incluindo temperatura ambiente, umidade relativa, espessura da camada de tinta, tempo de secagem e método de aplicação (pincelamento, rolo ou pulverização). Evite aplicar camadas muito espessas ou muito finas, e certifique-se de obter uma cobertura uniforme.
- **Controle de qualidade:** Realize inspeções regulares durante e após a aplicação da tinta para garantir a qualidade do revestimento. Verifique a aderência, a espessura da camada, a uniformidade da cor e a ausência de bolhas, descamação ou enrugamento.
- **Manutenção periódica:** Implemente um programa de manutenção periódica para verificar a integridade do revestimento ao longo do tempo. Realize retoques ou reparos conforme necessários para manter a proteção adequada contra a corrosão e outros danos.
- **Proteção contra agentes agressivos:** Se a estrutura metálica estiver exposta a agentes agressivos, como produtos químicos, gases corrosivos ou ambientes marinhos, considere a aplicação de revestimentos especiais, como tintas anticorrosivas de alto desempenho ou revestimentos de zinco.

4.2.3. Falhas na montagem

Durante a inspeção, foi identificada apenas uma anomalia, decorrente de falhas no processo de montagem da estrutura. Em toda a obra, foram encontrados apenas dois casos de problemas na soldagem das peças metálicas.

No primeiro caso, a anomalia aparece na ligação de um pilar com uma viga de cobertura, localizada na lateral do galpão. Na figura 44, é possível observar a patologia. A ligação, que deveria ser parafusada, recebeu pontos de solda irregulares em seu contorno. Essa soldagem foi feita de forma improvisada, com o intuito de reforçar a ligação das peças. Essa anomalia foi classificada como: presença de porosidade na solda.

No caso 2, a anomalia foi encontrada na ligação de uma viga tipo treliça com um pilar, no ponto de ônibus integrado ao galpão. A união dos componentes recebeu uma soldagem malfeita, com apenas alguns pingos de solda e sem o contorno completo da peça, resultando em um acabamento muito abaixo do padrão de qualidade. Esse problema

pode ser observado na figura 45. Essa patologia foi classificada como falta de penetração e falta de fusão na solda.

Figura 44 – Ligação no galpão – Solda – presença de porosidade



Fonte: Autor, 2024

Figura 45 – Treliça - ponto de ônibus – Solda - Falta de penetração e fusão



Fonte: Autor, 2024

Causa: Conforme descrito por Bleile (2002), as causas dessas irregularidades são amplamente discutidas a seguir:

- **Presença de porosidade:**

- i. Umidade no material de base ou no metal de adição: A presença de umidade no material de base ou no metal de adição pode evaporar durante a soldagem, criando bolhas de gás na solda.
- ii. Contaminação na superfície do material: Sujeira, graxa, óleo ou outros contaminantes na superfície do material podem ser liberados durante a soldagem, formando bolhas de gás na solda.
- iii. Gases na atmosfera de soldagem: A presença de gases como oxigênio, nitrogênio ou vapor de água na atmosfera de soldagem pode ser incorporada à solda, criando porosidade.
- iv. Parâmetros de soldagem inadequados: Uma corrente de soldagem muito alta ou muito baixa, velocidade de soldagem inadequada, polaridade incorreta, ou uso de gás de proteção inadequado podem contribuir para a formação de porosidade.
- v. Reação química: Reações químicas entre os elementos na solda e o gás de proteção ou contaminantes podem liberar gases, formando porosidade.
- vi. Má técnica de soldagem: Movimentos irregulares do eletrodo ou da tocha de soldagem, ou oscilações inadequadas podem introduzir ar na poça de fusão, resultando em porosidade.
- vii. Material base inadequado: Alguns materiais podem ser mais propensos à formação de porosidade do que outros, devido à sua composição química ou características físicas.

- **Falta de penetração e fusão:**

- i. Baixa temperatura de soldagem: Se a temperatura de soldagem for muito baixa, pode não fornecer calor suficiente para fundir completamente o metal base e o metal de adição, resultando em falta de fusão.
- ii. Velocidade de soldagem muito alta: Soldar muito rapidamente pode não permitir que o calor se acumule o suficiente para fundir

completamente o metal base e o metal de adição, levando à falta de fusão.

- iii. **Preparação inadequada da junta:** Uma preparação inadequada da junta, como uma folga excessiva entre as peças ou uma limpeza insuficiente da superfície, pode dificultar a fusão adequada da solda.
- iv. **Ângulo de soldagem inadequado:** O ângulo de soldagem incorreto pode afetar a direção do calor e do metal de adição, levando à falta de penetração
- v. **Má técnica de soldagem:** Operadores de soldagem com habilidades insuficientes podem não ser capazes de manipular corretamente o arco de soldagem e o material de adição, resultando em falta de fusão.
- vi. **Condições inadequadas do ambiente de soldagem:** Condições como vento forte, alta umidade ou sujeira excessiva podem interferir no processo de soldagem e levar à falta de fusão.
- vii. **Seleção inadequada do material de adição:** O material de adição inadequado em relação ao metal base pode não fundir corretamente, resultando em falta de fusão.

Estratégias de reparo: Para corrigir essas falhas, conforme explicado por Jeffus (2016), é fundamental desenvolver e implementar um plano de ação específico para reparar soldas inadequadas. Isso envolve a contratação de uma empresa especializada em soldagem de estruturas metálicas para supervisionar e fiscalizar todo o processo de reparo. A seguir, estão listadas as respectivas estratégias de reparo.

- **Presença de porosidade:** Para resolver a questão da porosidade nas soldas, conforme orientado por Jeffus (2020):
 - i. **Identificação da área afetada:** Examine a solda para determinar a extensão e a localização da porosidade. Isso ajudará a calcular a quantidade de solda que precisa ser removida.
 - ii. **Preparação para remoção:** Use ferramentas apropriadas, como esmerilhadeiras ou cortadores de disco, para remover a solda.

Certifique-se de seguir todas as medidas de segurança necessárias, incluindo o uso de equipamento de proteção pessoal.

- iii. Remoção da solda: Corte a solda afetada com cuidado, removendo apenas a área afetada pela porosidade. Evite retirar excesso de material para não comprometer a integridade estrutural da peça.
 - iv. Limpeza da área: Após a remoção da solda, limpe meticulosamente a área para eliminar quaisquer resíduos ou contaminantes. Isso pode ser feito por meio de escovação manual, lixamento ou uso de solventes adequados, conforme especificado pela norma ISO 8501-124.
 - v. Inspeção: Após a limpeza, inspecione a área para garantir a remoção completa de todos os vestígios de porosidade e certifique-se de que a superfície esteja pronta para a nova soldagem.
 - vi. Refazer a soldagem: Uma vez que a área foi preparada adequadamente, prossiga com a nova soldagem, assegurando a implementação de todas as medidas corretivas necessárias para evitar a recorrência da porosidade.
- **Falta de penetração e fusão:** Considerando que o problema não compromete totalmente a segurança do ponto de ônibus, conforme indicado por Jeffus (2020), é viável corrigir a questão sem a necessidade de remover a solda. Seguem abaixo algumas etapas que podem ser consideradas para lidar com a falta de penetração e fusão em uma solda sem remover a solda:
 - i. Pré-aquecimento da área afetada: Aplique calor à região afetada antes da soldagem para melhorar a fusão do material.
 - ii. Ajuste dos parâmetros de soldagem: Modifique a corrente, velocidade de soldagem ou tipo de gás de proteção para garantir uma fusão adequada.
 - iii. Utilização de técnicas de soldagem específicas: Empregue técnicas como soldagem por pontos, soldagem em ângulo ou soldagem por trás para alcançar áreas com falta de fusão.

- iv. Inclusão de passes de solda adicionais: Realize passes de solda adicionais sobre a área afetada para garantir a penetração e fusão adequadas.
- v. Inspeção visual e não destrutiva: Verifique visualmente e por métodos não destrutivos, como líquido penetrante ou ultrassom, para garantir a qualidade da solda corrigida.
- vi. Reparo do revestimento protetor: Após a correção da solda, aplique novamente o revestimento protetor, se necessário, para preservar a integridade da estrutura.

Estratégias de mitigação: Segundo Jeffus (2016), a mitigação dessa anomalia pode ocorrer por meio de estratégias como:

- **Treinamento e qualificação:** Investir em treinamento adequado para os operadores de soldagem, assegurando que compreendam os procedimentos corretos de soldagem e possuam as habilidades técnicas necessárias para evitar defeitos. Isso inclui instruções sobre:
 - i. Preparar o local para receber a solda;
 - ii. Realizar a aplicação corretamente;
 - iii. Manusear com cuidado as peças;
 - iv. Secar os eletrodos revestidos;
 - v. Verificar a polaridade do retificador de solda;
 - vi. Ajustar a velocidade de soldagem;
 - vii. Ajustar a distância do eletrodo.
- **Inspeção e controle de qualidade:** implementar processos robustos de inspeção durante e após a soldagem para detectar defeitos precocemente. Isso pode incluir métodos de inspeção não destrutiva, como radiografia, ultrassom, partículas magnéticas, ou líquidos penetrantes.
- **Procedimentos de soldagem qualificados:** desenvolver e seguir procedimentos de soldagem qualificados e aprovados que atendam aos padrões e requisitos específicos da aplicação.

- **Seleção de materiais e consumíveis:** escolher cuidadosamente os materiais de base e os consumíveis de soldagem adequados para garantir uma compatibilidade adequada e minimizar a probabilidade de defeitos.
- **Preparação adequada da junta:** garantir que as peças a serem soldadas sejam devidamente preparadas, com bordas limpas, alinhadas corretamente e com folgas apropriadas, conforme exigido pelo procedimento de soldagem.
- **Controle de parâmetros de soldagem:** monitorar e controlar rigorosamente os parâmetros de soldagem, como corrente, tensão, velocidade de soldagem, taxa de alimentação do material de adição e proteção gasosa, para garantir uma operação consistente e de alta qualidade.
- **Preparar a superfície:** conforme estabelecido pela norma ISO 8501-124. Manter um ambiente de soldagem limpo, livre de contaminantes como sujeira, graxa, óleo, umidade e gases indesejados, para evitar a formação de defeitos.
- **Correção atempada:** identificar e corrigir defeitos de solda assim que forem detectados, evitando que se propaguem e causem danos adicionais.
- **Realizar:** o projeto da junta de soldagem de maneira apropriada.

4.3. CASO 3 - GALPÃO PÚBLICO

Assim como no estudo do galpão anterior, foram realizadas visitas ao local durante a pesquisa. As patologias encontradas foram registradas por meio de fotografias e, posteriormente, classificadas conforme abordado no segundo capítulo desta pesquisa.

Apenas cinco anos após sua inauguração, o galpão apresentou algumas anomalias em sua estrutura, incluindo corrosão, falhas em ligações e falhas na pintura. No entanto, essas anomalias não são numerosas, considerando que se trata de uma estrutura relativamente nova.

4.3.1. Corrosão

Logo na entrada do galpão, é possível identificar um problema de corrosão, conforme ilustrado na Figura 46. Nesse caso, a corrosão ocorreu devido ao contato da

estrutura com águas pluviais, já que essa parte está exposta ao ambiente sem qualquer tipo de proteção contra esses agentes. Esse tipo de corrosão é classificado como corrosão uniforme, pois ocorre pela perda uniforme da espessura das peças metálicas, sendo comumente conhecida como ferrugem.

Figura 46 - Entrada do Galpão



Fonte: Autor, 2024

Outro caso de corrosão está localizado no fechamento lateral do galpão, em um contravento lateral, conforme demonstrado na Figura 47. Este contravento, utilizado para aumentar a estabilidade e a rigidez de estruturas metálicas, é composto por barras ou perfis metálicos que conectam pontos da estrutura para resistir a forças horizontais, como ventos, terremotos e outras cargas laterais.

No início do contravento, é possível identificar essa anomalia, também derivada do contato da água com o metal. Trata-se de corrosão eletroquímica, classificada como corrosão em placas, uma vez que a peça apresenta escavações devido a este processo.

Figura 47 - Contravento lateral



Fonte: Autor, 2024

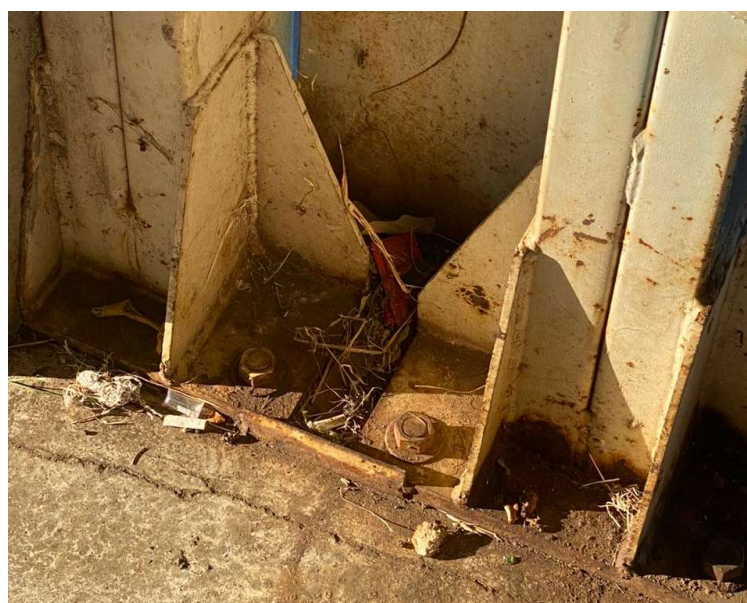
No terceiro e quarto caso de corrosão, essas anomalias são classificadas como corrosão uniforme, afetando a base dos pilares metálicos, como mostrado nas Figuras 48 e 49. As chapas que compõem essas bases apresentam perda de espessura devido à reação da água com o metal. Esta água, proveniente da limpeza do local ou da chuva que atinge o galpão sem fechamento lateral estendido.

Figura 48 - Base do pilar metálico



Fonte: Autor, 2024

Figura 49 - Bases dos pilares metálicos



Fonte: Autor, 2024

Na Figura 49, é possível observar sujeira sobre as bases dos pilares. Mesmo com esse obstáculo que atrapalha a visualização da patologia, ainda é possível identificá-la e classificá-la.

Causa: Como já enfatizado nesta pesquisa, a corrosão é um fenômeno natural que ocorre em toda estrutura metálica quando exposta ao ambiente, modificando as características das peças que a compõem.

Como no galpão anterior, as principais causas que podem ter acelerado tais casos de corrosão neste galpão incluem: exposição prolongada a ambientes corrosivos, como umidade e produtos químicos agressivos; ausência de proteção anticorrosiva adequada, como pintura ou revestimento; presença de impurezas ou contaminantes locais; desigualdades na composição química do material; e variações na temperatura e umidade.

Estratégias de reparo: Como já mencionado nos casos anteriores desse tipo de patologia, o reparo de uma estrutura afetada pela corrosão depende do grau de dano e da extensão do problema (Cardoso, 2013; Rezende, 2018). A seguir, estão algumas etapas para reparar os danos dessa anomalia, com a abordagem específica dependendo de sua classificação.

- **Corrosão uniforme:** O processo de reparo dessas corrosões segue etapas semelhantes, incluindo:
 - vii. **Preparação da Superfície:** Inicialmente, é necessário limpar e preparar a superfície corroída, conforme estabelecido pela norma ISO 8501-124. Isso pode envolver a remoção de qualquer revestimento existente, limpeza da área afetada e preparação da superfície para o reparo.
 - viii. **Remoção da Corrosão:** Em seguida, a corrosão deve ser removida da superfície afetada. Isso pode ser feito por meio de métodos mecânicos, como lixamento, escovação ou jateamento, para eliminar completamente as camadas corroídas e expor o metal limpo.
 - ix. **Tratamento da Superfície:** Após a remoção da corrosão, a superfície deve ser tratada para proteção contra futuras corrosões. Isso pode

envolver a aplicação de um primer anticorrosivo ou de um revestimento protetor adequado para o tipo de ambiente em que a estrutura está exposta.

- x. **Reparo das Cavidades:** Como há cavidades de fundo angular resultantes da corrosão na base do pilar, então essas áreas devem ser reparadas. Isso pode ser feito preenchendo as cavidades com um material adequado, como massa de poliéster ou composto epóxi, e nivelando a superfície para garantir uma aparência uniforme.
 - xi. **Aplicação de Revestimento:** Uma vez que a superfície esteja preparada e protegida, pode ser aplicado um novo revestimento para restaurar a aparência e a proteção da estrutura. Isso pode incluir tintas, epóxi, poliuretano ou outros revestimentos adequados para proteção contra corrosão.
 - xii. **Inspeção e Manutenção:** Após o reparo, é importante realizar inspeções regulares para monitorar a condição da estrutura e garantir que não haja recorrência da corrosão.
- **Corrosão em placas:** Como se tratar de um pilar que foi afetado por esse tipo de corrosão o reparo é complexo e exigirá medidas adicionais. Aqui estão alguns passos a serem considerados para reparar esse dano no pilar:
 - viii. **Avaliação dos Danos:** Inicie com uma avaliação detalhada dos buracos grandes e da extensão dos danos causados pela corrosão. Determine a profundidade e o tamanho dos buracos para planejar o reparo adequado.
 - ix. **Remoção da Corrosão Profunda:** Remova toda a corrosão profunda ao redor dos buracos, utilizando métodos mecânicos, como lixamento, escovação, ou jateamento, até alcançar o metal limpo e saudável ao redor dos buracos.
 - x. **Preparação da Área de Reparo:** Prepare a área ao redor dos buracos para o reparo. Remova quaisquer resíduos soltos, limpe a superfície e aplique um primer anticorrosivo para proteger o metal exposto contra a formação de novas áreas corroídas, conforme estabelecido pela norma ISO 8501-124.

- xi. **Reparo dos Buracos:** Preencha os buracos com um material de reparo adequado, como uma massa epóxi de alta resistência ou um composto de reparo específico para corrosão. Certifique-se de preencher completamente os buracos e nivelar a superfície para um acabamento uniforme.
- xii. **Reforço Estrutural:** Como o pilar perdeu significativa resistência devido aos buracos grandes, considere reforçar a área afetada com placas de metal adicionais, chapas de reforço, ou outros elementos estruturais para restaurar a integridade e a capacidade de carga.
- xiii. **Aplicação de Revestimento Protetor:** Após o reparo, aplique um revestimento protetor sobre a área reparada para garantir uma proteção eficaz contra a corrosão futura. Escolha um revestimento adequado para o ambiente em que a estrutura está exposta, como tintas anticorrosivas, epóxi, poliuretano, entre outros.
- xiv. **Inspeção e Manutenção:** Realize inspeções regulares na área reparada para monitorar sua condição e garantir que não haja recorrência da corrosão. Mantenha um programa de manutenção preventiva para proteger a estrutura a longo prazo.

Estratégias de mitigação: Para mitigar esse tipo de problema, de acordo com Rezende (2018) e Pannoni (2017), as seguintes etapas podem ser realizadas:

- **Fase de projeto:** A prevenção começa na fase de projeto, incorporando elementos como vinculações, apoios e inércias de perfis que evitem o acúmulo de água das chuvas e sujeira por períodos prolongados.
- **Materiais:** Outra forma de mitigar a corrosão ocorre por meio de seleção criteriosa de materiais com baixa taxa de corrosão para o ambiente em questão.
- **Revestimentos Protetores:** A aplicação de revestimentos protetores, como tintas anticorrosivas, epóxi, poliuretano, galvanização ou metalização, é uma das formas mais eficazes de mitigar a corrosão. Esses revestimentos formam uma barreira física entre o metal e o ambiente corrosivo, impedindo o contato direto e prolongando a vida útil da estrutura.

- **Inibidores de Corrosão:** O uso de inibidores de corrosão é outra estratégia importante. Esses produtos químicos são adicionados aos revestimentos ou aplicados diretamente na superfície metálica para reduzir a taxa de corrosão. Eles funcionam inibindo reações químicas que causam a corrosão e protegendo o metal contra danos.
- **Controle do Ambiente:** Controlar o ambiente ao redor das estruturas metálicas é fundamental para mitigar a corrosão. Isso pode envolver o monitoramento e controle da umidade, temperatura, pH e presença de agentes corrosivos no ambiente de exposição das estruturas.
- **Manutenção Preventiva:** Implemente um programa de manutenção preventiva regular para inspecionar, limpar e proteger as estruturas metálicas contra a corrosão. Isso inclui a realização de inspeções visuais, testes não destrutivos, limpeza de superfícies, reparo de danos menores e reaplicação de revestimentos protetores conforme necessário.

4.3.2. Falhas nas ligações metálicas

No galpão, foram encontradas duas falhas em ligações metálicas. Uma delas envolve a ligação entre um pilar metálico e a treliça de cobertura, que é parafusada, como demonstrado na figura 50. A segunda falha ocorre na ligação entre um pilar e a treliça de transição, igualmente parafusada, conforme ilustrado na figura 51.

Figura 50 – Ligação parafusada 1



Fonte: Autor, 2024

Figura 51 – Ligação parafusada 2



Fonte: Autor, 2024

A ausência de um dos quatro parafusos que deveriam compor essa ligação representa um fator de risco para a estrutura. Isso porque pode comprometer a integridade estrutural da conexão, levando a uma redução na capacidade de carga, aumentando o risco de movimentos ou vibrações indesejadas, e potencialmente causando desalinhamentos ou desgastes prematuros em outras partes da estrutura.

Causa: O motivo exato que resultou na ausência deste parafuso não pôde ser identificado claramente. As possíveis causas incluem falhas no processo de montagem da estrutura, possivelmente devido a descuidos por parte da equipe de montagem, que podem ter passado despercebidos. Outra possível razão seria o aperto inadequado deste parafuso durante a montagem, o que poderia ter levado à sua queda da ligação.

Estratégias de reparo: Segundo Salmon (2009), para reparar a falta de um parafuso dessa ligação parafusada, é necessário seguir algumas etapas:

- **Inspeção Detalhada:** Primeiramente, realizar uma inspeção minuciosa para verificar se há danos adicionais na área afetada pela falta do parafuso.
- **Substituição do Parafuso:** Providenciar e instalar um novo parafuso adequado para a ligação, garantindo que seja do tamanho, tipo e resistência corretos para a aplicação.

- **Aperto Adequado:** Certificar-se de que o novo parafuso é devidamente apertado com o torque correto para garantir uma conexão segura e estável.
- **Verificação Estrutural:** Realizar uma verificação estrutural para assegurar que a ligação restaurada atenda aos requisitos de carga e segurança da estrutura.
- **Monitoramento Contínuo:** Após o reparo, monitorar periodicamente a ligação para detectar qualquer sinal de desgaste prematuro, movimento não desejado ou necessidade de ajuste adicional.

Estratégias de mitigação: Conforme Salmon (2009), para mitigar essa patologia, considere as seguintes medidas preventivas:

- **Inspeções:** Estabelecer um cronograma de inspeção periódica para toda a estrutura, detectando prontamente quaisquer anomalias, incluindo a ausência ou soltura de parafusos.
- **Treinamento da Equipe:** Fornecer treinamento adequado para a equipe de montagem, enfatizando a importância do aperto correto dos parafusos e a verificação pós-montagem.
- **Procedimentos de Montagem:** Estabelecer procedimentos claros e detalhados para a montagem de ligações parafusadas, incluindo diretrizes específicas para o aperto adequado dos parafusos.
- **Utilização de Ferramentas Adequadas:** Garantir que as ferramentas utilizadas para apertar os parafusos sejam calibradas e adequadas para evitar super aperto ou aperto excessivo
- **Monitoramento de Qualidade:** Implementar sistemas de controle de qualidade que verifiquem a correta montagem das ligações parafusadas durante e após o processo de construção.
- **Uso de Dispositivos de Segurança:** Considerar o uso de dispositivos de segurança adicionais, como travas de parafuso ou arruelas de segurança, para prevenir o desaperto acidental dos parafusos.

4.3.3. Falhas na pintura

Ao inspecionar toda a estrutura, é possível identificar vários pontos com anomalias decorrentes de falhas de pintura. Na figura 52, é mostrado um desses pontos, e essa patologia é classificada como adquirida, pois surge devido à exposição contínua e interação com elementos externos ao longo do tempo, incluindo agentes ambientais, uso inadequado e falta de manutenção. Como há vários pontos com a mesma patologia, apenas este foi destacado como exemplo, sendo que as classificações são iguais, portanto, as estratégias de mitigação e reparação aplicam-se a toda a estrutura do galpão.

Essas anomalias foram classificadas como: Presença de porosidade, pois o revestimento de tinta apresenta descontinuidades.

Figura 52 – Porosidade na pintura da peça metálica



Fonte: Autor, 2024

Causa: A presença de porosidade nessas peças metálicas pode ter sido causada por contaminantes na superfície do metal, aplicação inadequada da tinta, presença de umidade ou solventes na superfície durante a aplicação, ou reações químicas indesejadas entre a tinta e o metal. Outra possível causa é a falta de preparação adequada da estrutura,

como a limpeza química ou mecânica antes da aplicação da pintura, conforme especificado na norma ISO 8501-1.

Estratégia de reparo: Para corrigir a porosidade nos pontos afetados na superfície da pintura, é necessário lixar suavemente a área para eliminar os poros e garantir uma superfície uniforme. Depois, a área deve ser limpa e devidamente preparada para receber uma nova camada de tinta. Dependendo da gravidade da porosidade, pode ser necessário aplicar uma camada de primer selante ou preenchedor para vedar os poros e fornecer uma base sólida para a nova camada de tinta (Nunes e Lobo, 2014).

Estratégia de mitigação: De acordo com Nunes e Lobo (2014), a mitigação dessas irregularidades exige:

- **Preparação adequada da superfície:** antes da aplicação da tinta, é essencial preparar adequadamente a superfície metálica por meio de limpeza química ou mecânica, conforme especificado nas normas relevantes, como a ISO 8501-124. Isso inclui a remoção de contaminantes, como óleos, graxas, ferrugem e resíduos de pintura antiga, para garantir uma adesão adequada da tinta e prevenir a impregnação e porosidade.
- **Controle da espessura da camada de tinta:** evite aplicar uma camada de tinta excessivamente espessa, pois isso pode levar à impregnação e ao enrugamento. Siga as recomendações do fabricante da tinta quanto à espessura adequada da camada de tinta e utilize métodos de aplicação adequados para garantir uma cobertura uniforme.
- **Controle das condições ambientais:** mantenha as condições ambientais ideais durante o processo de pintura, incluindo temperatura e umidade relativa do ar. Condições extremas de temperatura ou umidade podem contribuir para o enrugamento e porosidade da tinta. Além disso, evite aplicar tinta em condições de vento forte, pois isso pode interferir na aplicação e secagem adequadas da tinta.
- **Seleção adequada de materiais:** utilize materiais de pintura de alta qualidade e compatíveis com o substrato metálico para evitar problemas de

aderência e compatibilidade que podem levar à impregnação, enrugamento e porosidade da tinta.

- **Inspeção e manutenção regulares:** realize inspeções regulares das estruturas metálicas pintadas para identificar precocemente quaisquer problemas de pintura, como impregnação, enrugamento ou porosidade. Realize manutenção preventiva, como retoques de pintura, quando necessário, para garantir a integridade do revestimento ao longo do tempo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta inicial deste trabalho foi analisar as anomalias que afetam três construções com estruturas metálicas na cidade de Anápolis, Goiás. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as estruturas metálicas, as patologias que nelas surgem e as maneiras de reparar e mitigar tais problemas.

As principais manifestações patológicas encontradas nas obras, foram: falhas na pintura, falhas na montagem, falhas de projeto, corrosão e falhas de ligação metálica.

Ao analisar as evidências coletadas no estudo de caso e compará-las com a base teórica apresentada na revisão bibliográfica deste trabalho, foi possível concluir que as manifestações patológicas encontradas nas estruturas se originaram de falhas no projeto ou na execução da obra, bem como da utilização de materiais de baixa qualidade e pouca resistência. A falta de qualificação adequada da mão de obra também pode ter contribuído para esses problemas.

Os problemas surgiram logo após a montagem no primeiro caso, enquanto no segundo e terceiro caso, apareceram ao longo da utilização dos galpões, evidenciando os erros cometidos na execução da obra. Os problemas identificados nas construções estudadas poderiam ter sido evitados se tivessem sido utilizados materiais e métodos adequados para cada fase do projeto.

Portanto, para alcançar um excelente desempenho estrutural, é fundamental realizar todas as etapas construtivas, que englobam o projeto, o planejamento da construção, o uso de mão de obra qualificada e materiais de alta qualidade. Além disso, é essencial realizar manutenções periódicas para garantir a qualidade contínua da obra.

É imprescindível adotar uma abordagem mais aprofundada no tratamento dessas patologias, organizando de forma sistemática as informações obtidas por meio de inspeções visuais. Isso permitirá um controle tecnológico e fiscalização mais efetivos, minimizando as causas das patologias e assegurando um acompanhamento rigoroso do seu desenvolvimento na edificação.

Por último, é crucial que os problemas identificados neste estudo sirvam de alerta para a necessidade de cuidados rigorosos nas fases de fabricação e execução das obras com estruturas metálica. Isso é fundamental para garantir que essas construções alcancem os padrões esperados de desempenho e durabilidade, assegurando a segurança e o conforto dos usuários.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMADA, Max Silva et al. Estudo de viabilidade do uso das estruturas metálicas nas edificações. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2021. Disponível em: <https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/Contecc2021/Civil/ESTUDO%20DE%20VIABILIDADE%20DO%20USO%20DAS%20ESTRUTURAS%20MET%C3%81LICAS%20NAS%20EDIFICA%C3%87%C3%95ES.pdf>. Acesso em: 07 set. 2023.

ALMEIDA, Wanderley Ribeiro. Utilização de sistemas estruturais metálicos no atual cenário da construção civil brasileira: estudo de caso para a montagem de estrutura e cobertura de galpão industrial de médio porte. Monografia (PósGraduação em Gerenciamento de Obras), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/19172/1/CT_GEOB_XXIII_2017_35.pdf. Acesso em: 08 set. 2023.

ALVES, Gabriel Ferreira. Análise dos Avanços de Manifestações Patológicas em Algumas Edificações do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde - Go. 2020. 61 p. Monografia (Curso de Bacharelado de Engenharia Civil). Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2020. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1969/3/tcc_Gabriel%20Ferreira%20Alves.pdf. Acesso em: 17 out. 2023.

ANDRADE, ANDRÉ RICARDO. SISTEMA DE INFORMAÇÃO EXECUTIVA PARA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE GASES E MATERIAIS PARA SOLDA. 2000. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU.

ARAUJO, Anne Aguiar de. Gerenciamento de Falhas por Corrosão em Dutos. 2012. 156 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia da Puc, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=20714@1>. Acesso em: 26 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8.800: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2ª Ed. Rio de Janeiro.

BARCELOS FILHO, Jorge de Souza. Inspeção de tanques estruturais em embarcações. 2016. 47f. Monografia (Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas), Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.redebim.dphdm.mar.mil.br:8080/pergamumweb/vinulos/000015/0000151c.pdf>. Acesso em: 15 out. 2023.

BELLEI, Humberto Napoli. DESEMPENHO FRENTE À CORROSÃO DE PERFIS ESTRUTURAIS METÁLICOS "I" SOLDADOS POR ALTA FREQUÊNCIA PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL. 2006. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2006.

BELLEI, ILDONY HÉLIO; (REV.), BELLEI, HUMBERTO N. Edifícios de pequeno porte estruturados em aço. Instituto Aço Brasil. Rio de Janeiro: IABr/CBCA. 2011. 107p. Série Manual de Construção em Aço.

BELLEI, L. H.; PINHO, O. P.; PINHO, O. P. Edifícios de múltiplos andares em aço. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008.

BERNARDINO, Leonel Brignoli; ISOPPO, João Octávio Justo. Erros de projeto na execução de obras: estudo de caso em uma escola de educação básica no município de Sombrio – SC. 2017. 77f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4498/1/TCC%20Eng%20Civil%20Projetos.pdf>. Acesso em: 28 set. 2023.

BESSA, Antônio Ronivon de Oliveira. Manifestações patológicas em estrutura metálica: um estudo de caso da corrosão, causas e consequências em pilares treliçados na cidade de Água Nova-RN. 2019. 73f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/5057/1/Ant%C3%B4nioROB_MONO.pdf. Acesso em: 25 set. 2023.

CASTRO, E. M. C. de. Patologia dos edifícios em estrutura metálica. 1999. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6247/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_PatologiaEdif%c3%adciosEstrutura.pdf. Acesso em: 10 out. 2023.

CORTEZ, L. A. R.; MACIEL, C. A. S.; SANTOS, P. B.; LIMA, R. T.; SANTOS, T. M. F.; NASCIMENTO, M. M. G. Uso das estruturas de aço no Brasil. Cadernos de graduação, v. 4, n. 2, p. 217-228, 2017. Acesso em: 23 set. 2023.

DA SILVA CARDOSO, Wandercleiton; DA SILVA PORCINO, Brena. VANTAGENS DO SISTEMA DUPLEX A PINTURA DO AÇO GALVANIZADO À QUENTE COMO UMA ALTERNATIVA EFICIENTE PARA PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO.

FERREIRA FILHO, José Osvaldo. Estudo sobre os métodos convencionais de reabilitação e reforço de estruturas de aço. 2017. 88f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campo Mourão, 2017. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6433/2/metodosreabilitacao_reforco_estruturas.pdf. Acesso em: 25 set. 2023.

GARCIA, Rodrigo Figueiredo. Identificação de melhorias no controle da qualidade para obtenção da conformidade em obras de edificações – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2017.

GASQUE, Kelley Cristine G. D. **Teoria fundamentada: nova perspectiva à pesquisa exploratória.** In: MUELLER, Suzana Pinheiro Machado (Org.). Métodos para a pesquisa em Ciência da Informação. Brasília: Thesaurus, 2007. p. 83-118.

GENTIL, V. Corrosão, Rio de Janeiro: LTC, 2012. JONES, Denny. Principles and Prevention of Corrosion, New York: Macmillan Publishing Company, 1992

GOMES, Lucas Matos. A Utilização de estruturas metálicas na construção civil: formas de mitigar a corrosão. 2019. Disponível em: <http://dspace.unirb.edu.br/xmlui/handle/123456789/190>. Acesso em: 03 set. 2023.

GROSSO, Marcella. Detecção de defeitos em aços com revestimentos anticorrosivos através da técnica de termografia aliada ao emprego de simulação computacional. 2016. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais), Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://www.metalmat.ufrj.br/index.php/br/pesquisa/producao-academica/dissertacoes/2016-2/247--227/file>. Acesso em: 25 set. 2023.

INSTITUTO Brasileiro de Siderurgia – Centro Brasileiro da Construção em Aço. Ligações em estruturas metálicas. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2004.

ISO 8501-1 - Preparation of Steel Substrates before Application of Paints and Related Products - Visual Assessment of Surface Cleanliness - Part 1: Rust Grades and Preparation Grades of Uncoated Steel Substrates and of Steel Substrates After Overall Removal of Previous Coatings; Acesso em: 09 set. 2023.

JEFFUS, LARRY. Welding: principles and applications. Cengage Learning, 2020

JEFFUS, LARRY. Welding: principles and applications. Cengage Learning, 2016

Ligações em estruturas metálicas / Instituto Aço Brasil e Alexandre Luiz Vasconcellos (revisor). - Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil /CBCA, 2017. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/biblioteca/ligacoes-em-estruturas-metalicas>. Acesso em: 22 abril. 2024.

LIMA, Marcos Natan da Silva; MAIA, Pedro Paulo Nunes; ABREU, Hamilton Ferreira Gomes de. Microestrutura e dureza do aço baixo carbono com alto teor de manganês(27%P) laminado, In: CONGRESSO ANUAL DA ABM – INTERNACIONAL, 72º.; ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA METALÚRGICA – ENEMET, 17º., 02 a 06 out. 2017, São Paulo, SP, Brasil. Anais[...], São Paulo, v. 72, n. 72, p. 2699-2706, 2017.

MÁRQUEZ, L. A. G. Arquiteto Técnico LUIS ALBERTO GALDAMES MÁRQUEZ: THE IRON BRIDGE. Disponível em: <https://arquitetotecnico.blogspot.com/2018/02/the-iron-bridge.html>.

Metalrio - Estruturas e Coberturas Metálicas Comerciais e Residenciais. Disponível em: <https://metalrio.com.br/>. Acesso em: 16 out. 2024.

MUROLO, João Paulo. Análise Do Desempenho De Inibidor De Corrosão Na Armadura De Estruturas De Concreto. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade São Francisco, Itatiba, 2007.**

NARDIN, Fabiano Ângelo. A importância da estrutura metálica na construção civil. Itatiba: Universidade São Francisco (USF), 2008. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1268.pdf>. Acesso em: 16 set. 2023.

NASCIMENTO, Mariana Olímpio do. Processos de produção e avaliação do desempenho de tintas à base d'água para decoração e sua questão ambiental. 2018. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Departamento de Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/867>. Acesso em: 23 set. 2023.

NUNES, Laerce de Paula; LOBO, Alfredo Carlos O.. PINTURA INDUSTRIAL NA PROTEÇÃO ANTICORROSIVA. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2014. 425 p. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/42054/pdf/0?code=mDb6ETNpqNcGwJPlsT+LyFlMOKmz7tgALGPidbzAO9IWZAJsTbEK4j0gLVf3QNKRD80xB8eLttPwIDrDt2HHdg==>. Acesso em: 16 out. 2023.

OLIVEIRA, Alexia Marília de Sá; VIANA, Gabriel Lopes Coelho; RUFINO, Gustavo Lopes. Levantamento de manifestações patológicas em estruturas de aço e concreto armado. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC Palmas/TO, 2019. Disponível em: <https://www.confea.org.br/sites/default/files/uploads-imce/Contecc2019/Civil/LEVANTAMENTO%20DE%20MANIFESTA%C3%87%C3%95ES%20PATOL%C3%93GICAS%20EM%20ESTRUTURAS%20DE%20A%C3%87O%20E%20CONCRETO%20ARMADO.pdf>. Acesso em: 12 out. 2023.

OLIVEIRA, E. A utilização da estrutura metálica na construção civil. UNIDERP, Campo Grande, 2018. Monografia graduação.

OLIVEIRA, Silas Cesar. Influência da modificação superficial por ataque químico sobre a resistência mecânica em estruturas metálicas. 2019. 60f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, Goianésia, 2019. Disponível em: http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/1683/1/2019_1_SILAS.pdf. Acesso em: 03 set. 2023.

PANNONI, F. D. Projeto e Durabilidade. CBCA, Rio de Janeiro, 2017.

PEIXOTO, D. Patologia em elementos de ligação de estruturas metálicas, 2012.

PEIXOTO, Danielle de Souza Lelis. Patologia em elementos de ligação de estruturas metálicas. 2012. 79f. Monografia (Pós-Graduação em Construção Civil), Escola de Engenharia UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS9A4JH5/1/monografia_patologia_em_elementos_de_liga_o_em_estruturas_met_licas.pdf. Acesso em: 08 maio. 2024.

PEZZATO, L.M.,(2010) Patologias no Sistema Revestimento Cerâmico: Um Estudo de Caso em Fachadas. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo,

Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, São Carlos

PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8. ed. Rio de Janeiro - RJ: LTC, 2009.

PINHEIRO, A. C. F. B. Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos. 2. ed. São Paulo: Edgarg Blucher, 2005.

PORTES, Cleyton Précoma. Patologia em Estruturas Metálicas: Estudo de Caso em Torres de Linhas de Transmissão. 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/25341/1/Artigo%20TCC%20-%20Cleyton%20P%20Portes%20-%20Final.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2024.

PRAVIA, Zacarias M. Chamberlain; BETINELLI, E. A. Falhas em Estruturas Metálicas: Conceitos e estudos de caso. **Curso de Engenharia Civil da FEAR–UPF**, 2016.

PUGLIESI, M.; LAUAND, C. A.; SOARES, J. B. Estruturas metálicas. **Hemus**, 2005.

RAAD JÚNIOR, Antoine Aziz. DIRETRIZES PARA FABRICAÇÃO E MONTAGEM DAS ESTRUTURAS METÁLICAS. 1999. 218 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6285/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_DiretrizesFabrica%c3%a7%c3%a3oMontagem.pdf. Acesso em: 14 out. 2023.

RIOS, Fábio Remy de Assunção et al. Manifestações patológicas construtivas em edificações no centro de Campina Grande-PB. Revista On-line do Centro de Ensino Superior e Desenvolvimento, v. 18, n. 28/29, p.1-14, 2017. Disponível em: <http://revistatema.facisa.edu.br/index.php/revistatema/article/viewFile/1018/pdf>. Acesso em: 06 mar. 2024.

RODRIGUES, Robson André. O uso das estruturas metálicas na construção civil. 2017. 30f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Faculdade Finom de Patos de Minas, Patos de Minas, 2017. Disponível em: <https://www.finom.edu.br/assets/uploads/cursos/categoriasdownloads/files/20181017161001.pdf>. Acesso em: 26 set. 2023.

ROSCOE, M.T.,(2008) patologias em revestimento cerâmico de fachada. 80 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia, Belo Horizonte.

ROSSATTO, Bárbara Maier. ESTUDO COMPARATIVO DE UMA EDIFICAÇÃO EM ESTRUTURA METALICA/CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO. Santa Maria, RS, Brasil, 2015 TCC.

SACCHI, C. C.; CLEMENTE DE SOUZA, A. S. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E CONTROLE DE QUALIDADE NA MONTAGEM E FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia,

v. 13, n. 1, 2016. DOI: 10.5216/reec.v13i1.41214. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/41214>. Acesso em: 23 abr. 2024.

SACCHI, CAIO CÉSAR. Avaliação de Desempenho Estrutural e Manifestações Patológicas em Estruturas Metálicas. Universidade Federal de São Carlos – SP, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/8100>. Acesso em: 01 out. 2023.

SACCHI, Caio César; SOUZA, Alex Sander Clemente de. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E CONTROLE DE QUALIDADE NA MONTAGEM E FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 13, n. 1, p. 20-34, jan. 2024.

SALMON, Charles. G. JOHNSON, John. E. Steel structures – design and behaviour – enphasing load and resistance factor design. ed. Prentice Hall, 2009.

SANTANA, Jucelia de Souza. PATOLOGIAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS METÁLICOS NAS CONSTRUÇÕES DA CIDADE DE ARIQUEMES, RONDÔNIA. 2012. 42 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Faema - Unifaema, Ariquemes, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unifaema.edu.br/bitstream/123456789/3212/1/JUCELIA%20DE%20SOUZA%20SANTANA.pdf>. Acesso em: 05 out. 2023.

SANTOS, Bruna Anacleto; FIORITI, Cesar Fabiano; TSUTSUMOTO, Nayra Yumi. Investigação de manifestações patológicas nas estruturas de aço do parque do povo. Congresso Latino-americano da Construção Metálica, São Paulo, 2016. Disponível em: https://www.abcem.org.br/construmetal/2016/downloads/sessaoposter/13_Investigacao-de-Manifestacoes-Patologicas-nas-Estruturas-de-Aco-doParque-do-Povo.pdf. Acesso em: 17 out. 2023.

SCHLICHTING, Willyan Lima. A relevância do uso de estruturas de aço em obras habitacionais populares. 2018. 60f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão – SC, 2018. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4423/1/TCC%20-%20Relev%C3%A2ncia%20do%20uso%20de%20estruturas%20met%C3%A1licas%20em%20obras%20habitacionais-converted.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2024.

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, José Anselmo; NASCIMENTO, Irenildo Firme; LIMA, Marcos Severino. Principais ocorrências patológicas nas estruturas metálicas no município de Campina Grande-PB. III CONAPESC, 2018. Disponível em: http://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2018/TRABALHO_EV107_MD1_SA28_ID362_26032018071935.pdf. Acesso em: 25 set. 2023

SOUZA, Bruno. Uso do projeto robusto para identificação de fatores que contribuem na intensidade do aspecto de “casca de laranja” em superfície de para-choques pintados. 2015. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/38877/R%20-%20D%20-%20BRUNO%20DE%20SOUZA.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 25 set. 2023.

TEIXEIRA, Reinaldo Paulo. Patologias de estruturas metálicas. 2017. 31f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Faculdade Finom de Patos de Minas, Patos de Minas, 2017.