

UNIVERSIDADE TIRADENTES

ANNE KAROLYNE BARRETO PEREIRA

MILLA DOS SANTOS SILVA

**INSPEÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE AÇO
EM SERGIPE**

Aracaju

2018

**ANNE KAROLYNE BARRETO PEREIRA
MILLA DOS SANTOS SILVA**

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
ESTRUTURAS DE AÇO EM SERGIPE**

Trabalho Final de Graduação apresentado à
Universidade Tiradentes, como parte das
exigências para a obtenção do Grau de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Ma. Raquel Alves Cabral Silva

Aracaju
2018

**ANNE KAROLYNE BARRETO PEREIRA
MILLA DOS SANTOS SILVA**

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE AÇO
EM ARACAJU**

Trabalho Final de Graduação apresentado à
Universidade Tiradentes, como parte das
exigências para a obtenção do Grau de bacharel
em Engenharia Civil.

Aprovado em ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ma. Raquel Alves Cabral Silva
Orientador - UNIT

Prof. Ma. Gessyca Menezes Costa
Avaliador interno - UNIT

Prof. Me. Emerson Meireles de Carvalho
Avaliador externo - UFS

As nossas avós, nossas mães e familiares, pelo suporte nos momentos de aflição e pela compreensão nos momentos de ausência. Também por todo amor, carinho e cuidado que nos foi dado. Dedicamos este trabalho como

forma de reconhecimento por tudo que fizeram
por nós.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar presente sempre, nos protegendo e nos guiando por todos os nossos caminhos.

Às nossas avós, que além de exemplos de vida e de superação, adoçam a nossa vida com suas palavras de amor e fraternidade.

Aos nossos pais, guerreiros e desbravadores, que nos deixam sempre confiantes para conquistar o que quisermos independente da dificuldade que tenhamos que passar.

A nossa orientadora Raquel Cabral, que durante esse ano, nos preparou e nos mostrou o melhor caminho a seguir. Gostaríamos de agradecer pela paciência e pelas quartas de risadas. Obrigada pelas palavras de apoio e incentivo.

Aos nossos mestres, que exercem com perfeição esse papel tão digno. São únicos e ricos em conhecimento. Em especial, a Nayara Bezerra, por todo amor e carinho, pelo acolhimento e força. Ela consegue ganhar a todos a sua volta com um carisma único.

Aos coordenadores do curso de Engenharia Civil da Unit por melhorar o curso diariamente. Estamos vendo o curso crescer graças ao corpo Docente que só melhoram com o passar dos anos.

Aos funcionários da coordenação por toda dedicação, em especial a Sérgio e Ana. Obrigada estarem sempre dispostos a ajudar. Vocês são demais!

Obrigada a todos que fazem parte dessa conquista!

“O cientista descobre o que existe, enquanto que o engenheiro cria o que nunca existiu”.

(THEODORE VON
KÁRMAN)

RESUMO

Em um contexto onde o predomínio das construções é de concreto, o aço traz um grande diferencial. Estas estruturas esbeltas e mais leves modernizam o cenário da construção civil. O aço como material estrutural possui diversas vantagens em relação ao concreto, mas suas desvantagens são significativas e devem ser sempre levadas em consideração na elaboração do projeto para aumento da vida útil da edificação. Uma das desvantagens do aço são as possíveis patologias que podem ocorrer em caso de obras mal executadas ou projetos mal elaborados. Por ainda se tratar de uma novidade (quando comparado ao concreto), as construções com estruturas metálicas ainda não possuem uma vasta área de pesquisas relacionadas às suas patologias, o que dificulta o tratamento das mesmas. A grande maioria dos trabalhos relacionados às patologias das construções são relacionados às estruturas de concreto armado, sendo assim difícil encontrar materiais e trabalhos relacionados às manifestações patológicas das obras de aço. Diante do cenário apresentado, o trabalho em questão traz estudos de caso de obras com estruturas metálicas em utilização no estado de Sergipe. Foram realizadas visitas e registros fotográficos de cinco construções com manifestações patológicas nos seus componentes. Por fim, foi possível analisar as causas e sugerir possíveis soluções para as patologias existentes. De acordo com as análises dos resultados obtidos, percebe-se que a maior parte das patologias encontradas nas obras é a corrosão e que poderia ser facilmente evitada se houvessem preparos da estrutura e maiores cuidados no detalhamento das peças antes da sua instalação.

Palavras-chaves: Patologias – Aço – Construção Civil.

ABSTRACT

In a context where the first plane is concrete, the channel contains a large differential. These structures are more and more modern modernizing the construction scenario. The text of the organizations and must be led practices in the action to the realistic to the useful of edification. Data donations are the possible tasks that can occur in case of poorly executed works or poorly designed projects. Because it is still a new reality, as the constructions with metallic structures do not yet have a research area linked to their pathologies, which makes it difficult to treat them. The great majority of the work related to the construction pathology is related to the structures of reinforced concrete, so it is so difficult to find raw materials and works related to the manifestations of steel works. Considering the presented scenario, the work in question brings case studies of steel structures in use in the state of Sergipe. Visits and photographic records of five constructions with pathological manifestations in their components were carried out. Finally, it was possible to analyze the causes and propose solutions for the existing pathologies. According to the classifications of the obtained results, it is noticed that most of the pathologies found is a corrosive solution that can be easily avoided if the preparation of the structure before its installation.

Keywords: Pathologies - Steel - Civil Construction.

LISTAS

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de fabricação do aço.	22
Figura 2- Gráfico tensão x deformação.	25
Figura 3 - Diagrama tensão x deformação dos aços A36 e A588.	26
Figura 4 - Curvas de incêndio e respostas da estrutura.	28
Figura 5 - Detalhes para prevenir a corrosão em estruturas expostas à ação de intempéries. ...	30
Figura 6- Aços especificados por Normas Brasileiras para uso estrutural.	30
Figura 7 - Categorias de corrosividade atmosférica e exemplos de ambientes.	36
Figura 8 - Ciclo dos metais.	42
Figura 9 - Esquema de condensação de umidade sobre as superfícies ferrosas.	43
Figura 10 - Processo de formação da ferrugem através da carepa.	43
Figura 11 - Construção 1, Centro, Aracaju (SE).	49
Figura 12 - Construção 2, São José, Aracaju (SE).	50
Figura 13 - Construção 3 (SE).	50
Figura 14 – Construção 4, Farolândia, Aracaju (SE).	51
Figura 15 – Construção 5, Augusto Franco.	52
Figura 16 - Corrosão na estrutura do telhado.	53
Figura 17 - A) Fundo da treliça com corrosão e B) Frente da treliça que também apresentam corrosões.	54
Figura 18 - Cobertura do estádio onde estão as patologias.	55
Figura 19 - A) Cobertura do estádio onde estão as patologias e B) Detalhes das patologias...55	55
Figura 20 - A) Guarda-corpos da Construção 2. B) Parafusos dos guarda-corpos.	56
Figura 21 - A) Cadeiras próximo a área de deficiente. B) Corrosão nos parafusos das cadeiras.	56
Figura 22 - Pilares de sustentação de cobertura de passarela.	58
Figura 23 - Fixações dos pilares das passarelas.	59
Figura 24 - Detalhe da Construção 4.	60
Figura 25 -A) Arco com a presença de processos corrosivos. B) Estrutura da cobertura danificada.	61
Figura 26 - Quadra sendo utilizada pela população mesmo com estrutura danificada.	61
Figura 27 - A) Uma das entradas da quadra onde o telhado está comprometido. B) Vista superior das proximidades onde o telhado está comprometido.	63
Figura 28 - A) Encontro da viga com o pilar. B) Pontos de corrosão.	63
Figura 29 - Ponto sem cobertura e vista geral da quadra.	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais características e aplicações dos aços-carbono.....	23
Quadro 2 - Propriedades mecânicas mínimas.....	26
Quadro 3 - Informações da Figura 3.....	28
Quadro 4 - Custos de uma estrutura metálica.....	34
Quadro 5 - Construções de referência para o estudo de caso.	48
Quadro 6 - Origem das patologias encontradas.....	65
Quadro 7 - Tipos de corrosão observadas nas construções.	66
Quadro 8 -Resumo das obras visitadas.....	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Origem das patologias encontradas.	65
Gráfico 2 - Tipos de corrosão encontradas.	66

LISTA DE SIGLAS

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing and Materials

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. OBJETIVOS	17
1.1.1. Objetivo geral	17
1.1.2. Objetivos específicos	17
1.2. JUSTIFICATIVA	18
1.3. METODOLOGIA	18
1.4. LIMITAÇÕES	18
1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	19
2. ESTRUTURAS DE AÇO	20
2.1. BREVE HISTÓRICO	20
2.2. PROPRIEDADES DO AÇO.....	22
2.2.1. Propriedades Físicas	23
2.2.2. Propriedades Mecânicas	23
2.3. TIPOS DE AÇOS	30
2.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS	31
2.4.1. Vantagens.....	32
2.4.2. Desvantagens	33
2.5. AÇO <i>VERSUS</i> CONCRETO	33
2.5.1. Trabalhabilidade	34
2.5.2. Homogeneidade/ heterogeneidade	35
2.6. NORMAS DE REFERÊNCIAS PARA ESTRUTURAS METÁLICAS	35
2.7. DURABILIDADE DOS COMPONENTES METÁLICOS FRENTE À CORROSÃO.....	36
3. PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES	38
3.1. PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS METÁLICAS	39
3.1.1. Processo de corrosão	41
3.2. MEDIDAS DE PROTEÇÃO	45
4. METODOLOGIA	48
4.1. CONSTRUÇÃO 1	49
4.2. CONSTRUÇÃO 2	49
4.3. CONSTRUÇÃO 3	50
4.4. CONSTRUÇÃO 4	51
4.5. CONSTRUÇÃO 5	51

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1. CONSTRUÇÃO 1	53
5.2. CONSTRUÇÃO 2	54
5.3. CONSTRUÇÃO 3	57
5.4. CONSTRUÇÃO 4	60
5.5. CONSTRUÇÃO 5	62
5.6. PATOLOGIAS ENCONTRADAS	64
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
6.1. CONCLUSÕES	68
6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
REFERÊNCIAS	69

1. INTRODUÇÃO

A nova ordem mundial tem provocado mudanças geopolíticas, organizacionais e tecnológicas, que impõe novas estruturas sociais. Especificamente na área tecnológica da construção civil, a utilização de elementos metálicos tem proporcionado rapidez e novas soluções para sistemas estruturais em geral. No caso do Brasil, é possível observar na paisagem urbana o destaque existente das estruturas em aço. O aço, aliado aos outros elementos da construção civil permite ampliar a plasticidade arquitetônica em várias situações do projeto (PINHEIRO, 2008).

As edificações têm uma grande importância para realização das atividades humanas, então, quanto mais avançadas são suas obras e técnicas, mais rápida a execução e melhores os resultados obtidos. Assim, em um contexto onde a maioria das construções predominantemente é de concreto, as estruturas de aço chegaram trazendo um diferencial em relação ao prazo de execução das mesmas e limpeza das obras, por exemplo.

O concreto armado é ainda hoje o principal modelo estrutural adotado na maioria das construções brasileiras. O seu aspecto construtivo é amplamente difundido, de fácil aprendizagem e, principalmente, de fácil aquisição, o que o torna preferencial em relação aos demais sistemas estruturais (CASTRO, 1999).

Segundo o mesmo autor, o aço está sendo redescoberto pelos projetistas, que estão procurando aproveitar melhor as suas vantagens. Mesmo que em alguns casos essa opção implique em um custo maior, este é quase sempre amortizado pela economia decorrente de outros aspectos, como a redução do tempo de construção.

Especificamente sobre o material, diferentemente do concreto armado, que é produzido na maior parte dos casos *in loco*, o aço é um material produzido em fábrica e composto por Ferro e Carbono basicamente. Este último é responsável pelo aumento da resistência do material, porém também pela redução da ductilidade, sendo assim de extrema importância a análise criteriosa da porcentagem deste elemento. Tem-se ainda que em função da presença, na composição química, de elementos de liga e do teor de elementos residuais, os aços são classificados em aço-carbono, que contêm teores normais de elementos residuais, e em aços-liga, que são aços-carbono acrescidos de elementos de liga ou apresentando altos teores de elementos residuais (PFEIL e PFEIL, 2011). Assim, o tipo de aço a ser utilizado na obra é dependente do custo, da disponibilidade do material e da necessidade do projeto.

Como os sistemas industrializados de um modo geral, a estrutura metálica ainda é mais cara do que os sistemas tradicionais, principalmente em função da necessidade de

proteção contra incêndio. Desta forma, a viabilização desse sistema tem sido verificada em empreendimentos que requerem redução do prazo de execução ou possuem restrições relacionadas à logística. Pela possibilidade de redução do prazo para a conclusão da obra, início das operações e consequente faturamento, tem-se verificado que edifícios para hotéis e *flats* compõem um mercado com amplo potencial para a utilização do aço como material estrutural, além dos edifícios comerciais que apresentam grande liquidez no mercado (BAUERMANN, 2002).

Diante deste contexto, o presente trabalho faz uma abordagem sobre as estruturas de aço, detalhando as propriedades deste material e analisando-se os sistemas estruturais compostos por ele. Além disto, o foco principal do estudo é a análise da estrutura de aço após sua utilização. Serão apresentadas patologias recorrentes neste tipo de construção, suas causas e possíveis soluções, já que devido a menor utilização desta estrutura em comparação às de concreto armado, suas falhas não são tão abordadas quanto aquelas.

O estudo será realizado com base em 5 obras localizadas no estado de Sergipe através de um estudo de caso e utilização de registro fotográfico. No estado, especificamente, as obras feitas com estruturas de aço são poucas, pois o predomínio no mercado da construção civil ainda é de estruturas de concreto armado. E destas poucas obras existentes, a grande maioria são públicas, a exemplo do: Distrito Industrial de Aracaju (terminal D.I.A) e Estádio Estadual Lourival Baptista (Batistão).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo geral analisar obras de aço em utilização no estado de Sergipe, abordando aspectos relacionados às principais patologias, a classificação dessas patologias e suas formas de prevenção e reparo.

1.1.2. Objetivos específicos

Em relação aos objetivos específicos do trabalho,

- a) Apresentar as patologias de cinco obras metálicas em utilização no estado de Sergipe;
- b) Determinar as possíveis causas dos problemas encontrados;

- c) Analisar as falhas encontradas, classifica-las de acordo com os autores da área e propor soluções.

1.2. JUSTIFICATIVA

Diante de um contexto onde o predomínio das construções são as de concreto armado, o aço chega inovando e trazendo diferenciais. Porém, devido ao relativo pouco uso ainda deste tipo de estrutura e às obras serem mais recentes que as estruturas convencionais de concreto, a mesma ainda não possui muitos estudos sobre suas manifestações patológicas assim como sobre suas formas de prevenção e tratamento.

1.3. METODOLOGIA

A metodologia escolhida para esse trabalho foi a pesquisa exploratória baseada em uma abordagem qualitativa. Para isso, foram realizadas visitas em cinco obras de aço em utilização para realizar análises dos locais. Além disso, fez-se a identificação das patologias por meio de registros fotográficos, com a finalidade de identificar as causas e possíveis soluções para os problemas.

De forma objetiva pode-se dividir a metodologia adotada no presente trabalho nas seguintes etapas:

- a) Levantamento dos principais tipos de patologias, causas, tratamento e prevenção destas nas estruturas metálicas de acordo com os autores e materiais técnicos disponíveis sobre o conteúdo;
- b) Seleção de obras no estado de Sergipe com manifestações patológicas para que fossem utilizadas como referências para as análises;
- c) Registro fotográfico das obras e das patologias observadas;
- d) Análise das patologias, apresentando suas causas e possíveis tratamentos além de propor alternativas que poderiam ser utilizadas em projeto para prevenção quanto às manifestações.

1.4. LIMITAÇÕES

Algumas edificações apresentam dificuldades de acesso e além disto, a maioria das construções da cidade ainda são de concreto. Existe um número menor de construções de aço, o que dificulta a busca pelas patologias.

1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para obtenção dos resultados, o respectivo trabalho foi dividido em 7 capítulos. Na introdução do trabalho está sendo discriminado os objetivos geral e específico, junto com a justificativa do tema, a metodologia utilizada e as limitações existentes no desenvolvimento do trabalho. Já o segundo capítulo que é sobre estruturas de aço temos um breve histórico do tema, suas propriedades, os tipos de aço encontrados, vantagens e desvantagens e um comparativo entre estruturas de concreto e aço mostrando quais são os principais pontos positivos e negativos entre os dois. Além disso, no mesmo é encontrado normas de referências para estruturas metálicas, as principais recomendações para a execução desse tipo de estrutura e a durabilidade dos componentes metálicos frente a corrosão.

No terceiro capítulo é encontrado as patologias nas estruturas metálicas, os tipos de patologias mais comuns. Além disso, são falados os processos de corrosão nas estruturas e quais as medidas de proteção. O quarto capítulo é a metodologia do trabalho, descreve toda a forma que o trabalho foi feito. É neste capítulo que são exibidas as localizações de estudo do trabalho em questão. Seguindo, no quinto capítulo é encontrado o estudo de caso, com as fotos dos das patologias encontradas nos locais escolhidos, as possíveis causas das patologias, a classificação, medidas de soluções e o resumo das patologias encontradas.

No sexto encontram-se as considerações finais. Nele encontra-se a conclusão e a recomendações para trabalhos futuros. Por fim, no sétimo, temos as referências utilizadas para elaboração deste trabalho.

2. ESTRUTURAS DE AÇO

Neste capítulo serão abordados aspectos relacionados ao aço, suas propriedades e características. Além disto, far-se-á uma explanação sobre a utilização deste tipo de estrutura através de dados históricos a respeito da mesma.

2.1. BREVE HISTÓRICO

As evidências mais seguras da primeira obtenção do ferro indicam que tal fato se deu aproximadamente 6 mil anos a.C., em civilizações como as do Egito, Babilônia e Índia. O ferro era, então, um material considerado nobre, devido à sua raridade, com sua utilização se limitando a fins militares ou como elemento de adorno nas construções (BELLEI, et al. 2008).

As estruturas metálicas têm sido usadas desde o século XII, na forma de tirantes e pendurais de ferro fundido, que funcionavam como elementos auxiliares em estruturas de madeira. No século XVI, tornaram-se comuns as estruturas de telhado em ferro fundido, com sistemas estruturais pouco racionais, uma vez que nessa época a análise estática encontrava-se em fase inicial de desenvolvimento (SILVA, et al. 2018).

Das primeiras obras - como a Ponte *Ironbridge* na Inglaterra, de 1779 - aos ultramodernos edifícios que se multiplicaram pelas grandes cidades, a arquitetura em aço sempre esteve associada à ideia de modernidade, inovação e vanguarda, traduzida em obras de grande expressão arquitetônica e que invariavelmente traziam o aço aparente (INABA, 2018).

O ferro fundido começou a ser utilizado, causando um revolucionário impacto por apresentar propriedades elásticas muito melhores que a madeira ou a pedra, permitindo a aplicação das novas teorias e possibilitando que formas estruturais mais ousadas fossem utilizadas com maior confiabilidade (MANCINI, 2003).

Desse tempo para cá houve uma grande evolução das construções em estruturas de aço, além de um aumento exponencial da utilização deste material na construção civil. Foi na década de 20 que o Brasil começou realmente a desenvolver sua incipiente indústria siderúrgica, com a criação da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira (BELLEI, et al. 2008).

Segundo Pfeil e Pfeil (2011) em 1857 foi inaugurada a ponte sobre o rio Paraíba, Estado do Rio de Janeiro. Os vãos de 30 metros são vencidos por arcos atirantados, sendo os arcos constituídos de peças de ferro fundido montadas por encaixe e o tirante em ferro forjado.

De acordo com Dias *apud* (CASTRO, 1999), as primeiras obras em aço eram vinculadas às construções da primeira estrada de ferro no Brasil. Atualmente, o maior mercado para o aço dentro da construção civil se encontra na construção de prédios industriais e de *shoppings*, justamente devido a essas características. Vale ressaltar que o aço e o concreto trabalham com êxito juntos, já que o primeiro possui melhor resistência a tração e o segundo a compressão, somados os dois mantêm o equilíbrio nesses tipos de resistências nas estruturas.

Um dos principais fatores observados no retardamento da utilização do aço no Brasil foi a demora na criação de siderúrgicas, gerando dificuldade de fornecimento dos perfis de aço e, conseqüentemente, a necessidade de importá-los. As compras por meio de importação encareciam o material e tornavam a obra inviável economicamente. Além disso, os desenvolvimentos de tecnologias para essa tipologia construtiva, assim como sua divulgação, ficaram em segundo plano, já que se estabeleceu uma “cultura do concreto” no país. Essa cultura surgiu pelas facilidades de aprendizagem, de aquisição e de execução apresentadas pelo concreto (SALES, 2001).

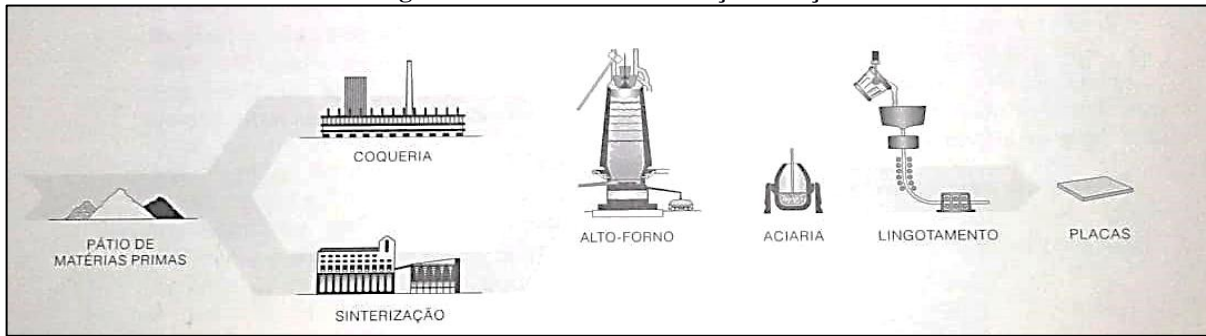
Segundo Castro (1999), até a década de 70, as construções metálicas eram restritas praticamente a instalações industriais e galpões metálicos. Somente a partir de meados dos anos 80 a estrutura metálica começou a ser utilizada em maior escala no país.

Para ajudar a difundir o uso do aço nas construções, a Companhia Siderúrgica Nacional criou em 1953, como um dos seus departamentos, FEM – Fábrica de Estruturas Metálicas (desativada em 1998), que iniciou a formação de mão-de-obra especializada, bem como do ciclo completo de produção das Estruturas Metálicas (BELLEI, et al. 2008).

Pode-se resumir o processo de fabricação do aço em quatro grandes etapas: preparo das matérias-primas (Coqueria e Sinterização); produção de gusa (Alto-forno); produção de aço (Aciaria) e conformação mecânica (Laminação) (DIAS, 1998).

O processo de fabricação do aço é apresentado na Figura 1. Percebe-se que é um processo simples descritos em 6 etapas.

Figura 1 - Processo de fabricação do aço.



Fonte: DIAS, 1998.

Foram erguidos edifícios de andares múltiplos em estruturas metálicas no Brasil, a exemplo do Edifício Garagem América, Edifício Avenida Central e Edifício Escritório Central da CSN (BELLEI, et al. 2008).

O parque industrial brasileiro dispõe atualmente de diversas usinas siderúrgicas, com capacidade de fabricar produtos para estruturas de grande porte. Com o desenvolvimento da ciência das construções e da metalurgia, a estruturas metálicas adquiriram formas funcionais e arrojadas, constituindo-se em verdadeiros trunfos da tecnologia (PFEIL e PFEIL, 2011).

2.2. PROPRIEDADES DO AÇO

O aço representa um material natural. Sua matéria bruta, o ferro, constitui um dos elementos mais abundantes no nosso planeta sendo, portanto, parte integrante do núcleo terreno. A utilização de estruturas metálicas na construção civil tem proporcionado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções arrojadas, eficientes de alta qualidade (MANCINI, 2003).

Ele pode ser definido como uma liga metálica composta principalmente de ferro e de pequenas quantidades de carbono (de 0,002% até 2,00%, aproximadamente), com propriedades específicas, sobretudo de resistência e de ductilidade, muito importantes para as suas aplicações na Engenharia Civil (DIAS, 1998).

Dias (1998) ainda fala que, nos aços da construção civil, o teor de carbono é da ordem de 0,18 a 0,25%. O aumento do teor de carbono constitui a maneira mais econômica para obtenção da resistência mecânica nos aços, atuando primordialmente no limite de resistência. Por outro lado, prejudica sensivelmente a ductilidade e a tenacidade do material.

O Quadro 1 mostra as principais influências e aplicações da quantidade de carbono no aço. Percebe-se que quanto maior a quantidade de carbono maior o limite usual de resistência, porém algumas características são prejudicadas.

Quadro 1 - Principais características e aplicações dos aços-carbono.

CLASSE	LIMITE USUAL DE RESISTÊNCIA (MPa)	CARACTERÍSTICAS	PRINCIPAIS APLICAÇÕES
Baixo carbono	<440	Boa tenacidade, conformabilidade e soldabilidade.	Pontes, edifícios, navios, caldeiras, tubos, estruturas mecânicas, etc.
Médio carbono	440 a 590	Médias conformabilidade e soldabilidade.	Estruturas parafusadas de navios e vagões, tubos, estruturas mecânicas, implementos agrícolas, etc.
Alto carbono	590 a 780	Más conformabilidade e soldabilidade, alta resistência ao desgaste.	Peças mecânicas, implementos agrícolas, trilhos e rodas ferroviárias.

Fonte: Adaptado de DIAS, 1998.

Nos próximos subitens, serão expostas as propriedades do aço e os ensaios que podem ser realizados para facilitar o entendimento a respeito da ação das patologias sobre as estruturas de aço.

2.2.1. Propriedades Físicas

O aço é um material que possui diversas propriedades. Estas, por sua vez, determinam seu desempenho e desvantagens. Segundo a NBR 8800:2008, as seguintes características físicas podem ser adotadas em todo tipo de aço estrutural, na faixa normal de temperatura atmosférica:

- a) Módulo de deformação longitudinal ou módulo de elasticidade (E) = 200.000 MPa;
- b) Coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$;
- c) Coeficiente de dilatação térmica $\beta = 12 \times 10^{-6}$ por °C.

2.2.2. Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas constituem as características mais importantes dos aços, para a sua aplicação no campo da engenharia, visto que o projeto e a execução das estruturas metálicas, assim como a confecção dos componentes mecânicos, são baseados no seu conhecimento (DIAS, 1998).

A determinação das propriedades mecânicas é realizada através de ensaios de corpos de provas confeccionados usando normas técnicas, para que o teste apresente resultados padronizados de acordo com as prescrições normativas. Estas propriedades definem o comportamento dos aços quando sujeitos a esforços mecânicos e correspondem às características que determinam a sua capacidade de resistir e transmitir esforços que lhes são aplicados, sem romper ou sem que ocorram deformações excessivas (DIAS, 1998).

Segundo Mancini (2003), a elasticidade de um material é a sua capacidade de retornar à forma original depois de cessados os efeitos (solicitações) que provocaram as deformações. Na fase elástica, a variação da tensão aplicada, em relação à deformação produzida obedece à lei de Hooke, ou seja, o efeito é linearmente proporcional à causa. Já a plasticidade é a deformação permanente provocada por tensão igual ou superior ao limite de escoamento.

O aço apresenta ainda uma importante propriedade chamada de ductilidade, que é a capacidade de o material se deformar sobre a ação das cargas. Os aços dúcteis, quando sujeito a tensões locais elevadas sofrem deformações plásticas capazes de redistribuir as tensões. Já a fragilidade é o oposto da ductilidade, pois os aços podem se tornar frágeis pela ação de diversos agentes: baixas temperaturas ambientes, efeitos térmicos locais causados, exemplo, solda elétrica (NETO e CUNHA, 2017).

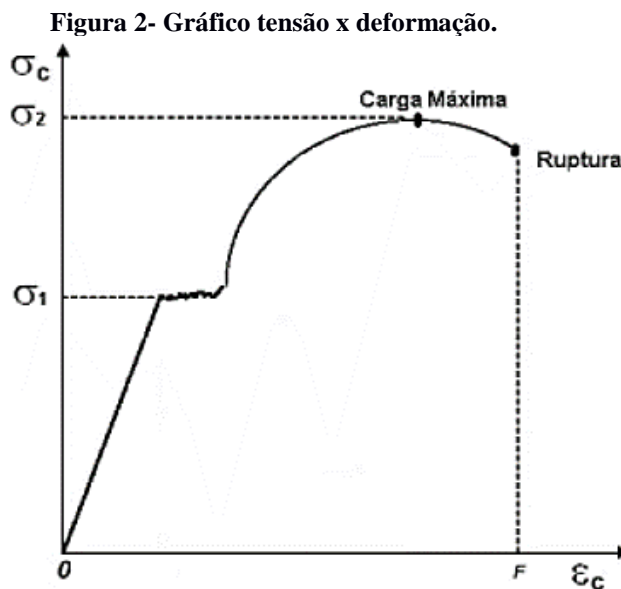
Em linguagem comum, muitas vezes confunde-se estabilidade e rigidez, imaginando-se que algo será tanto mais estável quanto mais rígido. A estabilidade estrutural é um requisito indispensável de qualquer sistema estrutural, na medida em que está associada à questão do equilíbrio. Por outro lado, a rigidez está relacionada à maior ou menor capacidade da estrutura de sofrer deformações em função das ações que agem sobre ela, ao longo de sua vida útil, daí a importância da ductilidade do material (MANCINI, 2003).

Segundo Neto e Cunha (2017), outras duas propriedades de grande importância são a resiliência e tenacidade, as quais se relacionam com a capacidade do metal de absorver energia mecânica. Elas podem ser definidas com auxílio dos diagramas tensão *versus* deformação. Resiliência é a capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico, ou, o que é equivalente, a capacidade de restituir energia mecânica absorvida. Tenacidade é a

energia total elástica e plástica que o material pode absorver por unidade de volume até a sua ruptura.

De acordo com Mancini (2003), o caso mais simples de solicitação de uma barra metálica é o esforço de tração axial, que introduz deformações que podem resultar em ruptura da seção transversal da barra. Para este caso, a relação entre a tensão aplicada e a deformação resultante é obtida por intermédio do diagrama tensão *versus* deformação. Os valores para a construção deste diagrama são obtidos submetendo-se o material ao ensaio de tração, sendo a deformação medida com o auxílio de um aparelho denominado extensômetro, acoplado à máquina de ensaio (DIAS, 1998).

A Figura 2 mostra o comportamento de uma barra metálica quando submetida ao esforço de tração.



Fonte: TAKAHASHI, 2006.

Com base na Figura 2, percebe-se que, no momento de tensão 1, a barra sai do regime elástico e passa por um processo de escoamento. Já na tensão 2, regime plástico, é exibida a carga máxima de suporte da barra. É importante lembrar que, a barra não rompe logo ao atingir a tensão 2, ela ainda apresenta a fase de estricção (redução da seção sob carga, característica de material dúctil) e, após isso, rompe.

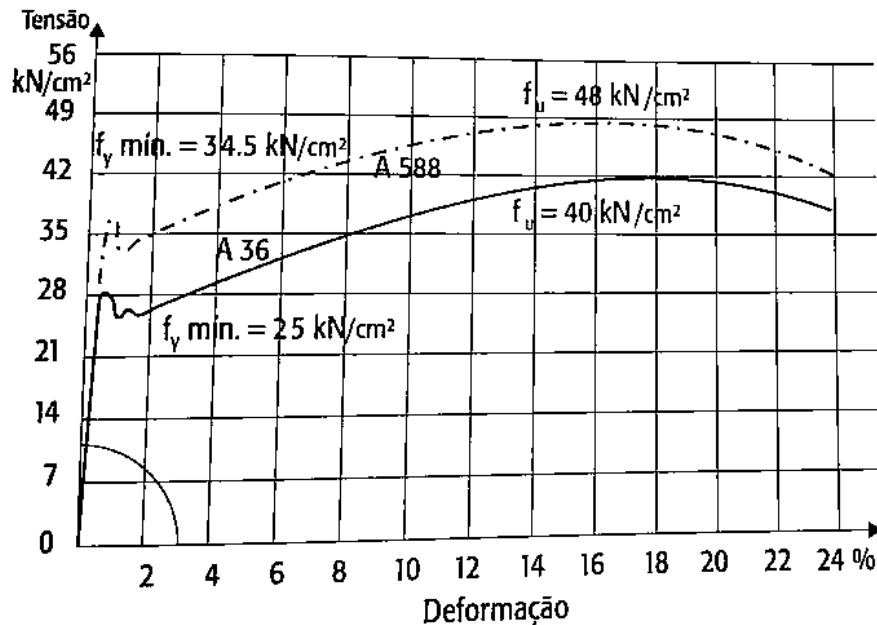
Todo projeto de estruturas de aço parte de algumas características mecânicas importantes que são o Limite de Escoamento, chamado de “ f_y ”, e o Limite de Ruptura, chamado de “ f_u ” (BELLEI, et al. 2008).

Dentro de certos limites (fase elástica), ao tracionar-se uma peça, a sua deformação segue a lei de Hooke, ou seja, é proporcional ao esforço aplicado. A proporcionalidade pode

ser observada no trecho retilíneo do diagrama tensão-deformação e a constante de proporcionalidade é denominada módulo de elasticidade ou módulo de deformação longitudinal. Ultrapassando o limite de proporcionalidade, tem lugar a fase plástica, na qual ocorrem deformações crescentes sem variação da tensão (patamar ou escoamento). O valor constante da tensão, nessa fase, é chamado limite de escoamento do aço (DIAS, 1998).

A Figura 3 apresenta o diagrama tensão *versus* deformação típico de um ensaio de tração dos dois tipos de aço mais comuns, ASTM A36 e A588. No gráfico, onde é exibido o comportamento de ambos os aços, é possível perceber que o aço A588 possui uma maior tensão de ruptura, ou seja, este aço suporta um maior esforço de tração que o aço A36.

Figura 3 - Diagrama tensão x deformação dos aços A36 e A588.



Fonte: BELLEI, et al. 2008.

O Quadro 2 apresenta as propriedades mecânicas (limite de escoamento e ruptura) dos aços estruturais mais comuns.

Quadro 2 - Propriedades mecânicas mínimas.

Denominação	Características	Propriedades mecânicas mínimas			
		Limite de escoamento f_y		Limite de ruptura f_u	
		tf/cm ²	kN/cm ²	tf/cm ²	kN/cm ²
ASTM A36 / MR 250	Aço-carbono estrutural comum	2,5	25	4,0	40
ASTM A36 / MDCOS CIVIL	Aço-carbono média resistência	3,0	30	4,0	40
ASTM A570 G33	Aço-carbono laminado a quente para perfis dobrados a frio	2,3	23	3,6	35
ASTM A572 G50-1 /	Aço de baixa liga e alta	3,5	34,5	4,5	45

G35	resistência mecânica				
ASTM A709 G36	Aço de baixa liga e alta resistência à corrosão atmosférica	2,5	25	4,0	40
ASTM A709 G50, USI SAC-300, COSARCOR 300 e CSN COR-420	Aço de baixa liga e alta resistência à corrosão atmosférica	3,0 3,0	30 30	4,0 4,2	40 42
ASTM A588, USI SAC-350, COSARCOR 350	Aço de baixa liga e alta resistência mecânica e à corrosão atmosférica	3,5	34,5	4,9	49
ASTM A709 G70, USI SAC-490	Aço de baixa liga e alta resistência mecânica e à corrosão atmosférica	4,9	49	5,8	58

Fonte: Adaptado de BELLEI, et al. 2008.

Os edifícios em geral, quer sejam comerciais, residenciais, institucionais e mesmos os industriais, podem necessitar de proteção das estruturas contra a ação do fogo, que poderá ocorrer durante um incêndio (BELLEI, et al. 2008).

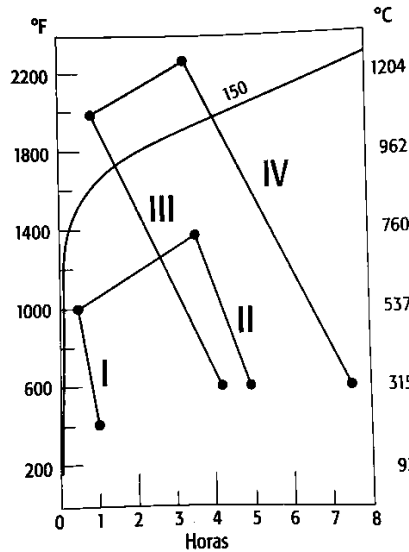
As temperaturas elevadas modificam as propriedades físicas do aço. Temperaturas superiores a 100°C tendem a eliminar o limite de escoamento bem definido. As temperaturas elevadas reduzem as resistências a escoamento (f_y) e ruptura (f_u), bem como o módulo de elasticidade (E) (PFEIL e PFEIL, 2011).

Os aços carbono (ASTM A36, A572, etc) e os de baixa liga, como ASTM A588 (USI-SAC 350 e 300, COSARCOR 500 e 400), são os mais comuns usados nas construções de edifícios. Todos eles têm sua resistência reduzida em 50% a partir da temperatura média de 550°C, que é considerada como uma temperatura limite. Essa redução de 50% significa que o fator de segurança usado normalmente nos cálculos não existe mais (BELLEI, et al. 2008).

Existe uma norma que considera o fogo como carga nas estruturas metálicas. Na NBR 14323/99 – Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio o critério de ruína de uma estrutura sujeita à ação do fogo é baseado na curva tempo *versus* temperatura (BELLEI, et al. 2008).

A Figura 4 apresenta o comportamento das curvas de tempo e temperatura das estruturas em algumas situações de incêndio.

Figura 4 - Curvas de incêndio e respostas da estrutura.



Fonte: Adaptado de BELLEI, et al. 2008.

Para compreensão das informações da Figura 4, o Quadro 3 mostra a relação das curvas (I a IV), a intensidade, duração e respostas da estrutura e os seus níveis de danos. A garantia de estabilidade de um elemento estrutural sob ação do fogo cessa quando, sob efeito da elevação da temperatura, a resistência mecânica desse elemento diminui até se igualar às solicitações de cálculo às quais o elemento está sujeito (BELLEI, et al. 2008).

Quadro 3 - Informações da Figura 3.

Curva	Intensidade	Duração	Resposta da estrutura e níveis de danos
I	Baixa	Curta	Alguns danos à estrutura
II	Baixa	Longa	Alguns danos à estrutura; não ocorre colapso
III	Alta	Curta	Idem II
IV	Alta	Longa	Alguns danos à estrutura; pode ocorrer o colapso

Fonte: Adaptado de BELLEI, et al. 2008.

Os aços resistentes ao fogo são basicamente resultado de modificações de aços resistentes à corrosão atmosférica. As adições são ajustadas sempre no limite mínimo possível, de forma que garantam um valor determinado e elevado de resistência mecânica a tração, proporcionando também boa soldabilidade e mantendo o padrão de excelente resistência à corrosão atmosférica, intrínseco ao aço de origem (DIAS, 1998).

A corrosão é um fenômeno natural e por isso é necessário que se aprenda a conviver com a sua ocorrência. Como dito anteriormente, o aço carbono é o metal mais empregado na confecção dos perfis das estruturas metálicas devido às suas propriedades mecânicas. Porém, na maioria das aplicações, este aço é utilizado com proteção porque ele apresenta uma grande

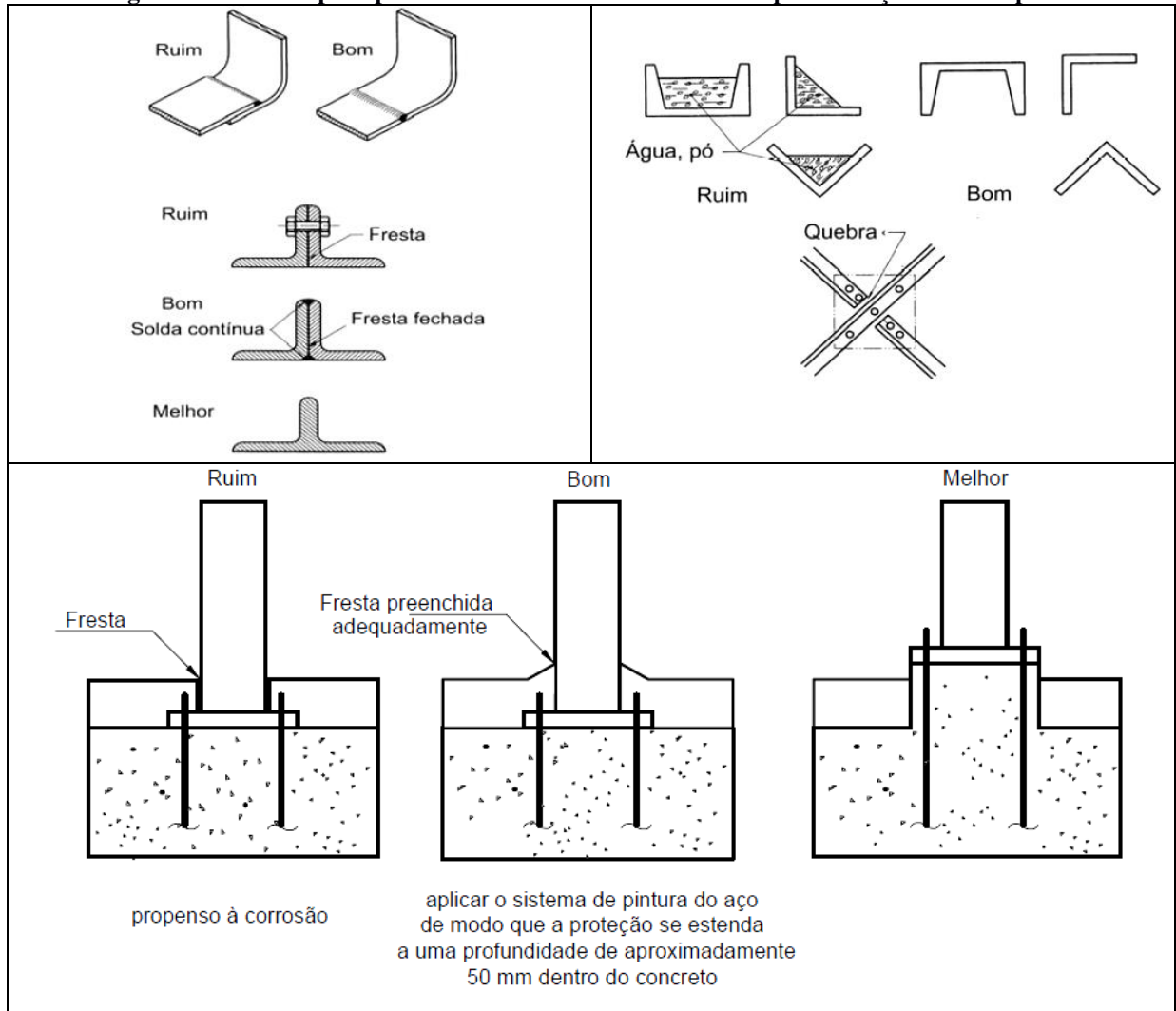
tendência a corrosão. A atmosfera é o principal meio de ocorrência deste fenômeno (CASTRO, 1999).

Ainda segundo Castro (1999), a corrosão pode se apresentar de duas formas: corrosão em frestas e corrosão uniforme. A corrosão em frestas se caracteriza por ocorrer em pontos onde existam duas superfícies em contato ou muito próximos entre si. Já a corrosão uniforme se caracteriza por apresentar uma superfície metálica tomada por uma camada de óxido de ferro (ferrugem) pouco aderente.

Em geral, as peças metálicas recebem uma ou duas demãos de tinta de fundo (primer) após a limpeza e antes de se iniciar a fabricação em oficina, e posteriormente são aplicadas uma ou duas demãos da tinta de acabamento. Tem-se ainda o processo de galvanização, o qual consiste na adição, por imersão, de uma camada de zinco às superfícies de aço, após a adequada limpeza (PFEIL e PFEIL, 2011). Ainda segundo o mesmo autor e também a NBR 8800:2008, algumas providências adotadas no projeto contribuem para o aumento da vida útil da estrutura de aço exposto ao ar, tais como evitar pontos de umidade e sujeira, promover a drenagem e aeração e evitar pontos inacessíveis à manutenção e pintura.

A Figura 5, mostra situações a serem evitadas e quais devem ser adotadas para prevenir a corrosão em estruturas.

Figura 5 - Detalhes para prevenir a corrosão em estruturas expostas à ação de intempéries.



Fonte: (NBR 8800, 2008).

2.3. TIPOS DE AÇOS

O aço com função estrutural deve ser estudado a fundo para que nenhum problema venha a ocorrer. Existem alguns tipos de aço que foram aprovados para utilização em estruturas metálicas, que estão listados na NBR 8800:2008 e apresentados na Figura 6.

Figura 6- Aços especificados por Normas Brasileiras para uso estrutural.

ABNT NBR 7007			ABNT NBR 6648			ABNT NBR 6649 / ABNT NBR 6650		
Aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral			Chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural			Chapas finas (a frio/a quente) de aço-carbono para uso estrutural		
Denominação	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Denominação	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Denominação	f_y (MPa)	f_u (MPa)
MR 250	250	400	CG-26	255	410	CF-26	260	400
AR 350	350	450	CG-28	275	440	CF-28	280	440
AR 350	350	485				CF-30	300	490
COR	415	520						
AR 415								
ABNT NBR 5000			ABNT NBR 5004			ABNT NBR 5008		
Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica			Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica			Chapas grossas e bobinas grossas, de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural		
Denominação	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Denominação	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Denominação	f_y (MPa)	f_u (MPa)
G-30	300	415	F-32/Q-32	310	410	CGR 400	250	380
G-35	345	450	F-35/Q-35	340	450	CGR 500 e		
G-42	415	520	Q-40	380	480	CGR 500A	370	490
G-45	450	550	Q-42	410	520			
			Q-45	450	550			
ABNT NBR 5920 / ABNT NBR 5921				ABNT NBR 8261				
Chapas finas e bobinas finas (a frio/ a quente), de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural				Perfil tubular, de aço-carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular ou retangular para usos estruturais				
Denominação	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Denominação	Seção circular		Seção quadrada e retangular		
				f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	
CFR 400	250	370	B	290	400	317	400	
CFR 500	380	490	C	317	427	345	427	
NOTAS:								
1) Para limitações de espessura, ver norma correspondente								

Fonte: NBR 8800/2008.

2.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS

A necessidade competitiva do mercado tem favorecido a utilização crescente de construções industrializadas, devido à maior possibilidade de otimização de custos (mediante contenção do desperdício de materiais), padronização, produção seriada e racionalização do consumo de energia. No Brasil, embora a construção metálica seja tradicionalmente menos utilizada na construção civil, pois há uma maior experiência com o emprego de sistemas construtivos em concreto armado, sua utilização tem crescido rapidamente nos últimos anos (TEIXEIRA, et al. 2008).

Assim como qualquer outro material utilizado na construção civil, o aço apresenta vantagens e desvantagens na sua utilização. Estas serão listadas nos subitens a seguir.

2.4.1. Vantagens

De acordo com Pinheiro (2008) e Castro (1999), as principais vantagens do aço são:

- a) Fabricação das estruturas com precisão milimétrica, possibilitando um alto controle de qualidade do produto acabado;
- b) Garantia das dimensões e propriedades do material;
- c) Material resistente a vibração e a choques;
- d) Possibilidade de execução de obras mais rápidas e limpas;
- e) Em caso de necessidade, possibilita a desmontagem das estruturas e sua posterior montagem em outro local;
- f) Alta resistência estrutural possibilitando a execução de estruturas leves para vencer grandes vãos;
- g) Possibilidade de reaproveitamento dos materiais em estoque, ou mesmo, sobras de obra;
- h) Grande diminuição do prazo de construção;
- i) São estruturas muito mais flexíveis.

Pelas vantagens expostas, o simples emprego de estruturas metálicas substituindo os elementos de concreto armado e mantendo todo o restante do acabamento da obra nos processos e padrões usuais, já altera radicalmente o planejamento da obra e traz consigo um novo “Processo Construtivo” (BELLEI, et al. 2008).

Ainda segundo Bellei, et al. (2008), o Processo Construtivo é modificado pela utilização da estrutura metálica devido seguintes às características:

- a) Menor custo de administração – Devido ao menor número de operários, menor prazo de obra e uma redução substancial dos gastos com limpeza da obra (retirada de entulhos);
- b) Economia nas fundações – Devido ao menor peso do edifício em aço (o esqueleto metálico pesa em média dez vezes menos que o de concreto), possibilitando uma redução do número de estacas por base e/ou do número de bases com o emprego de vãos maiores;

- c) Menor consumo de revestimento – Devido à maior precisão de fabricação das estruturas metálicas (milímetro e não centímetro), haverá uma redução significativa nas espessuras dos revestimentos (emboço e reboco);
- d) Rapidez de execução – Pela possibilidade de superposição de diversas atividades na obra, bem como um número maior de frentes para a mesma atividade.
- e) Maior lucratividade do investimento – Devido à maior velocidade de giro do capital investido e à maior área útil com elementos estruturais de menores dimensões.

Essas vantagens poderão ser ainda incrementadas se for associado a uma arquitetura voltada para a estrutura metálica e a utilização de outros componentes industrializados (BELLEI, et al. 2008).

2.4.2. Desvantagens

De acordo com Pinheiro (2008) e Castro (1999), as principais desvantagens do aço são:

- a) Limitação de execução em fábrica, em função do transporte até o local de sua montagem final;
- b) Necessidade de tratamento superficial das peças contra oxidação, devido ao contato com o ar atmosférico;
- c) Necessidade de mão de obra e equipamentos especializados para sua fabricação e montagem;
- d) Limitação de fornecimento de perfis estruturais
- e) O fato de ser um material geométrico, não plástico, torna um ponto limitante para criatividade;
- f) Necessidade de um revestimento protetor (pintura) para evitar o processo de corrosão e incêndio.

2.5. AÇO *VERSUS* CONCRETO

A necessidade de se fazer um estudo envolvendo as diferenças básicas entre as estruturas de aço e as de concreto armado se deve ao fato de os dois materiais apresentarem propriedades e características distintas frente às diversas situações de trabalho (CASTRO, 1999).

De acordo com Izadora Souza (2018), as estruturas de aço podem apresentar diversas desvantagens, pois são estruturas pouco indicadas em construção pequena por se tratar de uma estrutura industrial, não se justifica economicamente a encomenda de poucas peças; necessita de amarração, pois são necessários perfis complementares para se unir às superfícies de fechamento; as contrações e dilatações constantes podendo assim surgir trincas nas paredes e nos pisos.

Além disso, a precisão é fundamental, já que planejar cada detalhe da estrutura de aço e seus desdobramentos pode levar meses. Após a definição do tamanho da construção, a planta é desenhada pelo arquiteto e, só então, encaminhada para um engenheiro calculista, especializado no material. (SOUZA, 2018).

De acordo com Bellei, et al. (2008), em geral, os custos de uma estrutura metálica podem ser apresentados como descritos no Quadro 4. Nele pode-se perceber que as maiores porcentagens relativas ao custo se encontram nos materiais e insumos e na fabricação.

Quadro 4 - Custos de uma estrutura metálica.

Projeto estrutural	1% a 3%
Detalhamento	2% a 5%
Material e insumos	20% a 50%
Fabricação	20% a 40%
Limpeza e pintura	10% a 30%
Transporte	1% a 3%
Montagem	20% a 35%
Proteção passiva ao fogo	8% a 15%

Fonte: BELLEI, et al. 2008.

Castro (1999), faz o comparativo entre aço e concreto, dividindo-o em 7 tópicos: trabalhabilidade, homogeneidade, concepção, projeto estrutural, industrialização, proteção superficial e deslocamento estrutural. De forma resumida serão apresentadas as comparações quanto à trabalhabilidade e homogeneidade dos dois materiais de acordo com o autor.

2.5.1. Trabalhabilidade

Em relação à trabalhabilidade, o Concreto Armado é um material moldável, ou seja, assume qualquer forma desejada desde que seja exequível e estável. Isso significa que o projetista tem maior liberdade para definir formas mais criativas de acordo com sua vontade bastando apenas se fazer o molde da peça. Já o Aço é um material geométrico, não plástico. Se por um lado isso se torna um fator limitante em termos de criatividade, por outro tem a

vantagem de apresentar um novo material de funções estruturais com grande potencial estético.

2.5.2. Homogeneidade/ heterogeneidade

Em relação à homogeneidade, o Concreto Armado é um material heterogêneo, composto de areia, brita, cimento, água, ferro redondo trefilado e, em alguns casos, aditivos misturados nas devidas proporções e adequadamente executado em campo. Qualquer tipo de problema, seja com os materiais, seja com o método construtivo, tem consequências em seu desempenho.

Enquanto isso o aço é um material homogêneo. Isso implica maior precisão em termos de dimensionamento do que o concreto pois as deformações ocorridas na obra são muito próximas daquelas verificadas no cálculo. Consequentemente qualquer variação de sobrecarga também terá um efeito muito maior na estrutura de aço do que na de concreto.

2.6. NORMAS DE REFERÊNCIAS PARA ESTRUTURAS METÁLICAS

As estruturas metálicas são regidas, principalmente, pela NBR 8800:2008, mas existem outras normas que também auxiliam e regem essas estruturas como, por exemplo:

- a) NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- b) NBR 14762:2010 - Dimensionamento de estruturas de aço - perfis formados a frio;
- c) NBR 14611:2000 – Desenho técnico – representação simplificada em estruturas metálicas;
- d) N 293:2004 – Fabricação e montagem de estruturas metálicas;
- e) NBR 14323:2013 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio;
- f) NBR 14323/99 – Dimensionamento de estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio.

2.7. DURABILIDADE DOS COMPONENTES METÁLICOS FRENTE À CORROSÃO

Segundo a NBR 8800:2008, as estruturas de aço e mistas devem ser projetadas e constituídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto, e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem a segurança, a estabilidade e a aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

A proteção do aço contra corrosão atmosférica, fenômeno que ocorre na presença simultânea de água e oxigênio, visa assegurar sua durabilidade e a manutenção da estética durante o período de vida útil. Diversos tipos de proteção são disponíveis e sua escolha depende de fatores técnicos e econômicos (NBR 8800:2008).

A Figura 7 apresenta as categorias de corrosividade atmosférica a depender dos ambientes típicos nos quais as estruturas estarão.

Figura 7 - Categorias de corrosividade atmosférica e exemplos de ambientes.

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

Fonte: NBR 8800:2010

Dias (1998), afirma que as condições do meio em que um metal (ou uma estrutura de aço) se encontra determinam fortemente o tipo de tratamento que deverá ser empregado para protegê-lo dos efeitos da corrosão.

Ainda de acordo com Dias (1998), as condições do meio ambiente são classificadas em quatro tipos básicos:

- I. Condições normais – são aqueles em que estruturas metálicas estão expostas a ambientes de baixa agressividade;
- II. Condições Severas – são as condições de um ambiente sujeito a umidade, contaminantes sólidos em suspensão, emanações gasosas e variações de temperaturas, com indústrias poluentes nas proximidades, em locais cobertos ou descobertos.
- III. Condições agressivas – são as que reúnem todas as características que favorecem a corrosão, a exemplo de: proximidades da orla marítima, ações abrasivas, alta umidade, dentre outros.
- IV. Condições altamente agressivas – são as condições de ambiente em que as estruturas metálicas ficam expostas em locais submersos, ou enterradas, em meios de altíssima concentração de umidade, de características fortemente ácidas ou alcalinas, e submetidas a ação abrasiva ou a derrames de produtos químicos.

3. PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES

Ao longo da história mundial, o estudo das estruturas tem apresentado um grande avanço para o setor da construção civil, decorrente da necessidade de instalações físicas, para atender o substancial crescimento da população. Para que toda esta demanda fosse alcançada rapidamente houve a necessidade do desenvolvimento de materiais com novas performances estruturais e arquitetônicas, bem como economicamente viáveis (SARTORTI, 2008).

A negligência de princípios de projeto ao longo da história do uso do aço na construção civil brasileira, é responsável por grande parte das restrições sofridas por esse material, por resultar na adoção de soluções não otimizadas e, conseqüentemente, na elevação dos custos da obra e ocorrência de patologias (BAUERMANN, 2002).

A palavra patologia significa doença, e sendo ela físico-constructiva, se refere à integridade física de uma construção e seus componentes. Nesse sentido, patologia físico-constructiva seria todo problema físico apresentado por uma edificação, seja durante seu período de execução ou pós-ocupação (SALES, 2001).

Cada edificação possui uma resistência característica à ação de cada um dos agentes agressivos. A edificação pode ser imune à determinada intensidade de atuação de determinados agentes e não o ser para intensidades maiores. Por outro lado, pode acontecer das características da edificação favorecerem a ação de um agente agressivo. Diante deste quadro de incerteza, não é possível prever qual será a reação da edificação quando submetida ao agente externo, muito menos estabelecer um controle sobre este (CASTRO, 1999).

A identificação das origens e problemas patológicos permite, também, reconhecer para fins judiciais quem cometeu as falhas. Estudos apresentam que um elevado percentual dos problemas patológicos nas edificações é originado nas fases de planejamento e projetos (VITÓRIO, 2002).

O estudo das patologias estruturais engloba a análise detalhada do problema descrevendo as causas, as formas de manifestação, os mecanismos de ocorrência, a profilaxia e a manutenção estrutural (SARTORTI, 2008).

A patologia das edificações é uma das mais recentes áreas de pesquisa que estão em destaque dentro da engenharia civil, não só no Brasil como também nos demais países. Felizmente as discussões atuais procuram abordar não somente o aspecto da segurança, mas também o resultado da obra acabada no atendimento às satisfações e anseios dos usuários. Assim não somente os problemas estruturais são abordados como também os problemas dos demais componentes (CASTRO, 1999).

No Brasil, nos últimos vinte anos, os conhecimentos relacionados às patologias das estruturas de concreto tiveram um relevante avanço (BAUERMANN, 2002). Em face desta realidade, a Engenharia Civil, no ramo das Patologias Estruturais, tem realizado exaustivas pesquisas no sentido de interpretar os mecanismos inerentes à patologia, tais como: origens, formas de manifestação, resultados e métodos corretivos (SARTORTI, 2008).

As patologias têm evidentes custos das correções que se fazem necessárias para atendimento dos padrões mínimos de qualidade. Logo, falhas em projetos também devem ser consideradas patologias, pois resultam em desperdício e geram custos, sem agregar valor. As dificuldades e os problemas enfrentados durante a elaboração e compatibilização dos projetos, que geram retrabalho e soluções sub ótimas, devem ser considerados sintomas patológicos, assim como, a insatisfação do cliente e o desgaste de todos os participantes do processo (BAUERMANN, 2002).

Cada edificação possui uma resistência característica à ação de cada um dos agentes agressivos. A edificação pode ser imune à determinada intensidade de atuação de determinados agentes e não o ser para intensidades maiores. Por outro lado, pode acontecer das características da edificação favorecerem a ação de um agente agressivo. A predisposição da estrutura, ou de uma de suas partes, para apresentar problemas patológicos pode ser originada durante a fase de projeto, de construção ou ser adquirida na fase de uso (CASTRO, 1999).

Neste capítulo serão apresentadas as principais patologias das estruturas metálicas, assim como as recomendações contidas na literatura para tratá-las.

3.1. PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS METÁLICAS

Quando se faz a opção pelo aço vê-se que o processo construtivo é quase artesanal e aplicado a um sistema estrutural apropriado a uma filosofia industrial, ou seja, estamos construindo com o aço praticamente da mesma maneira que com o concreto, ou seja, tijolo sobre tijolo. Isso não necessariamente implica na ocorrência de problemas de compatibilidade entre os elementos estruturais de aço e os diversos elementos construtivos, porém se as diferenças não forem consideradas em pontos específicos durante as etapas de concepção, projeto e construção, fatalmente os problemas aparecerão. Este e outros fatores contribuem bastante para a ocorrência de problemas patológicos, que são os objetos de estudo dessa pesquisa (CASTRO, 1999).

Com a implementação do uso do aço na construção civil, principalmente nos últimos anos, também foi verificado que o edifício estruturado em aço, ainda que erigido sobre uma estrutura quase que completamente industrializada, não era imune a uma gama de patologias (BAUERMANN, 2002).

Na análise de uma estrutura danificada, é de indispensável importância que se conheçam as causas patológicas, pois além de um correto tratamento, é necessário que se garanta a minimização da patologia pós-recuperação (SARTORTI, 2008).

As manifestações patológicas em estruturas de aço, de modo geral, se relacionam aos processos de corrosão presentes nos seus elementos estruturais constituintes. E, mesmo quando identificados de forma localizada, como em ligações soldadas e parafusadas, são capazes de levar toda a estrutura ao colapso, resultando em incidentes com prejuízo material ou até incidentes com perda humana (NETO e CUNHA, 2017).

Vale ressaltar que a maior parte das patologias nas edificações em aço ocorrem devido à falta de informação e detalhamento necessário ao processo construtivo, decorrente do desconhecimento, por parte dos arquitetos e engenheiros, das novas tecnologias emergentes, (painéis de vedação, lajes etc.) e, principalmente, como estes sistemas se interpõem ao conjunto estrutural (MANCINI, 2003).

Normalmente as publicações que tratam sobre estrutura metálica se restringem ao comportamento, cálculo e dimensionamento das mesmas. Poucas se referem a concepção arquitetônica, estrutural e aos procedimentos construtivos. Quase não existem trabalhos em língua portuguesa que abordem especificamente as técnicas, procedimentos e materiais adotados para construção e manutenção em aço (CASTRO, 1999).

Segundo Neto e Cunha (2017), pode-se dividir as principais patologias das estruturas metálicas em três categorias:

a) Adquiridas - São patologias estruturais provenientes da ação de elementos externos, ou seja, a estrutura sofre a ação de agentes agressivos como líquidos corrosivos, atmosfera poluída, incêndios, vibrações, etc. São resultantes, em geral, de problemas relacionados com a falta de preparo inicial da estrutura ou com a falta de manutenção. É o típico caso de estrutura que não consegue se adaptar à ação do agente patológico. A corrosão é a mais frequente e visível delas.

b) Transmitidas – são aquelas causadas por vícios construtivos ou por falta de conhecimento técnico da Equipe de montagem. Uma especificação técnica bem elaborada, quando utilizada pela equipe de obra, pode reduzir e até eliminar este tipo

de patologia, onde se deve indicar, por exemplo, a não utilização de solda de campo quando se dispõe de ligações parafusadas devidamente detalhada no projeto.

c) Atávicas - São patologias resultantes de má concepção de projeto, erros de cálculo, escolha de perfilados ou chapas de espessura inadequada, ou ainda do uso de tipos de aço com resistência diferentes das consideradas no projeto. Muitas vezes comprometem a segurança e funcionalidade da estrutura e estão relacionados com o descuido, cobiça ou economia. São difíceis de serem reparadas e normalmente exigem uma recuperação de alto custo.

3.1.1. Processo de corrosão

A maioria das pessoas conhece, ou já ouviu falar, de um fenômeno de deterioração de materiais ferrosos chamado ferrugem. Quem nunca se deparou com uma geladeira ou fogão com suas partes tomadas por ferrugem, uma lâmpada travada no soquete, um portão de ferro emperrado, ou ainda aquele escapamento barulhento dos automóveis? Todos estes casos têm em comum a formação da ferrugem sobre a superfície de cada material, dando origem assim aos problemas mencionados. A ferrugem é o mais difundido exemplo de um fenômeno de degradação dos materiais denominado corrosão (CASTRO, 1999).

Corrosão é o processo de reação do aço com alguns elementos presentes nos ambientes em que se encontra exposto, sendo o produto desta reação muito similar ao minério de ferro. A corrosão promove a perda de seção das peças de aço, podendo se constituir em causa principal de colapso (PFEIL e PFEIL, 2011).

Os metais nobres (prata, ouro e platina) são estáveis e se encontram na natureza sob a forma metálica. Todos os demais metais são encontrados sob a forma de minérios e, portanto, em condições de maior estabilidade. Neste segundo grupo, se faz necessário a utilização do processo metalúrgico, a fim de transformá-los em metais (NETO e CUNHA, 2017). Os metais são sensíveis à corrosão, em maior ou menor grau, dependendo da sua natureza química e do meio ambiente em que se encontram (DIAS, 1998).

Na construção de edificações com estruturas de aço apresenta-se sempre a questão da proteção do aço contra a corrosão atmosférica, não apenas para garantir sua durabilidade durante o período de vida útil, mas também por razões estéticas. Diversos tipos de proteção são disponíveis e sua escolha depende de fatores técnicos e econômicos (NBR 8800/2008).

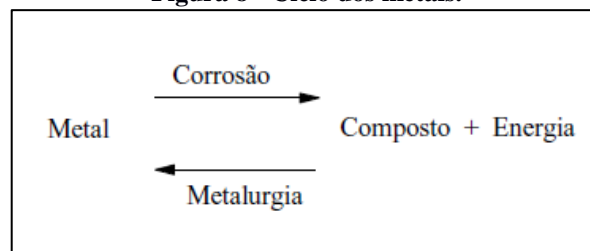
Genericamente é possível dizer que a corrosão é um processo inverso daquele de fabricação dos metais não nobres. Neste, o metal é obtido adicionando-se energia (processos

térmicos, químicos, elétricos e mecânicos) ao minério de ferro até reduzi-lo ao estado metálico. Na corrosão, o metal em estado metálico tende a reagir espontaneamente com o meio em que está inserido, perdendo aquela energia introduzida na fabricação e voltando a um estado não metálico (CASTRO, 1999).

Para que a corrosão do aço aconteça, é necessária a presença simultânea de água e oxigênio. Na ausência de um deles, a corrosão não acontecerá. Para que se possa fazer uma estimativa da susceptibilidade de uma estrutura quanto à corrosão, tornando possível a escolha de um sistema de proteção mais adequado ao ambiente, deve-se avaliar o ambiente local e seu microclima (NBR 8800, 2008).

Na Figura 8, tem-se a descrição do processo corrosivo. Percebe-se que o metal, transforma-se em composto mais energia quando passa pelo processo de corrosão.

Figura 8 - Ciclo dos metais.

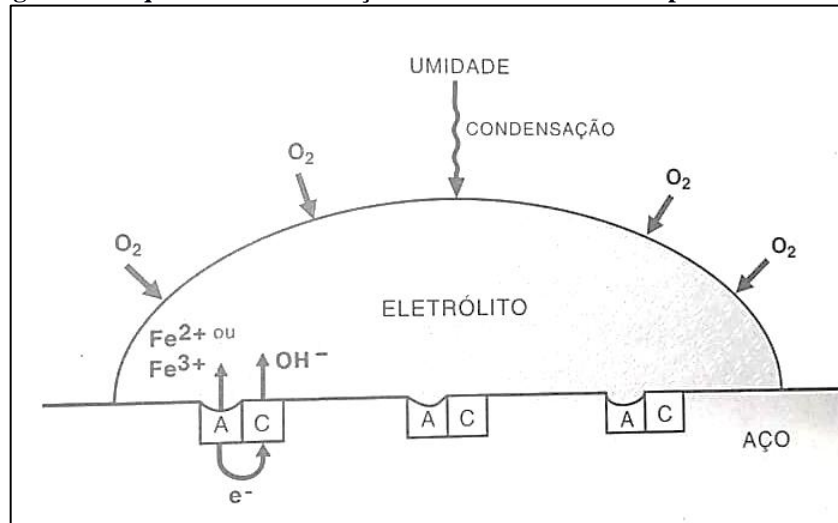


Fonte: NETO e CUNHA, 2017.

Se a superfície do aço for exposta a atmosfera úmida, na presença de poluentes, como gases, anidridos sulfurosos (SO_2) ou névoa salina (NaCl), o eletrólito será formado e ocorrerá a corrosão eletroquímica (DIAS, 1998).

A Figura 9 mostra o esquema da umidade na superfície do aço e os pontos de pequenas regiões catódicas ou anióticas.

Figura 9 - Esquema de condensação de umidade sobre as superfícies ferrosas.

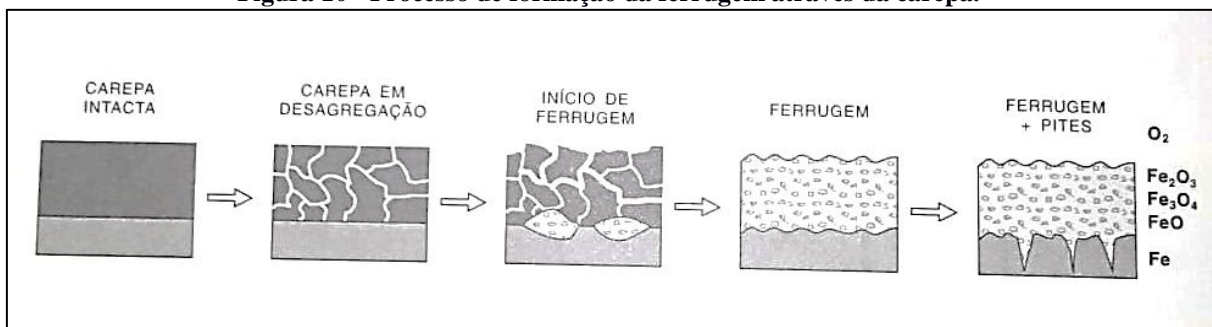


Fonte: DIAS, 1998.

Segundo Dias (1998), em uma estrutura, qualquer heterogeneidade provoca ou pode dar origem a um foco corrosivo. Um dos casos mais comuns é a carepa de aço. Por si só, a carepa proporcionaria uma proteção contra a corrosão, por constituir uma barreira consistente. Entretanto, como a carepa e o aço têm coeficientes de dilatação diferentes, com o sucessivo aquecimento e resfriamento dos dias e das noites, a carepa acaba trincando e permitindo a penetração da umidade e do oxigênio. Por isso, e porque a carepa tem comportamento catódico em relação ao aço, este acaba corroendo. Após algum tempo, a carepa se destaca completamente e na superfície só restará ferrugem solta.

A Figura 10 mostra o processo de formação da carepa. Percebe-se que os danos são sérios e profundos.

Figura 10 - Processo de formação da ferrugem através da carepa.



Fonte: DIAS, 1998.

De acordo com a NBR 8800:2008 (Anexo N), as atmosferas são classificadas em seis categorias de corrosividade, conforme apresentado na Figura 7.

Segundo Castro (1999), tem-se dois mecanismos básicos que abrangem todos os processos corrosivos existentes na natureza: a corrosão química e a corrosão eletroquímica.

No primeiro caso, a oxidação do metal ocorre sem a transferência de elétrons e é um mecanismo restrito basicamente a processos industriais submetidos a altas temperaturas, portanto serão desconsiderados neste trabalho. O segundo se caracteriza basicamente pela transferência de elétrons do ânodo para o cátodo através de uma ligação elétrica e um meio eletrólito que envolve os eletrodos, e constitui praticamente quase todos os casos de formação da corrosão.

Ainda segundo o mesmo autor, as condições necessárias para a ocorrência desse processo são a presença de água líquida, temperatura relativamente baixa – normalmente temperatura ambiente e formação de uma pilha eletroquímica.

Como mostrado, a corrosão é um processo muito preocupante e com grande risco para as estruturas metálicas. De acordo com Neto e Cunha (2017), a corrosão é dividida em onze tipos:

- I. Corrosão Uniforme: ocorre ao longo de toda extensão da superfície do elemento estrutural, quando o aço fica exposto ao ambiente externo, sofrendo assim a ação da umidade e do oxigênio. Promove a perda da seção do elemento ou peça de modo uniforme.
- II. Corrosão puntiforme: ocorre sob forma de pontos profundos diretamente ao longo da superfície do elemento estrutural, ou em pequenas regiões localizadas. Com esta patologia presente, pode-se ter casos de corrosão que culminem com a perfuração da espessura da chapa de aço da peça.
- III. Corrosão alveolar: se dá em forma de sucros de escavações produzindo crateras parecidas com alvéolos, apresentando fundo arredondado, profundidade geralmente menor que seu diâmetro e ocorrendo de maneira localizada.
- IV. Corrosão por esfoliação: ocorre ao longo de diferentes camadas do respectivo elemento estrutural, onde o produto da corrosão, formado entre a estrutura de grãos alongados, promove a separação das camadas constituintes, ocasionando um inchamento do material.
- V. Corrosão galvânica: ocorre quando dois metais diferentes estão em contato elétrico na presença de água, formando uma pilha e propiciando a criação de uma corrente elétrica entre ambos os metais, de modo que um dos metais cede elétrons ao outro e se corrói, o outro fica protegido e não sofre ataque intenso.

- VI. Corrosão por placas: acontece sob a forma de placas, com escavações ocorridas nas superfícies do respectivo elemento estrutural, se manifestando em algumas regiões da superfície metálica e não em toda a sua extensão.
- VII. Corrosão por frestas: surge nas frestas localizadas na junção de dois elementos de aço em contato ou muito próximos. É a diferença de oxigênio que produz a corrosão.
- VIII. Corrosão filetada: ocorre em forma de filetes, sendo estes bem definidos e isolados na região do enrijecedor da base do pilar, ocasionando o efeito de esfoliação ao longo de uma geometria bem definida em formato de filete.
- IX. Derramamento de produtos químicos (ferrugem babando): o desprendimento de produtos químicos advindos dos processos de corrosão acompanhados pelos líquidos ocasiona a oxidação vermelha e o aparecimento de pontos de oxidação branca proveniente da reação dos produtos com o zinco da galvanização.
- X. Cordões de solda: regiões de aplicação de soldas são aquecidas e depois resfriadas durante a execução do trabalho e, por isso, ficam sujeitas à formação de resíduos e de carepas frutos do processo de soldagem, apresentando superfícies irregulares e porosas. Além disso, também é sabido que as soldas ficam sujeitas a tensões solicitantes durante toda sua vida, o que favorece a aceleração do processo de corrosão.
- XI. Bases de colunas metálicas: as bases dos pilares ficam sujeitas a contatos com a água de chuva quando executadas ao nível do terreno ou piso nas áreas externas e sujeitas a produtos químicos quando instaladas nos interiores das construções.

Em resumo, os quatro pontos principais envolvendo a corrosão no projeto de uma estrutura metálica são:

- a) Não existe corrosão quando não existe contato de oxigênio e água com a superfície metálica;
- b) A taxa de corrosão potencial depende do grau de poluição atmosférica;
- c) A taxa real de corrosão depende do tempo de umidificação da superfície metálica;
- d) A taxa de corrosão localizada é influenciada pelo contato com outros metais.

3.2. MEDIDAS DE PROTEÇÃO

Como foi possível observar nos itens anteriores, as estruturas metálicas estão sujeitas a diversos tipos de patologias. Entretanto, a que mais afeta este tipo de estrutura é o processo de corrosão. Segundo Dias (1998), existem alguns cuidados que podem ser tomados na fase de projetos, conforme já apresentado na Figura 5:

- a) Prever a estrutura com furos de drenagem, em quantidade e tamanhos suficientes, para assegurar a drenagem da água;
- b) As cantoneiras devem ser projetadas para permitir o livre fluxo de ar, facilitando a rápida secagem da superfície;
- c) Cuidar em que os acessos sejam facilitados e os espaços, os mais amplos possíveis, para propiciar adequada manutenção;
- d) Não deixar cavidades nas soldas;
- e) Evitar juntas sobrepostas de materiais diferentes;
- f) Evitar a formação de pares, por exemplo, aço em contato com cobre, bronze ou outro metal;
- g) Evitar que peças fiquem semienterradas ou semi-submersa.

A corrosão é um processo natural e espontâneo. A proteção contra a corrosão, no entanto, não é natural, deve ser aplicada e tem impacto econômico (DIAS, 1998). De acordo com Bellei, et al. (2008), os dois métodos mais usuais de proteção das estruturas metálicas à corrosão são: a pintura e a galvanização. Mas, para que essas estruturas sejam bem protegidas é necessário um bom sistema de limpeza antes da aplicação de qualquer tratamento de superfície.

Bellei, et al. (2008), apresenta o processo de proteção das estruturas metálicas é dividido em 3 etapas. A primeira é a limpeza da peça. A limpeza do aço visa à remoção de óleo, gordura, graxas, carepas de laminação e partes oxidadas.

A segunda etapa citada pelo autor é a pintura. Em estruturas metálicas, pintura é toda composição aplicada à superfície do aço com finalidade de protegê-la contra corrosão causada pelo meio em que será exposto, de modo a garantir sua vida útil. Se a estrutura não for adequadamente protegida, pode sofrer danos por corrosão durante o transporte, a estocagem e montagem de campo, antes mesmo de sua utilização. Normalmente as peças estruturais são pintadas com uma ou duas demãos de tinta de fundo “primer”, imediatamente após a sua limpeza na oficina, e o acabamento é dado no campo em uma ou duas demãos.

A terceira e última etapa é a galvanização ou zincagem, o qual é um processo de proteção do aço contra corrosão, recobrando-o com uma camada de zinco metálico. A galvanização funciona como um revestimento de grande resistência à corrosão em função das propriedades de proteção catódica do zinco. A duração depende, fundamentalmente, da espessura da camada de zinco depositada, sendo que esta deve ser constante, uniforme ou com o mínimo de variações possíveis.

De acordo com Dias (1998), os principais métodos para proteger os metais contra a corrosão são o aumento da resistência do metal, redução da ação corrosiva do meio, interposição de barreira entre o metal e o meio e a galvanização ou zincagem.

4. METODOLOGIA

Diante das características, propriedades, vantagens e desvantagens apresentadas das estruturas metálicas, este trabalho tem como proposta o estudo destas estruturas após a sua utilização. O mesmo é um estudo de caso que analisa as patologias existentes em construções de aço localizadas nos municípios de Aracaju e São Cristóvão.

A metodologia utilizada no trabalho pode ser classificada como exploratória, com uma abordagem qualitativa e pode ser resumida em três etapas principais. De início a pesquisa foi baseada em artigos científicos, normas, dissertações e livros sobre o tema específico para aprofundamento do conhecimento relacionado às características e patologias das estruturas de aço. Logo depois foi elaborado um cronograma de visitas às construções utilizadas como referência para as análises, onde foram realizados registros fotográficos e anotações das patologias existentes.

Por fim, serão apresentados os tipos de patologias encontradas nas edificações, tabeladas e caracterizadas de acordo com a bibliografia de referência e serão realizadas análises sobre as mesmas a fim de propor possíveis causas e soluções para as mesmas.

Os materiais necessários para realização desta pesquisa foi apenas uma câmera fotográfica com boa resolução para registro das anomalias.

Para o estudo de caso foram escolhidas cinco construções de estruturas metálicas em utilização e com apresentação de manifestações patológicas em seus elementos, caracterizadas na Quadro 5, e apresentadas com mais detalhes nos subitens a seguir.

Quadro 5 - Construções de referência para o estudo de caso.

CONSTRUÇÃO	TIPO DE CONSTRUÇÃO
CONSTRUÇÃO 1	Terminal Rodoviário
CONSTRUÇÃO 2	Estádio de Futebol
CONSTRUÇÃO 3	Passarela
CONSTRUÇÃO 4	Quadra de esportes
CONSTRUÇÃO 5	Praça

Fonte: Autores, 2018.

4.1. CONSTRUÇÃO 1

A primeira construção a ser analisada é um Terminal visitado no dia 11 de setembro de 2018. A construção está localizada no Bairro Industrial, no município de Aracaju (SE). Um detalhe da localização da mesma é apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Construção 1, Centro, Aracaju (SE).



Fonte: Google Earth, 2018.

4.2. CONSTRUÇÃO 2

A segunda obra visitada foi um estádio de futebol, visitado no dia 19 de setembro de 2018. Este está localizado no município de Aracaju (SE), conforme detalhe apresentado na Figura 12. O estádio foi construído no dia 09 de julho de 1969 e a última reforma foi realizada em fevereiro de 2015. Apesar desta última grande reforma, o empreendimento já apresenta patologias na sua estrutura.

Figura 12 - Construção 2, São José, Aracaju (SE).



Fonte: Google Earth, 2018.

4.3. CONSTRUÇÃO 3

A terceira obra escolhida foi uma passarela localizada em uma universidade do estado, com detalhe da localização apresentado na Figura 13. A visita foi feita no dia 30 de agosto de 2018.

Figura 13 - Construção 3 (SE).



Fonte: Google Earth, 2018.

4.4. CONSTRUÇÃO 4

A quarta obra analisada foi um colégio visitado no dia 15 de outubro de 2018. O colégio foi fundado no dia 15 de abril de 1983, localizado no Bairro Farolândia, no município de Aracaju (SE). Deste colégio será utilizada como referência para o estudo uma quadra de esportes com cobertura metálica. Um detalhe da localização desta construção é apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Construção 4, Farolândia, Aracaju (SE).



Fonte: Google Earth, 2018.

4.5. CONSTRUÇÃO 5

A última obra visitada foi uma praça inaugurada em março de 2015. O projeto, lançado em 2008 e implementado em todo país, é destinado a comunidades com reduzido acesso a equipamentos públicos de esporte e lazer.

De acordo com o Ministério do esporte (2010), Aracaju foi a primeira cidade a inaugurar este tipo de praça. Um detalhe da localização desta construção é apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Construção 5, Augusto Franco.



Fonte: Google Earth, 2018.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

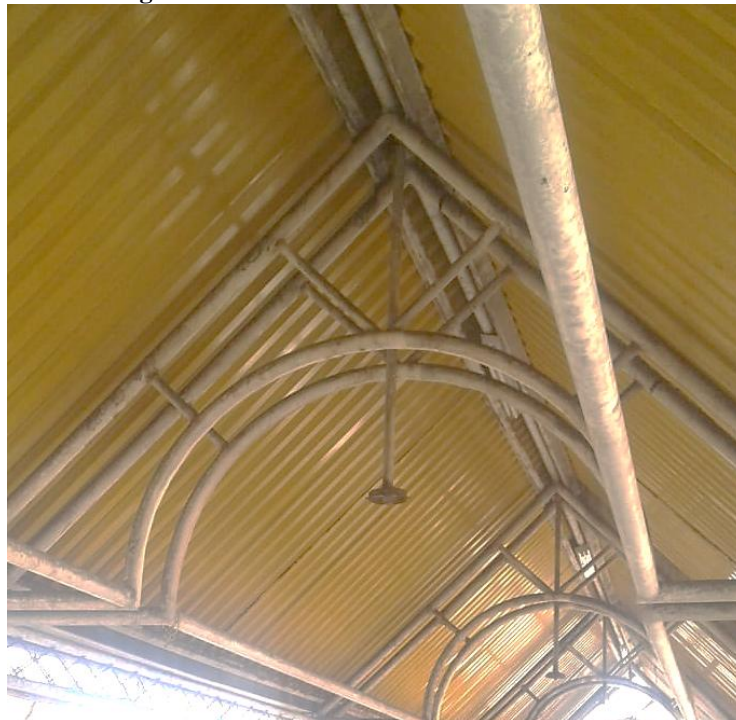
Neste capítulo serão apresentados os registros fotográficos das manifestações patológicas encontradas nos locais visitados, expostos no Capítulo 4. Além disso, serão apresentadas as prováveis origens e as possíveis soluções para a recuperação dos empreendimentos.

5.1. CONSTRUÇÃO 1

Esta construção é um terminal que está em operação desde 25 de janeiro de 2000 e teve a sua última reforma feita em setembro de 2017. Como este é um local público, de contínuo e elevado trânsito de pessoas, as patologias estruturais devem ser analisadas com maior cuidado.

Mesmo com tão pouco tempo da sua última reforma, a estrutura já se encontra em péssimo estado com patologias significativas, como mostram as Figuras 16 e 17. A Figura 16 apresenta um detalhe da cobertura metálica do terminal com elevado grau de corrosão.

Figura 16 - Corrosão na estrutura do telhado.



Fonte: Autores, 2018.

Já a Figura 17 exhibe as treliças que também apresentam um alto nível de corrosão.

Figura 17 - A) Fundo da treliça com corrosão e B) Frente da treliça que também apresentam corrosões.



Fonte: Autores, 2018.

Nesta construção em específico é importante ressaltar o local onde a mesma se encontra. O terminal está situado às margens do Rio Sergipe, ou seja, é um ambiente com elevado grau de umidade, corroborando com o que Neto e Cunha (2017) definem como corrosão uniforme. Segundo o autor, para que este tipo de corrosão aconteça o aço deve estar exposto ao ambiente externo, sofrendo assim a ação da umidade e do oxigênio, como o caso em questão.

O grande problema desta patologia para a estrutura é que a corrosão resulta em uma perda de seção do elemento, comprometendo assim a resistência do mesmo. Esta patologia é classificada, segundo Neto e Cunha (2017), como adquirida, pois são resultantes, em geral, de problemas relacionados com a falta de preparo inicial da estrutura ou com a falta de manutenção da mesma.

Nesta construção, deve-se fazer reparos na estrutura em um processo bem executado, passando por todas as etapas recomendadas por Bellei, et al. (2008): limpeza e pintura da peça e se for o caso, devido à perda de seção do elemento a execução de um reforço. Desta forma, há um risco menor de que o local passe por este processo patológico mais uma vez.

5.2. CONSTRUÇÃO 2

A Construção 2 é um estádio de futebol e assim como a Construção 1 é destinada a grandes públicos e acesso de pessoas. Mesmo com a grande reforma em 2015, o estádio já apresenta diversos elementos estruturais com patologias. O Estádio tem uma grande estrutura de cobertura feita em aço, como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Cobertura do estádio onde estão as patologias.



Fonte: Autores, 2018.

Por toda a estrutura, é possível perceber a presença de corrosão. O estádio também está localizado próximo ao Rio Sergipe, gerando um processo corrosivo puntiforme que, segundo Neto e Cunha (2017), ocorre sob forma de pontos profundos diretamente ao longo da superfície do elemento estrutural, ou em pequenas regiões localizadas. Com esta patologia presente, pode-se ter casos de corrosão que culminem com a perfuração da espessura da chapa de aço da peça. Detalhes desta patologia são apresentados na Figura 19.

Figura 19 - A) Cobertura do estádio onde estão as patologias e B) Detalhes das patologias.



Fonte: Autores, 2018.

Foram observadas também corrosões nas fixações dos guarda-corpos, conforme Figura 20. A corrosão que ocorre nesta situação, segundo Neto e Cunha (2017), é a corrosão uniforme, onde ocorre ao longo de toda extensão da superfície dos elementos. Os parafusos apresentam corrosão e são os únicos elementos de fixação da estrutura.

Figura 20 - A) Guarda-corpos da Construção 2. B) Parafusos dos guarda-corpos.



Fonte: Autores, 2018.

Outro ponto observado a critério de curiosidade (já que não é algo propriamente relacionado à estrutura) sobre a edificação analisada e, também, de grande importância são as fixações das cadeiras próximos das áreas reservadas aos deficientes, conforme detalhes da Figura 21.

Figura 21 - A) Cadeiras próximo a área de deficiente. B) Corrosão nos parafusos das cadeiras.



Fonte: Autores, 2018.

Conforme pode-se observar na Figura 21, os parafusos destes pontos encontram-se com grande processo de corrosão, assim como os parafusos de fixações dos guarda-corpos, apresentando um alto risco aos usuários.

A origem destas patologias pode ser classificada como adquirida. Segundo Neto e Cunha (2017), é o típico caso de estrutura que não consegue se adaptar à ação do agente patológico. Nesta obra, a solução de reparação também se encaixa nas três etapas citadas por Bellei, et al. (2008): limpeza e pintura da peça e se for o caso, devido à perda de seção do elemento a execução de um reforço. Em relação aos parafusos, os mesmos devem ser trocados, e é importante verificar o tipo de aço utilizado para o mesmo, pois o contato entre diferentes gera a formação de uma pilha, ocasionando assim a corrosão da peça.

5.3. CONSTRUÇÃO 3

A Universidade em questão, criada a 40 anos, apresenta diversas reformas de melhoria, mas infelizmente, como toda obra mal executada é possível observar defeitos muito rapidamente. Na visita realizada, utilizou-se como objeto de estudo uma passarela em estrutura metálica. Esta possui pilares e vigas em estrutura metálica para sustentação da cobertura.

Nesta estrutura utilizou-se um perfil tubular para os pilares e perfis W para as vigas. A Figura 22 apresenta um detalhe da passarela do campus.

Figura 22 - Pilares de sustentação de cobertura de passarela.



Fonte: Autores, 2018.

Os pilares desta cobertura são ligados a uma base, formada por chapa metálica e um pequeno bloco de concreto, através de 4 parafusos. Esta ligação encontra-se com alto grau de corrosão, conforme detalhes da Figura 23. De acordo com a classificação de Neto e Cunha (2017), na Construção 3 ocorre o tipo de corrosão das bases de colunas metálicas.

Figura 23 - Fixações dos pilares das passarelas.



Fonte: Autores, 2018.

Com base nas informações e imagens apresentadas sobre a Construção 3, pode-se associar as patologias a dois aspectos vistos na teoria. Primeiramente, pode-se citar a falha na proteção dos perfis estruturais deixando assim pontos da estrutura susceptíveis a corrosão. O segundo ponto a ser discutido é que, conforme recomendado pela NBR 8800:2008, os detalhes de projeto influem diretamente no desempenho da estrutura. Neste caso específico, a ligação do pilar com a base poderia ter um detalhamento mais efetivo, de forma a evitar o acúmulo de água nesta parte da estrutura. De acordo com os detalhes da ligação do pilar com a fundação apresentados na Figura 5, percebe-se que o projeto da cobertura não segue as melhores condições possíveis de acordo com a norma de referência.

Um ponto importante a ser levantado também é que esta estrutura fica exposta na universidade e que existem muitos cachorros na mesma, a urina dos animais também pode ocasionar processos corrosivos na peça.

Pode-se dizer que a origem das patologias presentes nessa construção é classificada como adquirida, diante da falha na pintura e ainda atávica diante da falha no detalhamento da peça. Nesta obra, a solução de reparação também se encaixa nas três etapas citadas por

Bellei, et al. (2008): limpeza e pintura da peça e se for o caso, devido a perda de seção do elemento a execução de um reforço.

Nesta construção em específico, recomenda-se também um novo detalhamento da peça de forma a proteger a base do pilar contra o acúmulo de água e a ação de agentes externos.

5.4. CONSTRUÇÃO 4

A Construção 4 é a quadra poliesportiva de um colégio localizado no município de Aracaju. Esta estrutura é utilizada tanto pelos estudantes do próprio colégio como pelas pessoas da comunidade.

A quadra do colégio é feita em estrutura metálica e apresenta diversas áreas com patologias. Na Figura 24, é possível observar a estrutura de maneira geral e, mesmo de longe, percebe-se o péssimo estado da estrutura. Nota-se, ainda na Figura 24, que esta quadra é composta por pilares treliçados e treliças metálicas em arco. Os perfis utilizados nos elementos estruturais são basicamente perfis “U” e “L” (também conhecidos como cantoneiras).

Figura 24 - Detalhe da Construção 4.



Fonte: Autores, 2018.

A Figura 25 mostra uma das localizações das ações dos processos corrosivos. Nestas fotos, verifica-se a presença de corrosão em sua estrutura quase por completo, especificamente na união do arco da cobertura com os pilares.

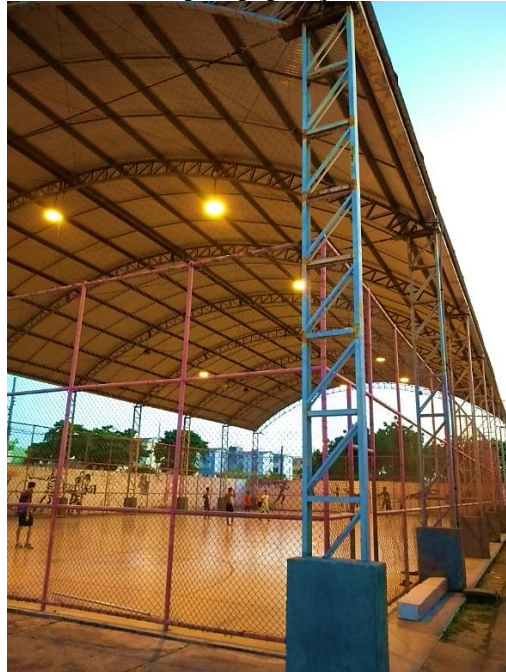
Figura 25 -A) Arco com a presença de processos corrosivos. B) Estrutura da cobertura danificada.



Fonte: Autores, 2018.

A Figura 26 mostra que, mesmo com a estrutura da quadra em péssimo estado de conservação, o local ainda é utilizado para a prática esportiva.

Figura 26 - Quadra sendo utilizada pela população mesmo com estrutura danificada.



Fonte: Autores, 2018.

Sobre os aspectos apresentados, pode-se levantar como ponto principal nesta estrutura a posição dos perfis “U” dos banzos inferiores da treliça. Com o “U” voltado para cima o mesmo favorece o acúmulo de água na estrutura, causando mais uma vez a corrosão da

estrutura como um todo. Outra observação a ser feita é que a ligação da treliça em arco com o pilar, da forma que foi realizada também facilita o acúmulo de água nesta região da estrutura.

Na Construção 4 ocorre a corrosão uniforme em diversos pontos e em outros pontos acontece a corrosão puntiforme. As origens das suas patologias podem ser classificadas como adquiridas, já que existe falha na proteção dos elementos e atávicas, no sentido de que o detalhamento das peças e das ligações estão diretamente ligados à corrosão observada. No banzo inferior das treliças poderiam ser realizados pequenos furos com o objetivo de que a água escoe ao invés de se acumular nessa região.

A quadra encontra-se em um estado de calamidade. Mesmo sendo uma estrutura bastante usada pelos alunos e comunidade, nada foi feito. O processo de solução não varia, pois, a situação é a mesma.

5.5. CONSTRUÇÃO 5

A Construção 5 é uma quadra destinada a várias práticas esportivas e está situada em uma praça. Toda a estrutura da quadra é metálica, tanto a cobertura quanto os pilares e vigas de sustentação. O local apresenta diversas patologias, como corrosão, aberturas nas telhas, dentre outros.

Com base na Figura 27a, é possível observar que logo na entrada uma das partes do telhado está ausente, facilitando o acesso da água e o contato da mesma com a estrutura. Já a Figura 27b mostra os diversos pontos da cobertura com a presença da ferrugem.

Os pilares e vigas da estrutura em questão são compostos de perfis do tipo “W” e as vigas possuem uma mísula próxima aos apoios já que a solicitação nessa região é maior, um detalhe destes elementos pode ser observado na Figura 28. Nesta figura é possível observar ainda que existem diversos pontos com a presença da corrosão, principalmente próximo dos pilares e das extremidades das vigas.

Figura 27 - A) Uma das entradas da quadra onde o telhado está comprometido. B) Vista superior das proximidades onde o telhado está comprometido.



Fonte: Autores, 2018.

Figura 28 - A) Encontro da viga com o pilar. B) Pontos de corrosão.



Fonte: Autores, 2018.

A Figura 29 exibe um outro ponto com ausência das telhas metálicas além de uma visão geral da cobertura da quadra. Percebe-se que em alguns pontos a perda de seção foi de tão grande valor que existem diversas aberturas. Nas telhas metálicas pode-se concluir que o

tipo de corrosão observada, segundo Neto e Cunha (2017), foi do tipo corrosão por placas, já que houveram grandes perdas de seção.

Figura 29 - Ponto sem cobertura e vista geral da quadra.



Fonte: Autores, 2018.

A quinta obra, encontra-se com diversas dificuldades e sérios problemas patológicos, sendo a origem destes problemas classificadas como adquiridas, já que mais uma vez existe falha na pintura das peças e atávicas, pois na região das ligações entre as vigas e pilares poderiam ser realizados pequenos furos para escoamento da água.

5.6. PATOLOGIAS ENCONTRADAS

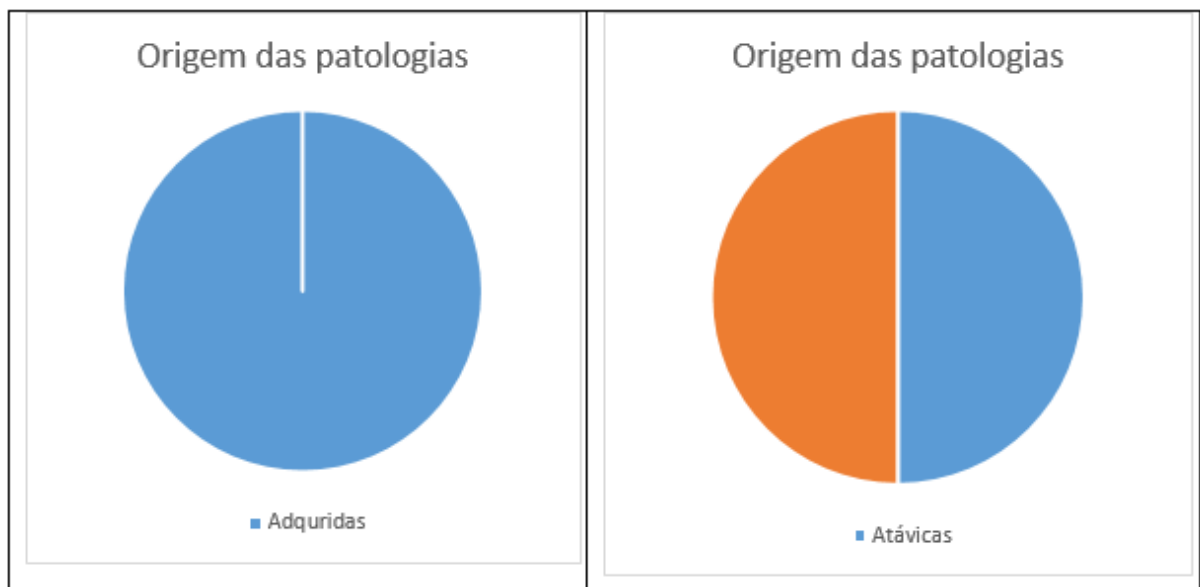
Foi possível observar, a partir do estudo de caso realizado, que as obras analisadas apresentam em sua totalidade a presença de corrosão. A causa da corrosão varia, foram observadas corrosões do tipo adquiridas e atávicas, conforme Quadro 6.

Quadro 6 - Origem das patologias encontradas.

Origem das patologias	Causa	Exemplo	Ocorrência da patologia nas obras visitadas
Adquiridas	Ação de elementos externos	Corrosão	Todas as construções
Transmitidas	Vícios de construção ou falta de conhecimento	Execução incorreta de solda	Nenhuma construção
Atávicas	Má concepção de projeto	Escolha incorreta de perfis	Construções 3, 4 e 5

Fonte: Autores, 2018.

Para melhor visualização da origem das patologias foi elaborado o Gráfico 1. Com base neste é possível observar que 100% das obras analisadas apresentaram patologias adquiridas e 50% das obras analisadas apresentaram patologias atávicas.

Gráfico 1 - Origem das patologias encontradas.

Fonte: Autores, 2018.

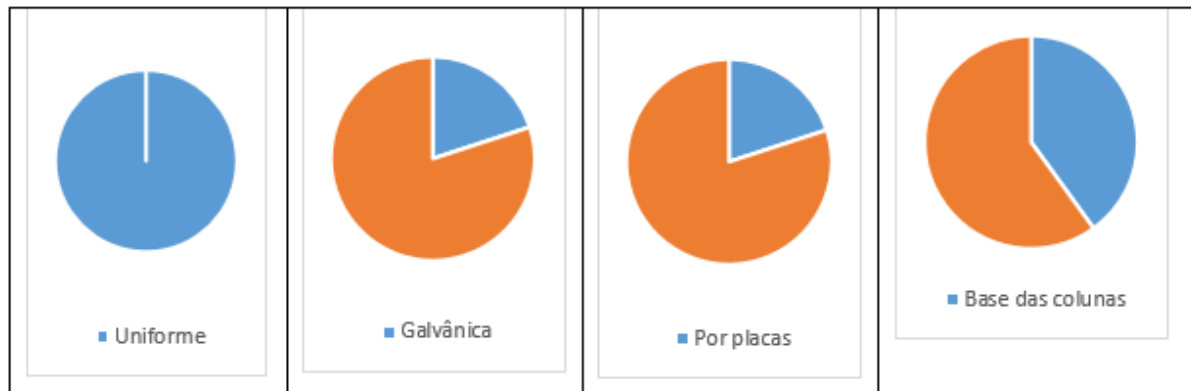
Em relação ao tipo de corrosão observada em cada construção visitada, tem-se um resumo das informações no Quadro 7.

Para melhor visualização da origem das patologias foi elaborado o Gráfico 2. Com base neste é possível observar que 100% das obras analisadas apresentaram corrosão uniforme, 20% das obras analisadas apresentaram corrosão galvânica, 20% corrosão por placas e 40% corrosão na base das colunas.

Quadro 7 - Tipos de corrosão observadas nas construções.

Tipo de corrosão	Definição	Ocorrência do tipo de corrosão nas obras visitadas
Uniforme	Ocorre ao longo de toda extensão da superfície do elemento estrutural, quando o aço fica exposto ao ambiente externo, sofrendo assim a ação da umidade e do oxigênio. Promove a perda da seção do elemento ou peça de modo uniforme.	Cobertura da Construção 1; Cobertura da Construção 2; Bases das colunas metálicas da Construção 3; Treliças e pilares treliçados da Construção 4; Vigas e Pilares da Construção 5.
Galvânica	Ocorre quando dois metais diferentes estão em contato elétrico na presença de água, formando uma pilha e propiciando a criação de uma corrente elétrica entre ambos os metais, de modo que um dos metais cede elétrons ao outro e se corrói, o outro fica protegido e não sofre ataque intenso.	Ligação entre as peças da Construção 2.
Por placas	Acontece sob a forma de placas, com escavações ocorridas nas superfícies do respectivo elemento estrutural, se manifestando em algumas regiões da superfície metálica e não em toda a sua extensão	Telhas metálicas da Construção 5.
Bases de colunas metálicas	As bases dos pilares ficam sujeitas a contatos com a água de chuva quando executadas ao nível do terreno ou piso nas áreas externas e sujeitas a produtos químicos quando instaladas nos interiores das construções.	Base das colunas das Construções 2 e 3.

Fonte: Autores, 2018.

Gráfico 2 - Tipos de corrosão encontradas.

Fonte: Autores, 2018.

Por fim, no Quadro 8, tem-se uma visão geral das causas, classificações e soluções das patologias observadas nas visitas realizadas neste estudo.

Quadro 8 -Resumo das obras visitadas.

CONSTRUÇÃO	PRINCIPAL PATOLOGIA ENCONTRADA	CAUSA PROVÁVEL	CLASSIFICAÇÃO DA PATOLOGIA	SOLUÇÕES POSSÍVEIS
CONSTRUÇÃO 1	Corrosão na cobertura metálica	Alto grau de umidade do ambiente juntamente com a ausência de proteção da estrutura contra corrosão	Adquiridas	Limpeza, pintura e galvanização e zincagem / possível reforço das peças
CONSTRUÇÃO 2	Corrosão na cobertura metálica	Alto grau de umidade do ambiente juntamente com a ausência de proteção da estrutura contra corrosão	Adquiridas	Limpeza, pintura e galvanização e zincagem / possível reforço das peças
CONSTRUÇÃO 3	Corrosão nos pilares e nas ligações pilar/fundação	Falhas de pintura e de detalhamento da estrutura	Adquirida e Atávica	Limpeza, pintura e galvanização e zincagem / novo detalhamento da base do pilar
CONSTRUÇÃO 4	Corrosão generalizada: vigas, pilares, cobertura, etc.	Falhas de pintura e de detalhamento da estrutura	Adquirida e Atávica	Limpeza, pintura e galvanização e zincagem / execução de furos para drenagem da água nas treliças
CONSTRUÇÃO 5	Corrosão generalizada: vigas, pilares, cobertura, etc.	Falhas de pintura e de detalhamento da estrutura	Adquirida e Atávica	Limpeza, pintura e galvanização e zincagem / execução de furos para drenagem da água nas ligações

Fonte: Autores, 2018.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como proposta a análise de obras com estrutura metálica em utilização no estado de Sergipe. Diante das visitas realizadas e expostas ao decorrer do estudo algumas conclusões serão apresentadas neste capítulo, assim como recomendações para trabalhos futuros nesta mesma linha de pesquisa.

6.1. CONCLUSÕES

É de conhecimento geral que as estruturas metálicas exibem uma grande vantagem com relação as de concreto, pois trazem velocidade na execução das obras, menos desperdícios de materiais, possibilidade de montagem e desmontagem, dentre outros.

Porém, com base no visualizado nas cinco construções visitadas, percebe-se que as estruturas de aço também apresentam falhas na prevenção de patologias, facilitando o surgimento do processo corrosivo, por exemplo. Apesar das poucas obras, ainda foi possível notar a ausência de conhecimento das técnicas e do comportamento do aço para obter o melhor resultado possível.

Foi possível concluir que a maioria das obras metálicas apresentam processos corrosivos advindos de principalmente falhas na pintura e proteção das peças e também erros na concepção de projeto no que se refere ao detalhamento das peças.

Desta forma, são necessários não somente investimentos para melhoria dos processos de prevenção e na melhoria da mão-de-obra, mas também que estas técnicas sejam realmente aplicadas nas obras para a obtenção de uma obra durável.

6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seguindo-se a mesma linha de pesquisa, abaixo são sugeridos alguns temas que podem ser abordados em trabalhos futuros.

- Análise de um maior quantitativo de obras e classificação das suas patologias;
- Análise de custo para correção das patologias em estruturas metálicas;

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL. **Execução de Estruturas de Aço: Práticas Recomendadas**. 1ª edição. 2010.

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

BAUERMANN, M. **Uma investigação sobre o processo de projeto em edifícios de andares múltiplos em aço**. Ouro Preto, 2002, 269 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto.

BELLEI, I. H; PINHO, F. O; PINHO, M. O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2ª ed. São Paulo. Editora PINI, 2008.

CASTRO, E. M. C. **Patologias dos edifícios em estruturas metálicas**. Ouro Preto, 1999, 204 p. Dissertação (mestrado em engenharia civil) – Universidade de Ouro Preto.

COZZA, E. **Uma nova era para o aço. 1998**. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/36/artigo287161-1.aspx>>. Acesso em: 02/07/2018.

DIAS, L. A. D. M. **Estruturas de aço: conceito, técnicas e linguagem**. 2ª ed. São Paulo: Zigurate, 1998.

INABA, R. **Construções metálicas: o uso do aço na Construção Civil**. 2018. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/construcoes-metalicas-o-uso-do-aco-na-construcao-civil>>. Acesso em; 03 de julho de 2018.

MANCINI, L. C. **Pré-dimensionamento de estruturas metálicas em fase de concepção arquitetônica**. Ouro Preto, 2003, 257 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). UFOP- Universidade Federal de Ouro Preto.

NETO, J. X; CUNHA, A. S. **Manual prático das Estruturas Metálicas: Projetos, Dimensionamento, Laudos técnicos e Especificações Aplicadas a Casos**. 1º Edição. Editora Pini. 2017.

PFEIL, W; PFEIL, M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008**. 8ª ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2011.

PINHEIRO, A. C. F. B. **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. 2ª edição revista e ampliada. Editora Edgard Blucher. 2008.

SALES, U. C. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estruturas metálicas e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 271. 2001.

SARTORTI, A. L. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de campinas – SP.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) –Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 205. 2008.

SILVA, A. L. R. C.; CALDAS, R. B.; FAKURY, R. H. **Introdução ao aço.** 2018. Disponível em: <<https://www.sites.google.com/site/acoufmg/home/historico>>. Acesso em: 03 de julho de 2018.

SOUZA, I. **Vantagens e desvantagens do aço na construção civil.** 2018. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=19&Cod=1938>>. Acesso em: 05 de julho de 2018.

TAKAHASHI, H. J. **Predição de propriedades mecânicas de aços de alta resistência microligados utilizando técnicas de inteligência computacional.** Coronel Fabriciano, 2006, 128 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Industrial) – Centro Universitário do Leste de Minas Gerais.

TEIXEIRA, R. R; STARLING, C. D. M; ANDERY, P. R. P. **Contribuição ao estudo do processo de projeto de edifícios em construções metálicas: contratação e definições.** Vol. 3, n° 1, Maio de 2008.

VITÓRIO, J. A. P. **Pontes Rodoviárias – Fundamentos, conservação e gestão.** Livro editado pelo Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Pernambuco. Recife, 2002.