

**UNIVERSIDADE TIRADENTES  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LUCAS SANTOS ARAGÃO  
MATHEUS REIS MENDONÇA  
RYANNE SANTOS MONTEIRO**

**ESTUDO DE CASO SOBRE A EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO:  
FABRICAÇÃO, MONTAGEM E CONTROLE DE QUALIDADE**

Aracaju

2018

**LUCAS SANTOS ARAGÃO**  
**MATHEUS REIS MENDONÇA**  
**RYANNE SANTOS MONTEIRO**

**EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO: FABRICAÇÃO, MONTAGEM E  
CONTROLE DE QUALIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Tiradentes como um dos pré-  
requisitos a obtenção do grau de bacharel em  
Engenharia Civil.

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

Aracaju  
2018

**LUCAS SANTOS ARAGÃO**  
**MATHEUS REIS MENDONÇA**  
**RYANNE SANTOS MONTEIRO**

**EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO: FABRICAÇÃO, MONTAGEM E  
CONTROLE DE QUALIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Tiradentes como um dos pré-  
requisitos a obtenção do grau de bacharel em  
Engenharia Civil.

Aprovado em: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

Banca Examinadora:

\_\_\_\_\_  
Profª. Ma. – Raquel Alves Cabral Silva  
Orientador - UNIT

Nota \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Prof. Me. Bruno Almeida Souza  
Avaliador interno - UNIT

Nota \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Profª. Ma. Camila de Souza Vieira  
Avaliador externo

Nota \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos, primeiramente, a Deus que sempre nos abençoou e permitiu chegarmos até aqui.

Aos nossos pais, por sempre nos incentivarem a dar o nosso melhor.

À nossa orientadora, Raquel Alves, pela paciência, incentivo e apoio ao longo dessa caminhada.

Aos professores envolvidos pelo tempo e dedicação disponibilizados.

Enfim, a todos que participaram desse momento direta ou indiretamente, nosso muito obrigado!

“Não importa o quão lento  
você caminhe, contanto que  
você não pare.”  
(CONFUCIUS)

## RESUMO

A utilização de estruturas metálicas vem crescendo em meio à construção civil, porém a escassa mão-de-obra qualificada e os custos elevados acabam dificultando seu espaço no mercado. Caracterizadas pela praticidade de execução, redução dos esforços e limpeza da obra, tais estruturas sobressaem-se quando comparadas às obras convencionas de concreto armado. Para adquirir-se uma boa edificação é necessário um controle de qualidade na execução, desde a fabricação das peças metálicas ao momento de montagem, com base em todas as normas necessárias, principalmente a NBR 8800:2008. Portanto, devem ser feitos todos os acompanhamentos imprescindíveis para garantirem que não apareçam futuras patologias. Diante deste contexto e do pouco conhecimento dos processos executivos envolvidos nas estruturas metálicas, principalmente quando comparadas às difundidas obras de concreto armado, o presente trabalho tem por objetivo fazer análises quanto à execução de obras de estruturas metálicas no estado de Sergipe com relação a sua fabricação, montagem e controle de qualidade. Para isso, o trabalho foi embasado em estudos de caso, através de visitas e registros fotográficos de três obras em execução e uma fábrica. Foram registrados os principais tipos de perfis utilizados, tipos de ligações, sistemas construtivos, processos envolvidos na fabricação, dentre outros aspectos relacionados ao processo executivo deste tipo de estrutura. Através da análise dos resultados obtidos com a elaboração desse estudo, foram constatados alguns problemas de compatibilização de projeto, pontos de corrosão e foram expostas algumas vantagens e desvantagens em relação às construções de concreto. De acordo com as análises realizadas foi possível concluir que, apesar da literatura e dos profissionais da área apresentarem inúmeras vantagens das estruturas metálicas é importante destacar que o sistema também apresenta falhas intrínsecas ao processo construtivo, como incompatibilidade de peças e danificação da pintura, ocasionando corrosão nos elementos.

**Palavras-chave:** Estrutura metálica. Controle de qualidade. Execução.

## ABSTRACT

The use of metal structures has been growing in the midst of civil construction, but the scarce skilled workforce and high costs have made it difficult to market. Characterized by the practicality of execution, reduction of efforts and cleaning of the work, such structures stand out when compared to the conventional works of reinforced concrete. In order to acquire a good building it is necessary a quality control in the execution, from the manufacturing of the metallic pieces to the moment of assembly, based on all the necessary norms, mainly to NBR 8800: 2008. Therefore, all necessary follow-ups must be made to ensure that future damages do not appear. In view of this context and the lack of knowledge of the executive processes involved in the metallic structures, especially when compared to the widespread works of reinforced concrete, the present work has the objective of analyzing the execution of works of metallic structures in the state of Sergipe in relation to their manufacture, assembly and quality control. For this, the work was based on case studies, through visits and photographic records of three works in execution and a factory. The main types of profiles used, types of connections, construction systems, processes involved in manufacturing were registered, among other aspects related to the executive process of this type of structure. Through the analysis of the results obtained with the elaboration of this study, some compatibility problems of the design, the causes of corrosion and some advantages and disadvantages with respect to concrete constructions were observed. According to the analyzes, it was possible to conclude that, although the literature and the professionals of the area present numerous advantages of the structures, it is important to emphasize that the system also presents failures intrinsic to the constructive process as incompatibility of parts and damage of the painting, causing corrosion in the pieces.

**Keywords:** Metal structure. Quality control. Execution.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Viaduc de Garabit, Sul da França, com 165m de vão, construída por G. Eiffel em 1884. ....	19
<b>Figura 2</b> - Estação ferroviária Quai d' Orsay em Paris .....	19
<b>Figura 3</b> - Fluxo simplificado de produção do aço.....	24
<b>Figura 4</b> - Perfil laminado.....	27
<b>Figura 5</b> - Perfil soldado .....	27
<b>Figura 6</b> - Perfil formado a frio no hangar do Aeroporto de Amarais, Campinas - SP .....	28
<b>Figura 7</b> - Perfil tubular com costura.....	29
<b>Figura 8</b> - Algumas etapas envolvidas na fabricação do aço.....	32
<b>Figura 9</b> - Escolha equivocada da espessura das chapas .....	39
<b>Figura 10</b> - Erro na compatibilização. ....	39
<b>Figura 11</b> - Espaço menor que o necessário para colocar os parafusos.....	40
<b>Figura 12</b> - Erro na montagem da estrutura.....	42
<b>Figura 13</b> - Estrutura deslocada do eixo do bloco da fundação.....	42
<b>Figura 14</b> - Localização da empresa .....	44
<b>Figura 15</b> - Localização da Obra 1 .....	44
<b>Figura 16</b> - Localização da Obra 2 .....	45
<b>Figura 17</b> - Localização da Obra3 .....	45
<b>Figura 18</b> - Material de estocagem .....	47
<b>Figura 19</b> - Processo de corte .....	47
<b>Figura 20</b> - Processo de perfuração .....	47
<b>Figura 21</b> - Processo de montagem .....	47
<b>Figura 22</b> - Processo de soldagem .....	48
<b>Figura 23</b> - Preparação da superfície .....	48
<b>Figura 24</b> - Processo de jateamento .....	48
<b>Figura 25</b> - Peça antes da pintura .....	49
<b>Figura 26</b> - Peça depois da pintura .....	49
<b>Figura 27</b> - Material pronto para expedição .....	49
<b>Figura 28</b> – Hortifrúti em estrutura metálica.....	50
<b>Figura 29</b> - Ligação entre as peças .....	51
<b>Figura 30</b> - Ligação do pilar .....	51
<b>Figura 31</b> - Contraventamento em x.....	52

<b>Figura 32</b> - Falha no contraventamento.....	52
<b>Figura 33</b> - Peça curta para ligação do pilar .....	52
<b>Figura 34</b> - Falha no assentamento da escada .....	53
<b>Figura 35</b> - Ligações parafusadas .....	53
<b>Figura 36</b> - Vigas metálicas .....	54
<b>Figura 37</b> - Vigas e contraventamentos .....	54
<b>Figura 38</b> - Flats em estruturas metálicas .....	55
<b>Figura 39</b> - Ligações parafusadas .....	56
<b>Figura 40</b> - Reforço de pilar .....	56
<b>Figura 41</b> - Laje <i>steel deck</i> com tela de aço.....	56
<b>Figura 42</b> - Laje <i>steel deck</i> .....	56
<b>Figura 43</b> - Pilar com o piso acabado .....	57
<b>Figura 44</b> - Processo para maior adesão .....	57
<b>Figura 45</b> - Estrutura metálica .....	58
<b>Figura 46</b> - Ligação do pilar .....	58
<b>Figura 47</b> - Contraventamento.....	58
<b>Figura 48</b> - Laje do tipo treliça .....	58
<b>Figura 49</b> - Etapas do processo de fabricação .....	59
<b>Figura 50</b> - Dimensões incompatíveis .....	62
<b>Figura 51</b> - Incompatibilidade das peças .....	62
<b>Figura 52</b> - Emenda no decorrer da peça.....	63
<b>Figura 53</b> - Ilustração da presença de corrosão .....	63
<b>Figura 54</b> - Pilar excêntrico .....	64

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Propriedades dos aços e suas características.....	21
<b>Quadro 2</b> - Aços de uso frequente especificados pelo ASTM para uso estrutural.....	26
<b>Quadro 3</b> – Exigências segundo a NBR 8800:2008 para projeto e execução .....	33
<b>Quadro 4</b> – Características dos Ensaios Não Destrutivos para ligações soldadas. ....	35
<b>Quadro 5</b> – Falhas na pintura .....	40
<b>Quadro 6</b> – Informações da obra 1 .....	50
<b>Quadro 7</b> – Informações da obra 2 .....	55
<b>Quadro 8</b> – Informações da obra 3 .....	57

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Produção de aço bruto por país .....	20
<b>Gráfico 2</b> – Tensão x Deformação.....	22

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBCA	Centro Brasileiro de Construção em Aço
FeO	Óxido de Ferro
$f_u$	Limite da resistência à tração
$f_y$	Limite de escoamento limite da resistência à tração
GR	Grade
m	Metro
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 OBJETIVOS .....	15
<b>1.1.1 Objetivo geral</b> .....	15
<b>1.1.2 Objetivos específicos</b> .....	15
1.2 JUSTIFICATIVA .....	16
1.3 METODOLOGIA.....	16
1.4 DIVISÃO DO TRABALHO .....	16
<b>2. O MATERIAL AÇO</b> .....	18
2.1 DEFINIÇÃO.....	18
2.2 BREVE HISTÓRICO DO USO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	18
2.3 CARACTERÍSTICAS DO AÇO.....	21
2.4 FABRICAÇÃO DO MATERIAL AÇO.....	23
2.5 TIPOS DE AÇO .....	24
<b>2.5.1 Aços carbono</b> .....	25
<b>2.5.2 Aços de alta resistência e baixa liga</b> .....	25
<b>2.5.3 Aços de alta resistência tratados termicamente</b> .....	25
2.6 TIPOS DE PERFIS METÁLICOS.....	26
<b>2.6.1 Perfis laminados</b> .....	26
<b>2.6.2 Perfis soldados</b> .....	27
<b>2.6.3 Perfis eletro-soldados</b> .....	28
<b>2.6.4 Perfis formados a frio</b> .....	28
<b>2.6.5 Perfis tubulares com costura</b> .....	29
2.7 VANTAGENS E DESVANTAGENS .....	29
2.8 NORMAS DE REFERÊNCIA .....	30
<b>3. FABRICAÇÃO, EXECUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DAS ESTRUTURAS METÁLICAS</b> .....	31
3.1 ETAPAS DA FABRICAÇÃO DA ESTRUTURA METÁLICA.....	31
3.2 CONTROLE DE QUALIDADE NA FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS ..	32
.....	32
3.3 CONTROLE DE QUALIDADE DE LIGAÇÕES SOLDADAS.....	34
<b>3.3.1 Ensaios não destrutivos</b> .....	34
<b>4. PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS METÁLICAS</b> .....	37

4.1 TIPOS DE PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS METÁLICAS .....	37
<b>4.1.1 Patologias adquiridas</b> .....	38
<b>4.1.2 Patologias transmitidas</b> .....	38
<b>4.1.3 Patologias atávicas</b> .....	38
4.2 FALHAS EM PROJETOS .....	38
4.3 FALHAS NA FABRICAÇÃO .....	39
4.4 FALHAS NA PINTURA.....	40
4.5 FALHAS NA MONTAGEM .....	42
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	43
5.1 COLETA DE DADOS .....	43
5.2 OBJETO DE ESTUDO .....	43
<b>5.2.1. Fábrica</b> .....	43
<b>5.2.2 Obra 1</b> .....	44
<b>5.2.3 Obra 2</b> .....	45
<b>5.2.4 Obra 3</b> .....	45
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	46
6.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	46
<b>6.1.1 Fábrica</b> .....	46
<b>6.1.2 Obra 1</b> .....	50
<b>6.1.3 Obra 2</b> .....	54
<b>6.1.4 Obra 3</b> .....	57
6.2 ANÁLISE DO PROCESSO CONSTRUTIVO COM ESTRUTURA METÁLICA.....	59
<b>6.2.1 Processo de fabricação</b> .....	59
<b>6.2.2 Processo construtivo</b> .....	60
<b>6.2.3 Patologias identificadas</b> .....	61
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	65
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	66
<b>ANEXOS</b> .....	69
<b>ANEXO A</b> .....	70
<b>ANEXO B</b> .....	71

## 1. INTRODUÇÃO

No atual estágio de desenvolvimento da sociedade, é impossível imaginar o mundo sem o uso do aço. A produção de aço é um forte indicador do crescimento econômico de um país. Seu consumo cresce proporcionalmente à construção de edifícios, execução de obras públicas, instalação de meios de comunicação e produção de equipamentos. Esses materiais já se tornaram corriqueiros no cotidiano, mas fabricá-los exige técnica que deve ser renovada de forma cíclica, por isso o investimento constante em pesquisas por parte das siderúrgicas. O início e o processo de aperfeiçoamento do uso do ferro representaram grandes desafios e conquistas para a humanidade (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2011 apud FELÍCIO, 2012).

A importância do aço provém de vários fatores: boa resistência mecânica, ductilidade, relativa homogeneidade, possibilidade de ser forjado, laminado, soldado, perfurado, dobrado, perfilado, usinado, modificado em suas propriedades por meio de tratamentos mecânicos, térmico e químicos, além de ser uma liga relativamente barata no caso de aço carbono. Tais fatores são as razões para o vasto campo de aplicações dos aços (BRINCK, 2004).

A busca pela prática de construções metálicas em países desenvolvidos tem demonstrado um mercado promissor e com um crescimento elevado. As características do aço o inserem como material de construção, buscando resolver a questão mais básica da engenharia: executar o melhor projeto pelo menor custo. Nesse contexto, o aço encontra lugar em várias situações dentro da obra, seja na estrutura metálica ou em simples acabamentos.

As edificações em aço proporcionam melhor aproveitamento dos espaços, maior agilidade na execução, apresentam-se enxutas, além de revolucionarem a modernização arquitetônica nas construções, porém se faz necessário o cuidado na análise estrutural, um controle na sua execução com um planejamento e manutenção no decorrer da vida útil.

Diante do exposto, o presente trabalho pretende aprofundar o estudo sobre este tipo de estrutura no que se refere ao seu processo executivo. Foram abordados aspectos relacionados a fabricação e execução das estruturas metálicas no estado de Sergipe.

Para que fosse possível a realização de análises a respeito do sistema executivo em questão, buscou-se três obras em execução no estado com utilização da estrutura metálica. Registrou-se aspectos referentes aos principais tipos de materiais utilizados, os sistemas estruturais adotados, necessidades específicas da construção em aço, dentre outros. Além disto, foi realizada uma visita em uma fábrica localizada no município de Itabaiana, a fim de descrever todas as etapas envolvidas no processo e a importância de cada uma delas. Foram levantadas discussões referentes às visitas realizadas na fábrica e nas obras, mostrando os aspectos

positivos e negativos, como também, foram apresentadas comparações em relação às obras convencionais de concreto armado.

Dessa maneira, o trabalho em questão ressalta que o aço é um material que, como qualquer outro, requer diversos cuidados e planejamentos adequados, caso contrário a estrutura terá uma vida útil reduzida. Sendo assim, torna-se evidente que se executado e projetado de forma correta, o aço sai em vantagem quando comparado aos outros materiais.

A partir do material abordado em todo o trabalho foram observados problemas como incompatibilidade e corrosão entre as peças. Além disso, notou-se a praticidade na execução da estrutura quando comparada ao concreto, por ser mais leve e possuir peças preparadas em fábrica, já o concreto necessita de um conjunto operacional como: fôrma, aço, concreto e todos seus cuidados. Porém, pelo quantitativo de obras no estado, o aço não é tão usual por conta da mão-de-obra desqualificada e escassez de fornecedores deste tipo de material, por exemplo.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é apresentar exemplos de obras de aço executadas em Sergipe, com enfoque na apresentação das etapas de produção e execução das mesmas.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são listados a seguir.

- a) Fazer uma vasta revisão bibliográfica sobre as estruturas metálicas;
- b) Selecionar, visitar e colher dados sobre algumas obras do estado de Sergipe que utilizam estrutura metálica;
- c) Analisar as obras visitadas no que se refere ao processo construtivo e falhas de execução;
- d) Discutir sobre as informações obtidas e fazer uma análise comparativa entre o processo de execução das estruturas metálicas e as estruturas convencionais de concreto armado, apontando peculiaridades, vantagens e falhas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O tema sobre estruturas metálicas foi escolhido pois, atualmente, esse tipo de obra vem se expandindo no Brasil. A procura por meios eficientes e mais rápidos de construção deu espaço a esse material estrutural. Além disto, o processo de execução das estruturas de aço ainda não é tão difundido e conhecido como aquele do concreto armado, por exemplo, assim como as falhas executivas. Busca-se então contribuir e difundir para o meio científico a avaliação das etapas envolvidas na construção de uma obra com estrutura metálica.

## 1.3 METODOLOGIA

A metodologia adotada no trabalho foi baseada numa pesquisa exploratória, apresentando seus dados de forma qualitativa. Foram feitos levantamentos bibliográficos sobre o tema em questão e posteriormente foram realizadas visitas a três obras e uma fábrica no estado de Sergipe. Nas visitas, o profissional responsável foi entrevistado com o objetivo de se obter o máximo de informações a respeito da obra em questão, além disto fez-se um registro fotográfico de várias etapas e falhas observadas nos processos.

Através das visitas e do registro fotográfico foi possível analisar todas as etapas envolvidas na construção metálica: fabricação, equipamentos utilizados, montagem e erros na execução.

## 1.4 DIVISÃO DO TRABALHO

Para atingir os objetivos do trabalho, o mesmo foi dividido em 7 capítulos.

O Capítulo 1 introduz o trabalho ao leitor, relatando informações sobre o tema e mostrando o porquê foi escolhido.

O Capítulo 2 fala especificamente sobre o material aço, apresentando, um breve histórico do seu uso na construção civil, suas características, vantagens e desvantagens, normas de referências, como é feita sua fabricação, os tipos de aço e de perfis.

O Capítulo 3 relata as etapas da fabricação e execução do material, e também, meios de controle de qualidade das estruturas metálicas.

O Capítulo 4 apresenta as possíveis falhas nas estruturas, sejam elas percebidas na fase de projetos, de fabricação, de montagem ou de pintura.

O Capítulo 5 baseia-se na metodologia em que o estudo de caso foi feito. Sendo este realizado a partir da coleta de dados em determinadas obras.

O Capítulo 6 aborda sobre o estudo de caso, citando todas as obras visitadas e as informações obtidas sobre elas.

O Capítulo 7 traz todas as conclusões finais que foram observadas no trabalho.

Logo após os capítulos mencionados encontram-se as referências e anexos utilizados.

## 2. O MATERIAL AÇO

O referente capítulo retrata um breve estudo sobre o material aço, apresentando seu histórico, suas composições, características, propriedades, classificações, etc. Além disso, o mesmo relata sucintamente a fabricação do aço e evidencia algumas vantagens e desvantagens.

### 2.1 DEFINIÇÃO

Aço é uma liga metálica composta basicamente de ferro e carbono, obtida pelo refino de ferro-gusa em equipamentos apropriados. Como refino do ferro-gusa entende-se a diminuição dos teores de carbono e de silício e enxofre (DIAS, 1997).

O aço é o produto siderúrgico obtido por via líquida através da fusão do ferro como componente básico e acrescentado o carbono com um teor de até 2 % resultando em uma liga Ferro-Carbono. São encontrados nessa liga também níquel, volfrâmio, manganês, cromo, fósforo, enxofre entre outros elementos e resíduos resultantes do processo de fabricação (CHIAVERINI, 1982).

De acordo com Pfeil (2009), o carbono aumenta a resistência do aço, porém o torna mais frágil. Os aços com baixo teor de carbono têm menor resistência a tração, porém são mais dúcteis. As resistências à ruptura por tração ou compressão dos aços utilizados em estruturas são iguais, variando entre amplos limites, desde 300 MPa até valores acima de 1200 MPa.

### 2.2 BREVE HISTÓRICO DO USO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os primeiros artefatos de ferro que se tem notícia são objetos encontrados no Egito, por volta de 2900 a.C. Fogueiras foram construídas a base de rochas de minério de ferro, a fim de promover o contato de partículas quentes de carbono com partículas de óxido de ferro, dando início ao processo de redução, resultando em uma massa escura, não fundida, mas permitindo a sua deformação plástica através de técnicas de forjamento, produzindo utensílios de diferenciadas propriedades mecânicas (NOLDIN JUNIOR, 2002).

A fronteira entre o ferro e o aço foi definida na Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como adicionar-lhes propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão, etc. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo o aço passou a representar cerca de 90 % de todos os metais

consumidos pela civilização industrial (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2011 apud FELÍCIO, 2012).

Segundo Bellei et al. (2008), em 1851 foi dado início a era dos grandes edifícios metálicos com o Palácio de Cristal, em Londres. Porém, o primeiro edifício de vários andares que foi realmente projetado como deve ser um edifício com estrutura metálica foi a fábrica de chocolates de Noisiel-Sur-Name, que fica próximo de Paris, em que trata de um edifício de vários andares projetado por Jules Saulnier, em 1872.

Pfeil (2009) afirma que é de extrema importância saber que o aço já era conhecido desde a Antiguidade, só que não estava disponível no mercado competitivo pela escassez do processo de fabricação. E também que, em meados de 1864, os irmãos Martin desenvolveram um forno que tinha grande capacidade na produção do aço. Por volta de 1880 foram introduzidos os laminadores para barras.

As Figuras 1 e 2 apresentam duas obras típicas da época citada acima: o Viaduc de Gabarit no Sul da França que é uma ponte em arco biarticulado com 165 m de vão construído por G. Eiffel em 1884, e a Estação Ferroviária Quai d'Orsay em Paris que foi inaugurada em 1900.

**Figura 1: Viaduc de Garabit, Sul da França, com 165m de vão, construída por G. Eiffel em 1884.**



**Fonte: Pfeil (2009).**

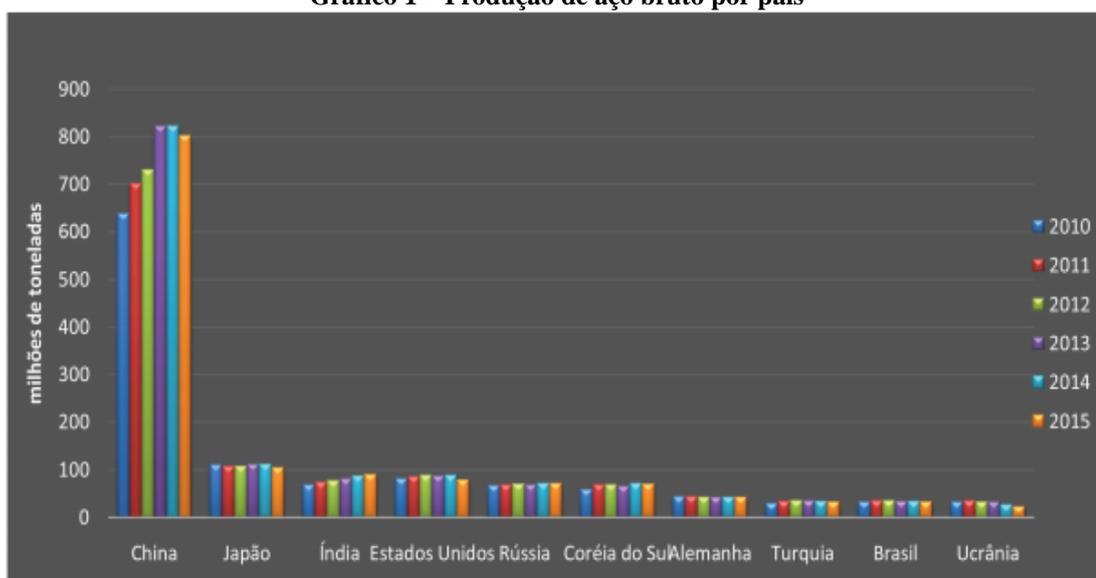
**Figura 2: Estação Ferroviária Quai d'Orsay em Paris.**



**Fonte: Revista Connaissance des Arts, Orsay número especial, França, 1988 apud (PFEIL, 2009).**

Como dito anteriormente, a produção de aço é um forte indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país. Diante disto, o Gráfico 1 representa a produção de aço bruto de alguns países até o ano de 2015.

Gráfico 1 – Produção de aço bruto por país



Países	2010	2011	2012	2013	2014	2015
China	639	702	731	822	823	803
Japão	110	108	107	111	111	105
Índia	69	74	77	81	87	90
Estados Unidos	81	86	89	87	88	79
Rússia	67	69	70	69	72	71
Coreia do Sul	59	69	69	66	72	70
Alemanha	44	44	43	43	43	43
Turquia	29	34	36	35	34	32
Brasil	33	35	35	34	34	33
Ucrânia	33	35	33	33	27	23

Fonte: WSA / ALACERO / AÇO BRASIL apud (SICETEL, 2016).

No Gráfico 1 apresentado, é possível observar que em 2015, a produção de aço bruto no Brasil caiu 2% em relação ao ano anterior, mas o país se manteve como nono produtor mundial. Nos últimos anos, a produção brasileira ficou estagnada em torno de 34 milhões de toneladas e a participação do Brasil na produção mundial de aço bruto caiu de 3% para 2% (SICETEL, 2016).

Atualmente, a China é o maior produtor mundial de aço, com pouco mais de 50% da produção global. A produção chinesa é quase 8 vezes a do Japão, segundo maior produtor mundial. A China, que há dez anos era um grande mercado para as siderúrgicas ocidentais, tornou-se o maior produtor mundial de aço, com um elevado excedente de capacidade instalada, capaz de desestabilizar o mercado mundial de produtos siderúrgicos (SICETEL, 2016).

### 2.3 CARACTERÍSTICAS DO AÇO

Existe uma grande e diversificada variedade de aços que se diferenciam pela forma, tamanho e uniformidade dos grãos que o compõem e, é claro, por sua composição química. Sendo que esta pode ser alterada em função do interesse de sua aplicação final, obtendo-se através da adição de determinados elementos químicos, aços com diferentes graus de resistência mecânica, soldabilidade, ductilidade, resistência à corrosão, entre outros (FERRAZ, 2003).

Ainda segundo Ferraz (2003), de maneira geral, os aços possuem excelentes propriedades mecânicas: resistem bem à tração, à compressão, à flexão, e como é um material homogêneo, pode ser laminado, forjado, estampado, estriado e suas propriedades podem ainda ser modificadas por tratamentos térmicos ou químicos.

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 (FERRAZ, 2003).

As propriedades mecânicas definem o comportamento dos aços quando sujeitos a esforços mecânicos e correspondem às propriedades que determinam a sua capacidade de resistir e transmitir os esforços que lhes são aplicados, sem que se rompam ou tenham deformações excessivas (DIAS, 1997).

As propriedades dos aços são muito importantes para que se possa conhecer o material na hora de execução e escolha. No Quadro 1 são detalhadas as principais propriedades dos aços.

**Quadro 1 - Propriedades dos aços e suas características**

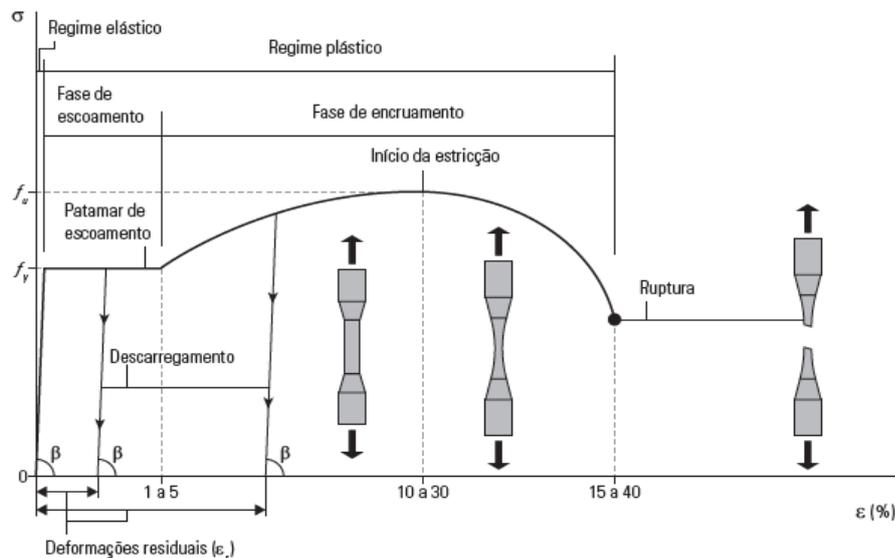
<b>Propriedades</b>	<b>Características</b>
Elasticidade	A elasticidade de um material é a sua capacidade de voltar à forma original após sucessivos ciclos de carga e descarga. Uma peça de aço, por exemplo, sob o efeito de tensões de tração ou de compressão sofre deformações, que podem ser elásticas ou plásticas. Tal comportamento atribui-se à natureza cristalina dos metais, pela presença de planos de fluidez ou de menor resistência mecânica no interior do reticulado. A deformação elástica é reversível, ou seja, desaparece quando a tensão é removida (DIAS, 1997).
Plasticidade	A deformação plástica é uma deformação provocada por tensão igual ou superior ao limite de escoamento. Neste tipo de deformação, ocorre uma mudança na estrutura interna do metal, resultando em um deslocamento relativo entre os seus átomos (ao contrário da deformação elástica), resultando em deformações residuais (SILVA, 2017).

**Quadro 1(cont) - Propriedades dos aços e suas características**

Propriedades	Características
Ductilidade	Ductilidade é a capacidade dos materiais de se deformar plasticamente sem se romper. Pode ser medida por meio da deformação ou da estricção, que é a redução na área da seção transversal do corpo-de-prova. Quanto mais dúctil o aço, maior é a redução de área ou o alongamento antes da ruptura (DIAS, 1997).
Tenacidade	Tenacidade é a capacidade que têm os materiais de absorver energia quando submetidos a carga de impacto. Em outras palavras, tenacidade é a energia total, elástica e plástica, que um material pode absorver por unidade de volume até a sua ruptura, representada pela área total do diagrama tensão-deformação. Um material dúctil com a mesma resistência de um material frágil vai requerer maior quantidade de energia para ser rompido, sendo, portanto, mais tenaz (DIAS, 1997).
Fragilidade	Oposto da ductilidade. Propriedade muito importante e merece ser cuidadosamente estudada, pois o corpo se deforma pouco antes da ruptura, que ocorre sem aviso prévio (ruptura frágil) (SILVA, 2017).
Corrosão	Denomina-se corrosão o processo de reação do aço com alguns elementos presentes no ambiente 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, 2009).

Fonte: Adaptado de Dias (1997), Cabral Silva (2017) e Pfeil (2009).

Para caracterização do aço, utiliza-se a curva tensão-deformação obtida através do ensaio de tração de uma amostra padronizada do material. Um modelo desta curva é apresentado no Gráfico 2.

**Gráfico 2: Tensão x Deformação**

Fonte: Fakury & Silva & Caldas (2016).

No Gráfico 2, segundo Machado (2013),  $f_y$  é o limite de escoamento (superior), enquanto  $f_u$  é o limite da resistência à tração. Considerando este diagrama é possível distinguir quatro regiões: a primeira com comportamento elástico, admitindo-se que ocorra até  $f_y$ ; logo em seguida há escoamento e a deformação é permanente; posteriormente ao patamar de escoamento ocorre o encruamento por deformação até  $f_u$  ser alcançado; por último após o  $f_u$  se inicia a deformação localizada (estricção). Sendo assim, o aço possui comportamento elástico até chegar ao  $f_y$  e plástico nas regiões posteriores.

Para dimensionamento de estruturas metálicas, os principais parâmetros a serem considerados são a tensão de escoamento, a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade do material.

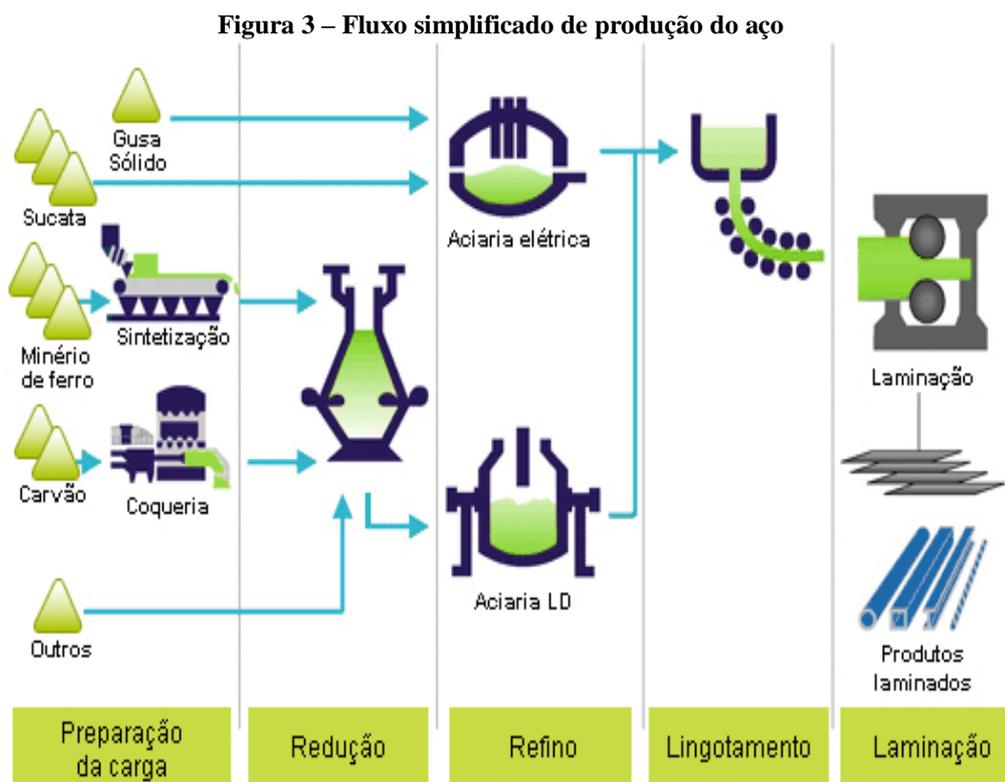
## 2.4 FABRICAÇÃO DO MATERIAL AÇO

Segundo Ferraz (2003), a usina siderúrgica é a empresa responsável pela transformação do minério de ferro em aço, com fins comerciais. Primeiramente, o minério – cuja origem básica é o óxido de ferro (FeO) – é aquecido em altos fornos, em presença de carbono. O objetivo desta primeira etapa é reduzir ao máximo o teor de oxigênio da composição FeO. A partir disso, obtém-se o denominado ferro-gusa, que contém de 3,5 a 4,0% de carbono em sua estrutura. Como resultado de uma segunda fusão, tem-se o ferro fundido, com teores de carbono entre 2 e 6,7%.

Em função da composição química, é possível produzir diferentes tipos de aços estruturais com características diversas. Aumentando o teor de carbono, aumenta-se a resistência do aço, porém reduzem-se a ductilidade e a soldabilidade. Os aços empregados na construção civil são os aços laminados a quente e que apresentam teor de carbono de ordem de 0,18% a 0,25% (SOUZA, 2017).

Após uma análise química do ferro, em que se verificam os teores de carbono, e dos demais elementos, o mesmo segue para uma unidade da siderúrgica, onde será finalmente transformado em aço. O aço, por fim, será o resultado da descarbonatação do ferro-gusa, ou seja, é produzido a partir deste, controlando-se o teor de carbono para no máximo 2%. Tem-se, então, uma liga metálica constituída basicamente de ferro e carbono, este último variando de 0,008% até aproximadamente 2,11%, além de certos elementos residuais resultantes de seu processo de fabricação (FERRAZ, 2003).

Na Figura 3 são apresentadas de forma simplificada as etapas de produção do aço.



Com base no Instituto de Aço Brasil (2011), o fluxo representado na Figura 3, se dá basicamente pela preparação de carga, que em seguida ocorre a redução de oxigênio resultando o ferro-gusa, o mesmo passará por um processo de refino onde serão retirados o carbono e as impurezas contido no gusa. Após esses procedimentos o aço líquido é solidificado em equipamentos de lingotamento contínuo para produzir ligotes, que ao passarem pela máquina laminadora serão transformados em uma grande variedade de produtos siderúrgicos.

## 2.5 TIPOS DE AÇO

Sabe-se que existem mais de 3500 tipos diferentes de aços e cerca de 75% deles foram desenvolvidos nos últimos 20 anos. Isso mostra a grande evolução e crescimento que o setor tem experimentado (CBCA, 2014).

Segundo Miguel e Carqueja (2016), existe uma grande variedade de aços no mercado, dentre eles estão os aços estruturais que são aqueles que apresentam propriedades mecânicas como resistência, ductilidade, entre outras propriedades que os colocam em benefício para se utilizar com fim estrutural. Eles são classificados em aços carbono, aços de alta resistência e baixa liga e aços de alta resistência tratados termicamente.

Nos subitens a seguir serão apresentados os principais tipos de aços estruturais e as características principais de cada um.

### **2.5.1 Aços carbono**

Aços carbonos, segundo a NBR 8800:2008, são aqueles que possuem em sua liga teores de carbono variando entre 0,15 % e 0,29 % e manganês em porcentagem máxima de 1,65 %. Outros elementos também podem aparecer em função do processo de produção (silício, cobre, enxofre, fósforo).

### **2.5.2 Aços de alta resistência e baixa liga**

Adicionalmente ao carbono, manganês e os demais elementos que aparecem devido ao processo de produção dos aços carbono, nos aços de alta resistência e baixa liga são adicionados propositalmente alguns elementos (Nióbio, Cromo, Níquel, Molibdênio, etc) a fim de melhorar a resistência mecânica e a resistência à corrosão. Tais elementos adicionais proporcionam um aumento na resistência do aço, mantendo o teor de carbono na ordem de 0,20 %, permitindo que eles sejam soldados sem precauções especiais (NBR 8800, 2008).

### **2.5.3 Aços de alta resistência tratados termicamente**

Ainda segundo a NBR 8800:2008, aços de alta resistência tratados termicamente são os aços que aumentam a resistência mecânica através do tratamento térmico, que pode ser realizado tanto nos aços carbono quanto nos aços de baixa liga. Após o aço passar pelo tratamento térmico, o seu limite de escoamento é elevado para valores da ordem de 550 MPa a 760 MPa.

Na construção civil, o interesse maior recai sobre os chamados aços estruturais de média e alta resistência mecânica, termo designativo de todos os aços que, devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são adequados para a utilização em elementos da construção sujeitos a carregamento. Os principais requisitos para os aços destinados à aplicação estrutural são: elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, homogeneidade microestrutural, susceptibilidade de corte por chama sem endurecimento e boa trabalhabilidade em operações tais como corte, furação e dobramento, sem que se originem fissuras ou outros defeitos (CBCA, 2014).

O Quadro 2 apresenta alguns aços estruturais de uso frequente relacionados pela ASTM, bem como sua resistência ao escoamento e à ruptura.

**Quadro 2: Aços de uso frequente especificados pelo ASTM para uso estrutural**

Classificação	Denominação	Produto	Grupo de perfil <sup>a,b</sup> ou faixa de espessura disponível	Grau	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa		
Aços-carbono	A36	Perfis	1, 2 e 3	-	250	400 a 550		
		Chapas e barras <sup>c</sup>	$t \leq 200$ mm					
	A500	Perfis	4	A	230	310		
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A572	Perfis	1, 2 e 3	R	290	400		
				42	290	415		
				50	345	450		
			1 e 2	55	380	485		
				60	415	520		
				65	450	550		
	A992 <sup>d</sup>	Chapas e barras <sup>c)</sup>	$t \leq 150$ mm	42	290	415		
			$t \leq 100$ mm	50	345	450		
			$t \leq 50$ mm	55	380	485		
			$t \leq 31,5$ mm	60	415	520		
	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	A242	Perfis	1	-	345	485	
2				-	315	460		
3				-	290	435		
A588		Chapas e barras <sup>c)</sup>	$t \leq 19$ mm	-	345	480		
			$19 \text{ mm} < t \leq 37,5$ mm	-	315	460		
			$37,5 \text{ mm} < t \leq 100$ mm	-	290	435		
			1 e 2	Perfis	-	345	485	
				Chapas e barras <sup>c)</sup>	$t \leq 100$ mm	-	345	480
					$100 \text{ mm} < t \leq 125$ mm	-	315	460
$125 \text{ mm} < t \leq 200$ mm		-	290		435			
Aços de baixa liga temperados e auto revenidos	A913	Perfis	1 e 2	50	345	450		
				60	415	520		
				65	450	550		

Fonte: ABNT NBR 8800:2008.

## 2.6 TIPOS DE PERFIS METÁLICOS

### 2.6.1 Perfis laminados

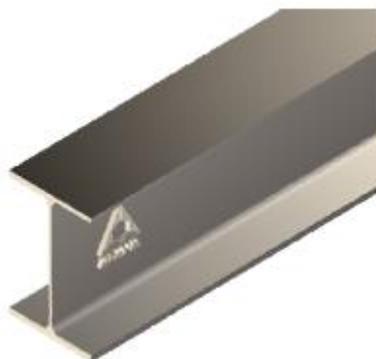
Segundo Dias (1997), são peças únicas, obtidas pela laminação de blocos ou tarugos provenientes do lingotamento contínuo.

Os perfis laminados têm como características as abas paralelas e retilíneas que facilitam as soluções de conexões e encaixes e a uniformidade estrutural por não possuir soldas

ou emendas. Apresentam também baixo nível de tensões residuais localizadas, em virtude da ausência de soldagem no seu processo de fabricação (DIAS, 1997).

A Figura 4 ilustra um perfil laminado com formato “I”.

**Figura 4: Perfil laminado**



**Fonte: Silva & Pannoni (2012).**

### **2.6.2 Perfis soldados**

Perfil soldado é o perfil constituído por chapas de aço estrutural, unidas entre si por soldagem a arco elétrico. Os perfis soldados são largamente empregados na construção de estruturas de aço, em face da grande versatilidade de combinações possíveis de espessuras, alturas e larguras, levando à redução do peso da estrutura, comparativamente aos perfis laminados disponíveis no mercado brasileiro. Os perfis soldados são produzidos pelos fabricantes de estruturas metálicas a partir do corte e soldagem das chapas fabricadas pelas usinas siderúrgicas (SILVA & PANNONI, 2012).

**Figura 5: Perfil soldado**



**Fonte: CBCA (2014).**

### 2.6.3 Perfis eletro-soldados

São perfis fabricados a partir de bobinas de aço pelo processo de soldagem por resistência elétrica, também conhecida por eletrofusão. Consistem na união de duas abas ou mesas a uma alma por processo de eletrofusão e obedecem às especificações ASTM A 769, ASTM A 769 M e JIS G 3353 e NBR 15279. São produzidos na faixa de 100 a 500 mm de altura, com espessuras de alma variando de 4,75 a 9,5 mm, larguras de mesas de 100 a 300 mm e espessuras de mesas de 4,75 a 12,5 mm (DIAS, 1997).

### 2.6.4 Perfis formados a frio

Os perfis formados a frio, sendo compostos por chapas finas, possuem leveza, facilidade de fabricação, de manuseio e de transporte, além de possuírem resistência e ductilidade adequadas ao uso em estruturas civis. No caso de estruturas de maior porte, a utilização de perfis formados a frio duplos, em seção unicelular (tubular-retangular) também conhecidos como seção-caixão, pode resultar, em algumas situações, em estruturas mais econômicas. Isso se deve à boa rigidez à torção (eliminando travamentos), menor área exposta, (reduzindo a área de pintura), menor área de estagnação de líquidos ou detritos (reduzindo a probabilidade de corrosão) (SILVA & PANNONI, 2012).

A Figura 6 apresenta detalhes de uma cobertura composta por perfis formados a frio.

**Figura 6: Perfil formado a frio no hangar do Aeroporto de Amarais, Campinas - SP**



**Fonte: Revista Construção metálica, n. 94, ABCEM.**

### 2.6.5 Perfis tubulares com costura

São obtidos pela calandragem ou pela passagem das chapas, com soldagem por arco submerso, e pela conformação contínua, com soldagem por eletrofusão. Podem ser fabricados com aços de média e alta resistência mecânica, do tipo ASTM A 501 ou tipo ASTM A 572 GR 50 (DIAS, 1997).

**Figura 7: Perfil tubular com costura**



**Fonte: CBCA (2014).**

## 2.7 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Segundo Pinheiro (2005), as principais vantagens do aço são as citadas a seguir:

- a) Fabricação das estruturas com precisão milimétrica possibilitando um alto controle de qualidade do produto acabado;
- b) Garantia das dimensões e propriedades dos materiais;
- 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.

Conforme Chamberlain et al. (2013), a construção em aço possui algumas desvantagens:

- a) Dependendo do planejamento da obra, pode custar mais caro que uma estrutura de concreto equivalente;
- b) Exige mão de obra altamente especializada;
- c) Em algumas regiões, é difícil encontrar determinados aços e perfis;
- d) Muitas regiões do Brasil não têm tradição em utilizar estruturas de aço.

## 2.8 NORMAS DE REFERÊNCIA

As principais normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) relacionadas às estruturas metálicas são:

- NBR 8681/84: Ações e segurança nas estruturas;
- NBR 6120/80: Cargas para o cálculo de estrutura de edifícios;
- NBR 6123/88: Forças devido ao vento em edificações;
- NBR 14762/67: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio;
- NBR 8800/08: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

### **3. FABRICAÇÃO, EXECUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DAS ESTRUTURAS METÁLICAS**

Neste capítulo serão apresentadas as principais etapas para fabricação das estruturas metálicas e a importância do controle de qualidade durante todas as fases do projeto para evitar futuras falhas, como também alguns exemplos.

#### **3.1 ETAPAS DA FABRICAÇÃO DA ESTRUTURA METÁLICA**

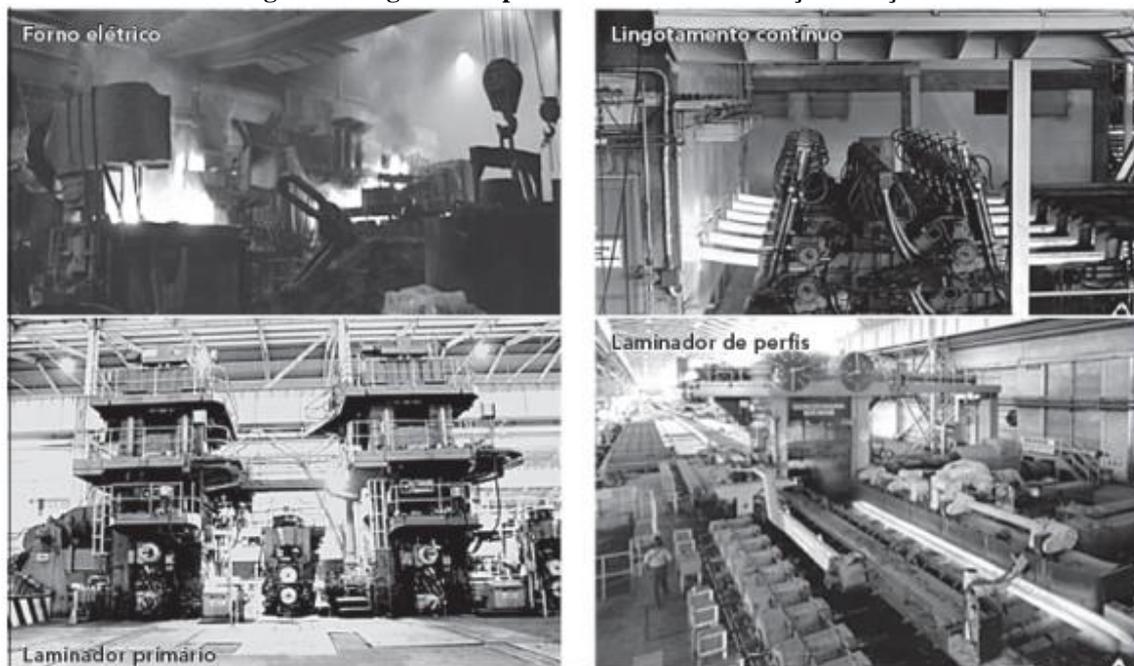
De acordo com Dias (1997), nas fábricas, onde as estruturas em aço ganham forma, os componentes são produzidos por um processo que se caracteriza pela mecanização e racionalização, com consequentes ganhos de produtividade, prazos, custos, e menor desperdícios de material. Uma fábrica de estrutura metálica é relativamente simples e de grande flexibilidade, podendo executar uma série de operações simultaneamente. Durante o processo, o aço passa por uma série de etapas. De uma maneira geral as operações típicas a serem executadas estão associadas a um determinado setor da fábrica.

Ainda segundo o mesmo autor, as principais etapas desenvolvidas na fábrica são:

- a) Suprimento de matéria-prima – disponibilidade de estoque;
- b) Traçagem – consiste em transferir as informações necessárias para a confecção das peças diretamente sobre superfícies das chapas;
- c) Preparação prévia – nessa etapa é feita a preparação de todas as peças componentes da estrutura (cortes, recortes, furações, dobramentos e desempenos);
- d) Pré-montagem – consiste em agrupar os componentes de um subconjunto, dando forma final às peças da estrutura;
- e) Soldagem – ocorre após a montagem nos locais que necessitam de soldas, são realizados manualmente com eletrodo revestido;
- f) Acabamento – é a correção da peça que sofreu qualquer tipo de danificação para uma perfeita entrega;
- g) Preparação de superfície e pintura – consiste na limpeza da peça e na pintura com o material adequado, para que posteriormente não sofra danos. A principal etapa é feita na fábrica e após seu transporte e montagem passa por alguns reparos.
- h) Expedição – envolve o embarque e a expedição da estrutura para o local em que será montada. Esta operação deve ser coordenada para evitar estocagem desnecessária no canteiro.

Algumas etapas para a fabricação da estrutura do aço antes de chegar à obra são apresentadas na Figura 8.

**Figura 8: Algumas etapas envolvidas na fabricação do aço**



Fonte: Pignatta Silva & Pannoni (2012).

### 3.2 CONTROLE DE QUALIDADE NA FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

A qualidade final das estruturas metálicas depende da aplicação correta de métodos e procedimentos em todas as fases do projeto, desde a fase de definição até a entrega definitiva. Com isso, nota-se a importância do acompanhamento da obra ao longo de sua execução, analisando-se todas as suas etapas e possíveis falhas.

O controle de qualidade e as exigências que são objetos de fiscalização, são determinantes para a composição dos custos da estrutura e devem estar claramente especificadas na proposta e no contrato. Dados imprecisos quanto aos critérios de aceitação da estrutura podem vir a dar margem para uma fiscalização pouco exigente durante a obra, o que certamente prejudicará sua execução. Para minimizar problemas futuros deve-se atentar para os detalhes de especificações técnicas na elaboração do contrato. Um cliente que desconheça os critérios de aceitação das normas e o nível aplicável para a obra, pode exigir exames de raio-X em peças que apenas o ultrassom seria aceitável. As exigências quanto à qualidade podem envolver as especificações dos materiais, o controle de qualidade de solda, tolerâncias dimensionais e outros critérios de aceitação, e se constituem em fatores essenciais para um resultado satisfatório (BELLEI et al., 2008).

O controle de qualidade reúne todas as atividades que visam a prevenção de falhas de projeto, fabricação e montagem, não se restringindo somente à função de inspeção. Além da verificação das matérias-primas, do produto em fabricação, da montagem, das ferramentas e dos calibradores, inclui a investigação das causas dos defeitos, a escolha dos métodos e dos planos de inspeção, a análise dos dados relativos às perdas e a determinação do nível de qualidade desejado no mercado (SACCHI & SOUZA, 2017).

O Quadro 3 apresenta exigências da NBR 8800:2008 para projeto e execução das estruturas metálicas.

**Quadro 3: Exigências segundo a NBR 8800:2008 para projeto e execução**

<b>Desenhos de projeto</b>	<p>Devem ser feitos em escala adequada para o nível das informações desejadas;</p> <p>Devem conter todos os dados necessários para o detalhamento da estrutura para a execução dos desenhos de montagem e projeto de fundações;</p> <p>Devem indicar as normas complementares usadas e especificar todos os materiais estruturais empregados;</p> <p>Quando for ligação parafusada os desenhos de projeto devem indicar se o aperto será normal ou com protensão;</p> <p>No caso de edifícios industriais devem ser apresentados nos desenhos o local que ficará os equipamentos mais importantes que a estrutura suportará;</p> <p>Devem ser indicadas as contraflechas de vigas, inclusive de vigas treliçadas.</p>
<b>Desenhos de fabricação</b>	<p>Devem traduzir de maneira clara para a fábrica as informações contidas dos desenhos de projeto, fornecendo informação completa como materiais utilizados e suas especificações, locação, tipo de dimensão dos parafusos e soldas de fábrica e campo;</p> <p>Deve-se indicar a sequência de execução de ligações importantes, para que evite o aparecimento de empenos ou tensões residuais excessivos.</p>
<b>Desenhos de montagem</b>	<p>Devem indicar as dimensões principais da estrutura como marcas das peças, dimensões de barras, elevações das faces inferiores de placas de base de pilares;</p> <p>Devem indicar todas as dimensões e detalhes para colocação de chumbadores, locação, tipo e dimensão dos parafusos, soldas de campo, posições de montagem;</p> <p>Devem ser indicados todos os elementos permanentes ou temporários na estrutura construída.</p>

**Fonte: NBR 8800:2008.**

### 3.3 CONTROLE DE QUALIDADE DE LIGAÇÕES SOLDADAS

Segundo Dias (1997), sempre que possível, o projeto deve prever que a maioria das conexões soldadas seja executada em fábrica, enquanto as que inevitavelmente serão montadas em campo devem ser parafusadas. Isso se deve à maior facilidade de controlar a qualidade da solda em fábrica.

#### 3.3.1 Ensaios não destrutivos

Para verificação deste tipo de ligação, existem os ensaios não destrutivos. Estes utilizam de técnicas empregadas na inspeção de materiais e equipamentos para determinação de características, propriedades (ensaios físico-químicos), dimensões (ensaios metrológicos) ou comportamento de peças ou equipamentos (ensaios funcionais). Os seguintes itens devem ser considerados para o alcance de resultados satisfatórios: equipe treinada e qualificada; equipamentos calibrados; procedimentos de execução de ensaios com base em normas e critérios de aceitação previamente definidos e estabelecidos.

De acordo com Dias (1997), a qualidade da solda pode ser controlada pelos seguintes critérios:

##### a) Verificação de Defeitos Superficiais

Este tipo de verificação pode ser feito por diversos métodos, dentre eles, o controle visual que consiste na detecção de defeitos superficiais grosseiros por meio de verificação visual executada por profissional capacitado, o controle por líquido penetrante que equivale a uma pintura da região soldada com um líquido avermelhado que adentra em possíveis fissuras na solda, e por último o controle por magnetização (magnaflux) que é um espalhamento, sobre a região soldada, de partículas magnéticas que, por magnetização, se dispõem de forma peculiar se houver defeitos superficiais;

##### b) Verificação de Defeitos Internos

A verificação pode ser feita através de duas formas, uma por meio do controle ultrassonográfico que consiste na verificação do interior da solda por meio da emissão e recepção de onda. A outra, por controle radiográfico através da inspeção do interior da solda com o emprego de raios-X e permite o registro de impressão.

No Quadro 4 são apresentados os métodos de inspeção não destrutivos mais usuais em estruturas metálicas, suas características, vantagens e desvantagens.

**Quadro 4: Características dos Ensaios Não Destrutivos para ligações soldadas**

Ensaio Não Destrutivo	Características	Vantagens	Desvantagens
Inspeção Visual	<p>Primeiro ensaio a ser realizado. Todas as soldas devem ser inspecionadas visualmente.</p> <p>Possibilidade de identificação rápida de descontinuidade e em peças de geometria complexa. Também é utilizada para verificar a peça em si, como paralelismo entre abas, linearidade e planicidade.</p>	<p>Simplicidade de aplicação.</p> <p>Ausência de equipamentos sofisticados.</p> <p>Baixo custo de operação.</p>	<p>Detecção apenas de falhas superficiais.</p> <p>Necessidade de limpeza prévia da superfície, deixando-a isenta de imperfeições que podem mascarar o ensaio.</p>
Líquido Penetrante	<p>Descontinuidades superficiais em materiais não porosos, metálicos e não metálicos.</p> <p>Materiais que podem ser ensaiados: aços carbonos em geral, aços inoxidáveis, alumínio, bronze, titânio e vidros.</p>	<p>Aplicável em materiais magnéticos ou não magnéticos. Fácil visualização e caracterização da descontinuidade.</p> <p>Aplicável em peças de geometrias complexas.</p> <p>Custo relativamente reduzido.</p>	<p>Detecção exclusivamente de descontinuidades abertas à superfície.</p> <p>Necessidade de limpeza rigorosa antes de execução do ensaio.</p> <p>Com as técnicas convencionais não é aplicável em materiais porosos.</p>
Partículas Magnéticas	<p>Utilizado na detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais em peças de materiais ferromagnéticos.</p>	<p>Simplicidade de aplicação.</p> <p>Fácil execução.</p> <p>Rápido.</p> <p>Baixo custo de operação.</p> <p>Alta sensibilidade na detecção de descontinuidades superficiais.</p> <p>Detecção de descontinuidades pouco subsuperficiais da peça.</p> <p>Pode ser realizado em peças de geometria complexa.</p>	<p>Pode ser aplicado apenas em materiais ferromagnéticos. Forma e orientação das descontinuidades em relação ao campo magnético interferem fortemente no resultado do ensaio, sendo necessário, em muitos casos, a realização de mais de um ensaio na mesma peça.</p>

**Quadro 4(cont): Características dos Ensaio Não Destrutivos para ligações soldadas**

Ensaio Radiográfico	Defeitos, como vazios e inclusões que apresentam uma espessura variável em todas as direções, são facilmente detectados desde que não sejam muito pequenos em relação à espessura da peça.	Registro permanente por meio de filme ou imagem digitalizada de fácil compreensão, facilitando a situação de análise, laudo e documentação, inclusive no acompanhamento através de auditoria. Inspetora o interior das peças.	Difícil aplicação em peças de geometria complexa. Necessidade de acesso às duas faces da peça. Limitações na detecção de descontinuidades planares (trincas), mais graves em relação a integridade estrutural das peças. Exige cuidados de radioproteção que incluem o isolamento da área. É um método relativamente caro.
Ultrassom	Pode ser aplicado durante as etapas de fabricação ou em serviços de manutenção. Defeitos, como vazios e inclusões que apresentam uma espessura variável em todas as direções.	Elevado poder de penetração que permite a detecção de descontinuidades existentes no interior das peças, numa vasta gama de espessuras e materiais. Sensibilidade elevada na detecção de descontinuidades muito pequenas. Precisão na determinação da localização, dimensão e forma das descontinuidades. Não necessita de acesso a ambos os lados da superfície a ser ensaiada.	Exigência de operadores especializados. Difícil de aplicar a peças de geometria complexa e/ou de espessuras muito pequenas. O registro permanente do teste não é facilmente obtido.

Fonte: Adaptado de Andreucci (2014) e Santos (1999).

## 4. PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS METÁLICAS

Segundo Castro (1999), quando se faz a opção pelo aço vê-se que o processo construtivo é quase artesanal. Isso não necessariamente implica na ocorrência de dificuldades 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.

As construções desde pequeno porte até as de grande porte, como pontes, viadutos, túneis, obras hidráulicas, construções residenciais e comerciais, sofrem pela ação do clima. Elevados gradientes de temperatura, muitas vezes no mesmo dia, grandes volumes de chuvas, poluições e ambientes de grande agressividade contribuem para o surgimento de manifestações patológicas que estão associadas com uma ou mais formas de deterioração (SACCHI & SOUZA, 2017).

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).

A durabilidade das estruturas de aço está fortemente ligada ao desenvolvimento de processos corrosivos. Além de sistema de proteção adequado, com pintura, galvanização ou uso de aços especiais com alta resistência à corrosão, é necessária atenção especial ao detalhamento, evitando pontos de acúmulo de umidade e poeira que podem acelerar a corrosão (SOUZA, 2017).

### 4.1 TIPOS DE PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS METÁLICAS

De acordo com Xerez Neto & Cunha (2017), as principais patologias dentro das estruturas metálicas, são divididas em 3 categorias: adquiridas, transmitidas, atávicas.

#### **4.1.1 Patologias adquiridas**

São patologias estruturais provenientes de elementos externos, deletérios à superfície do aço, tais como: líquidos, gases, vibrações excessivas, umidade, etc. Estão relacionados com falta de manutenção e falha de projeto que permitiram o acúmulo, ou contato da superfície do aço diretamente com os elementos deletérios (XEREZ NETO & CUNHA 2017).

#### **4.1.2 Patologias 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 da solda de campo quando se dispõe de ligações parafusadas devidamente detalhadas no projeto (XEREZ NETO & CUNHA 2017).

#### **4.1.3 Patologias atávicas**

São aquelas resultantes de erros de escritório, como: falha de cálculo ou dimensionamento dos elementos estruturais; concepção ruim do projeto, sem preocupação com a riqueza de detalhes e se estes efetivamente serão exequíveis; incompatibilidade entre tipos de aço especificados, etc (XEREZ NETO & CUNHA 2017).

Sendo assim, os principais fatores das patologias surgem basicamente devido a erros de projetos, execução, material de má qualidade e o uso da estrutura.

### **4.2 FALHAS EM PROJETOS**

Segundo Sacchi & Souza (2017), a vida útil de uma estrutura nasce no projeto e se consolida na execução, mas os conceitos do projeto devem chegar até a conclusão da execução. A predisposição da construção para apresentar problemas patológicos nas estruturas de aço, ou de uma de suas partes são resultantes da má concepção de projeto, erros de cálculo, má compatibilidade dos projetos, no sistema de montagem, na escolha inadequada dos perfilados, definição equivocada das espessuras das chapas e do uso de tipos de aço com resistências diferentes das consideradas no projeto.

As Figuras 9 e 10 mostram falhas na execução advindas de problemas na concepção e compatibilização dos elementos estruturais.

**Figura 9: Escolha equivocada da espessura das chapas**



Fonte: Sacchi & Souza (2017).

**Figura 10: Erro na compatibilização**



Fonte: Sacchi & Souza (2017).

#### 4.3 FALHAS NA FABRICAÇÃO

Os afazeres concretizados em uma fábrica de estruturas metálicas estão sujeitos a diversos métodos de verificação. O mesmo estabelece métodos de controle de qualidade, para garantir que todo o trabalho seja executado de acordo com as exigências. A inspeção é executada por funcionário qualificado e certificado para exercer a função e atuam em todas as fases do processo de fabricação (SACCHI & SOUZA, 2017).

Por exemplo, na Figura 11 é possível observar uma ligação em que não há espaço para que os parafusos sejam posicionados.

**Figura 11: Espaço menor que o necessário para colocar os parafusos**



Fonte: Netto (2010).

#### 4.4 FALHAS NA PINTURA

A pintura serve como uma espécie de proteção, dessa forma sua aplicação tem por finalidade inserir um revestimento anticorrosivo, sendo o tipo de técnica mais utilizada para proteção da estrutura. Porém, os defeitos da pintura podem ser observados a olho nu. O Quadro 5 descreve alguns tipos de falhas mostrando suas causas e correções.

**Quadro 5: Falhas nas pinturas**

<b>Descrição dos tipos de falhas ou defeitos</b>	<b>Causas</b>	<b>Correções</b>
<b>Impregnação (lixa): Face da tinta apresenta-se abrasiva.</b>	Poeiras levados pelo vento para a tinta ainda úmida. Pintura sobre superfícies contaminadas. Aplicação de tintas com rolo ou trincha contaminados com pelos, areia, poeira ou outros elementos indesejados.	Proteger a área a ser pintada. Lixar a pintura contaminada e começar um novo processo.
<b>Poros (porosidade): A película de tinta apresenta descontinuidades pouco perceptível.</b>	Superfície contaminada. Retenção de solventes ou ar na película de tinta. Atomização deficiente. Temperatura do substrato muito	Lixar a superfície e aplicar nova demão.

**Quadro 5 (cont.): Falhas nas pinturas**

<b>Descrição dos tipos de falhas ou defeitos</b>	<b>Causas</b>	<b>Correções</b>
<b>Poros (porosidade): A película de tinta apresenta descontinuidades pouco perceptível.</b>	alta. Água no ar de atomização da pistola.	
<b>Pele ou casca de laranja: A pintura apresenta-se grosseira semelhante a uma casca de laranja.</b>	Ocorre nas aplicações com pistola devido: Proximidade da superfície aplicada. Pressão baixa na pistola. Tinta muito pegajosa.	Ajustar as condições de aplicação. Lixar e aplicar novamente.
<b>Pulverização seca (over spray): A superfície da tinta apresenta-se com pouco brilho e áspero.</b>	Pistola muito distante do local de aplicação ou com pressão excessiva. Temperatura elevada.	Aplicar um pano umedecido com solvente antes da secagem da tinta. Após secar, lixar e aplicar nova pintura, acertando a distância da pistola à superfície.
<b>Empolamento (bolhas): A pele de tinta apresenta-se com bolhas.</b>	Processo corrosivo acelerado. Contaminação do ar ou talvez dos equipamentos de aplicação. Incompatibilidade entre demãos de tintas. Superfície fria.	Após secar, lixar as partes afetadas, preparar a superfície e repintar conforme a especificação técnica.
<b>Enrugamento: A película de tinta apresenta-se irregular, com encolhimento ou ondulação da película.</b>	Grossura da película muito alta. Solventes muito voláteis. Superfície fria. Não atendimento dos intervalos entre demãos.	Após secar, lixar as partes afetadas, preparar a superfície e repintar conforme se pede. A depender deve-se remover ou lixar a pintura a aplicar novas demãos.
<b>Sangramento: A película apresenta-se manchada pelo afloramento de substâncias ou pigmento da cor da demão que está abaixo.</b>	Cores claras sobre cores escuras. O solvente do novo acabamento dissolve a tinta antiga. Aplicação de tintas sobre tintas à base de alcatrão.	Dar uma demão de selagem.
<b>Oxidação Precoce: A superfície pintada apresenta-se com pontos de corrosão logo após a aplicação da primeira ou das primeiras demãos.</b>	Rugosidade excessiva. Película muito fina em meios muito agressivos.	Controlar a rugosidade. Aplicar demãos mais espessas em ambientes mais agressivos. Diminuir, dentro dos limites, os intervalos entre.

Fonte: Adaptado de Nunes E Lobo (2014).

#### 4.5 FALHAS NA MONTAGEM

Como cada obra possui suas próprias características, como topografia, acessibilidade, tipo de estrutura, disponibilidade de canteiro e outros aspectos, a montagem estará sujeita a constantes desafios. Desta forma, deve ser preparado um plano de montagem mais elaborado no intuito de orientar todo o processo relacionado aos aspectos específicos de montagem, tipo de estrutura e concepções de fabricação (RAAD JUNIOR, 1999).

As Figuras 12 e 13 apresentam falhas observadas na montagem das estruturas metálicas.

**Figura 12: Erro na montagem da estrutura**



Fonte: Sacchi & Souza (2017)

**Figura 13: Estrutura deslocada do eixo do bloco da fundação**



Fonte: Sacchi & Souza (2017)

## 5. METODOLOGIA

O presente trabalho é um estudo de caso sobre a execução de estruturas de aço de obras localizadas nos municípios de Aracaju e Itabaiana no estado de Sergipe. Em relação à metodologia adotada, é possível classificá-la como do tipo exploratória. Este capítulo irá apresentar as etapas necessárias para desenvolvimento do estudo assim como as obras e fábrica utilizadas como referência.

### 5.1 COLETA DE DADOS

Inicialmente, os estudos foram baseados em artigos científicos, livros, normas e dissertações dispostos em diversos meios como, por exemplo, *google* acadêmico e bibliotecas virtuais.

Posteriormente, formulou-se um roteiro para realização das visitas técnicas nas obras selecionadas. Foram escolhidas: 1 fábrica de estrutura metálica e 3 obras em execução para análise do processo construtivo. Para ambas foram levados questionários preparados antes das visitas e contidos nos Anexos A e B deste trabalho.

Para desenvolvimento do estudo e coleta de dados foram utilizados registros fotográficos nas visitas realizadas e o acompanhamento do profissional responsável pela obra. Este respondeu o questionário anexo, passando algumas informações relevantes sobre o processo construtivo.

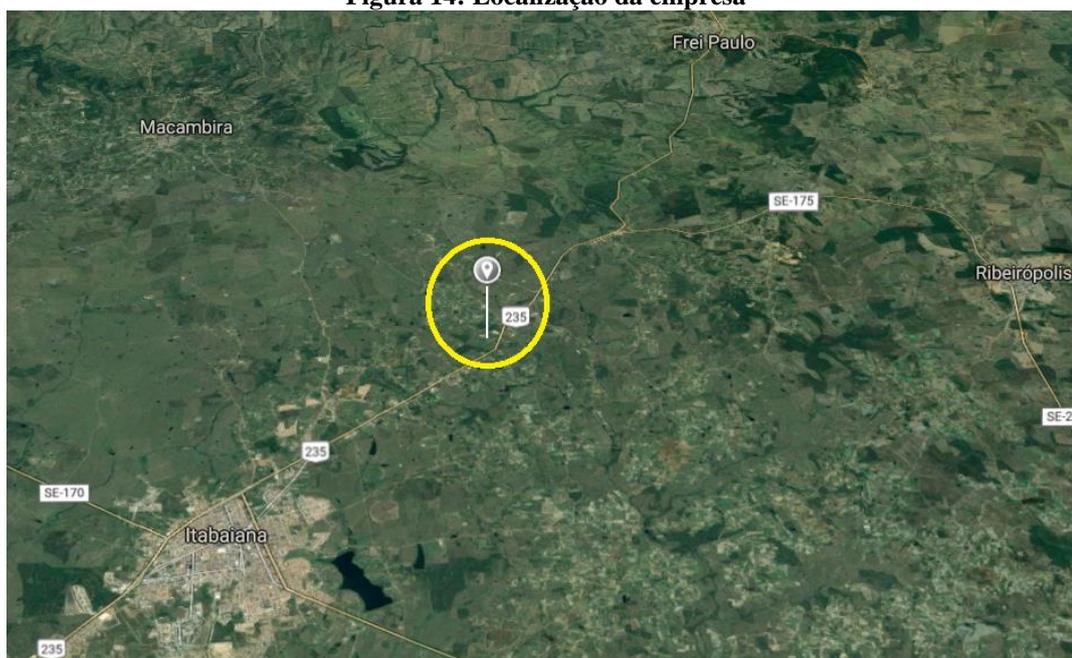
Com base nas visitas foi possível a realização de análises a respeito do processo em questão, estas apresentadas no Capítulo 6. As obras e a fábrica referências para este estudo serão apresentados no item a seguir.

### 5.2 OBJETO DE ESTUDO

#### 5.2.1. Fábrica

Uma das visitas realizadas foi a uma fábrica, constituída por aproximadamente 30 funcionários, localizada no povoado Matapoã, no município de Itabaiana, Estado de Sergipe, como mostra a Figura 14.

O proprietário e engenheiro civil foi o principal responsável pela origem, há seis anos, após ter sido convidado para executar uma obra em estruturas metálicas.

**Figura 14: Localização da empresa**

Fonte: Google Maps (2018).

### 5.2.2 Obra 1

Esta edificação encontra-se em Aracaju-SE, no bairro Salgado Filho e será destinada a um prédio comercial com um pavimento, mais especificamente uma hortifrúti. A empresa responsável pela montagem das peças possui uma equipe de montagem constituída basicamente por 5 operários. A Figura 15 relata a sua localização em satélite.

**Figura 15: Localização da Obra 1**

Fonte: Google Maps (2018).



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentadas as etapas observadas na fábrica e nas obras visitadas através das visitas e registro fotográfico realizados. Além disto, serão desenvolvidas discussões a respeito do processo construtivo com estrutura metálica no que diz respeito a fabricação e montagem, erros observados na execução, além de algumas comparações com as construções em concreto armado.

### 6.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO

#### 6.1.1 Fábrica

Na visita realizada a Fábrica, no dia 27/08/2018, foi possível adquirir conhecimentos específicos de todo processo de fabricação das peças, desde a estocagem do material até a expedição do produto.

Nesta visita, o responsável afirmou que são necessárias algumas informações básicas para a fabricação das peças, dentre elas:

- Localização da obra para identificação do grau de agressividade e do sistema que será adotado para proteção das peças;
- Finalidade da edificação para especificação das cargas de projeto;
- Projeto de fabricação das peças onde são indicados os tipos de perfis e tamanhos das peças para que sejam realizados os cortes necessários, dimensões dos furos que serão realizados e tipos de ligações utilizadas no projeto.

O ciclo se inicia basicamente pela estocagem do material, conforme mostrado na Figura 18. Em seguida, inicia-se o processo de corte dos perfis para atendimento das dimensões especificadas em projeto, processo apresentado na Figura 19.

Após o corte das peças, dá-se início a perfuração dos perfis para que sejam viabilizadas as ligações previstas. Nesta etapa é necessário o atendimento de alguns aspectos de projeto: o diâmetro do furo na peça depende do parafuso que será utilizado e da folga requerida em norma. Esta etapa é apresentada na Figura 20.

**Figura 18: Material de estocagem**

Fonte: Autor próprio (2018).

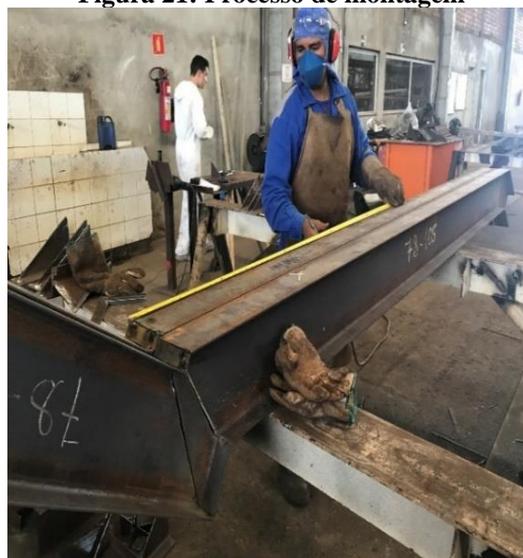
**Figura 19: Processo de corte**

Fonte: Autor próprio (2018).

Após as peças serem definidas, é iniciada a fase de montagem, esta é uma espécie de ligação, onde é realizado um ponto de solda dando forma a estrutura, conforme Figura 21.

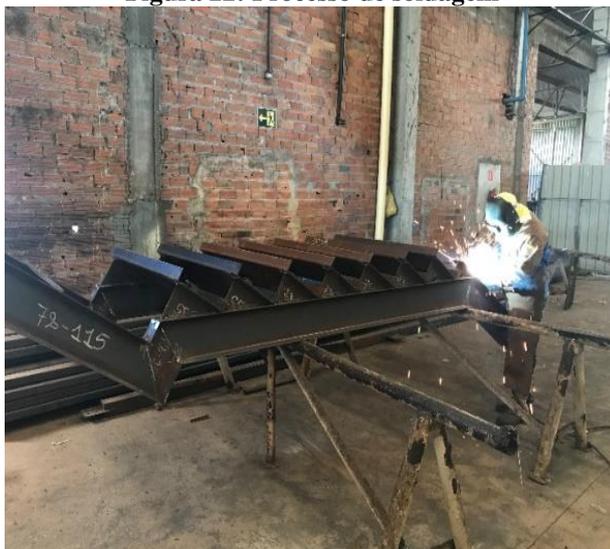
**Figura 20: Processo de perfuração**

Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 21: Processo de montagem**

Fonte: Autor próprio (2018).

Ao final da fase de montagem, a peça ainda na fábrica é encaminhada para o processo de soldagem (Figura 22), pois, como dito anteriormente, as soldas previstas em projeto devem ser executadas em fábrica. Logo após a peça estar devidamente montada e soldada, a mesma passa por um processo de limpeza para a retirada de impurezas e oxigênio para que futuros pontos de oxidação sejam evitados.

**Figura 22: Processo de soldagem**

Fonte: Autor próprio (2018).

Após a limpeza devidamente executada, a peça passa por um processo de jateamento feito em ambiente fechado, assim como no processo de pintura em que serão implantadas granalhas de aço que servirão como uma proteção do objeto, além de melhorar a adesão da camada de pintura. As Figuras 23 e 24 exemplificam esta etapa.

**Figura 23: Preparação da superfície**

Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 24: Processo de jateamento**

Fonte: Autor próprio (2018).

Logo após, se dá início a fase de pintura, com o objetivo de evitar a oxidação da peça. Para isto, a tinta utilizada geralmente é a base de epóxi. O processo de pintura está ilustrado nas Figuras 25 e 26.

**Figura 25: Peça antes da pintura**

Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 26: Peça depois da pintura**

Fonte: Autor próprio (2018).

Por fim, com todas as etapas devidamente executadas, a peça está pronta para a expedição, seu transporte é feito em veículos pesados (caminhões, carretas) e em caso de qualquer dano ao material, como algum empeno, a mesma retornará a fábrica. A Figura 27 ilustra perfis estocados para expedição após conclusão do processo de fabricação dos mesmos.

**Figura 27: Material pronto para expedição**

Fonte: Autor próprio (2018).

### 6.1.2 Obra 1

Essa edificação com fundação superficial do tipo sapata isolada é executada por perfis metálicos laminados, todos com ligações parafusadas, possuirá laje *steel deck*, a conexão entre a laje e os perfis serão realizadas com os conectores do tipo *stud bolt*. Na obra, somente o processo de montagem será realizado, pois todas as peças chegarão da fábrica prontas, exigindo apenas reparos após esse fato, como por exemplo, em casos de arranhões na pintura.

O Quadro 5 apresenta algumas características que foram exploradas durante a visita na obra mencionada acima.

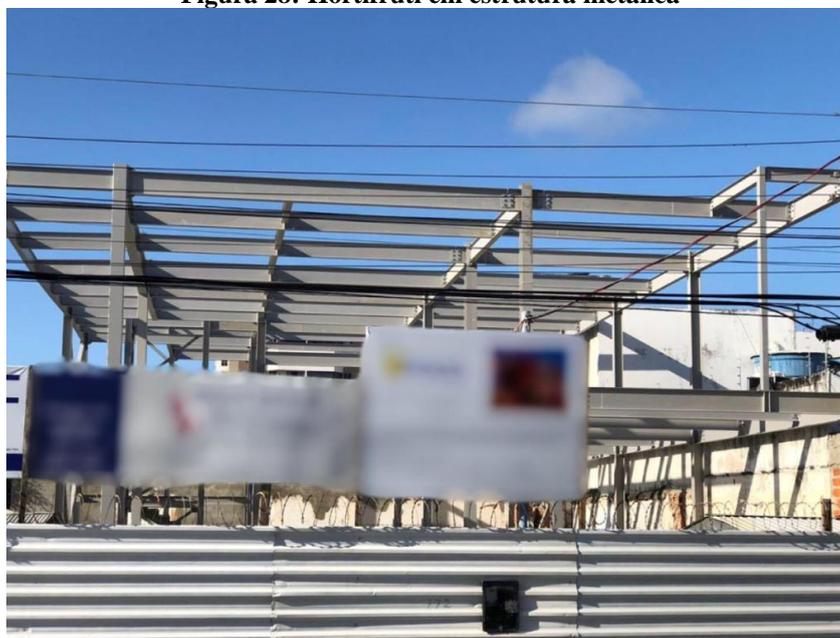
**Quadro 6: Informações da obra 1**

OBRA 1	
Utilização da Obra	Hortifrúti
Tipo de fundação	Sapata isolada
Tipo de perfil utilizado	Metálico laminado
Tipo de ligação entre as peças	Parafusada
Tipo de laje	<i>Steel deck</i>
Processo executado em obra	Apenas montagem

**Fonte: Autor próprio (2018).**

A Figura 28 mostra toda estrutura metálica utilizada na Obra 1.

**Figura 28: Hortifrúti em estrutura metálica**



**Fonte: Autor próprio (2018).**

As Figuras 29 e 30 apresentam detalhes da ligação entre a peça metálica e a fundação da edificação. Essa junção é feita por parafusos que são chumbados junto a fundação.

**Figura 29: Ligação entre as peças**



**Fonte: Autor próprio (2018).**

**Figura 30: Ligação do pilar**



**Fonte: Autor próprio (2018).**

As Figuras 31 e 32 são referentes a uma característica marcante em estruturas metálicas, o contraventamento. O mesmo tem a função de passar maior estabilidade para construção em relação a cargas laterais, como por exemplo, o vento.

**Figura 31: Contraventamento em x**

Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 32: Falha no contraventamento**

Fonte: Autor próprio (2018).

Na Figura 33 e 34 pode ser observado o assentamento de uma escada metálica, que nessa obra apresentou uma pequena falha, por possuir dimensões incompatíveis. A ligação da escada com a estrutura também foi feita por ligações parafusadas como no restante da obra.

**Figura 33: Peça curta para ligação do pilar**

Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 34: Falha no assentamento da escada**



Fonte: Autor próprio (2018).

As ligações parafusadas podem ser analisadas na Figura 35.

**Figura 35: Ligações parafusadas**



Fonte: Autor próprio (2018).

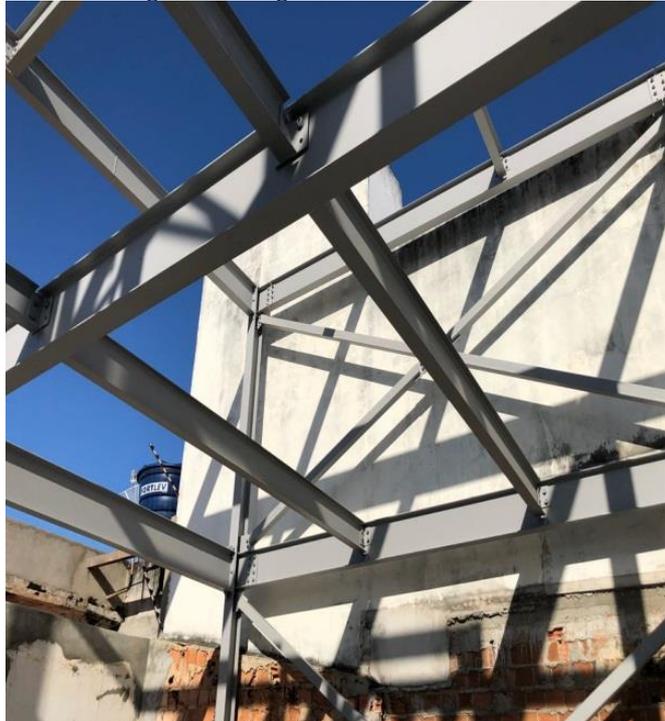
As Figuras 36 e 37 representam algumas partes da estrutura metálica como por exemplo as vigas, ligações e contraventamentos.

**Figura 36: Vigas metálicas**



Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 37: Vigas e contraventamentos**



Fonte: Autor próprio (2018).

### **6.1.3 Obra 2**

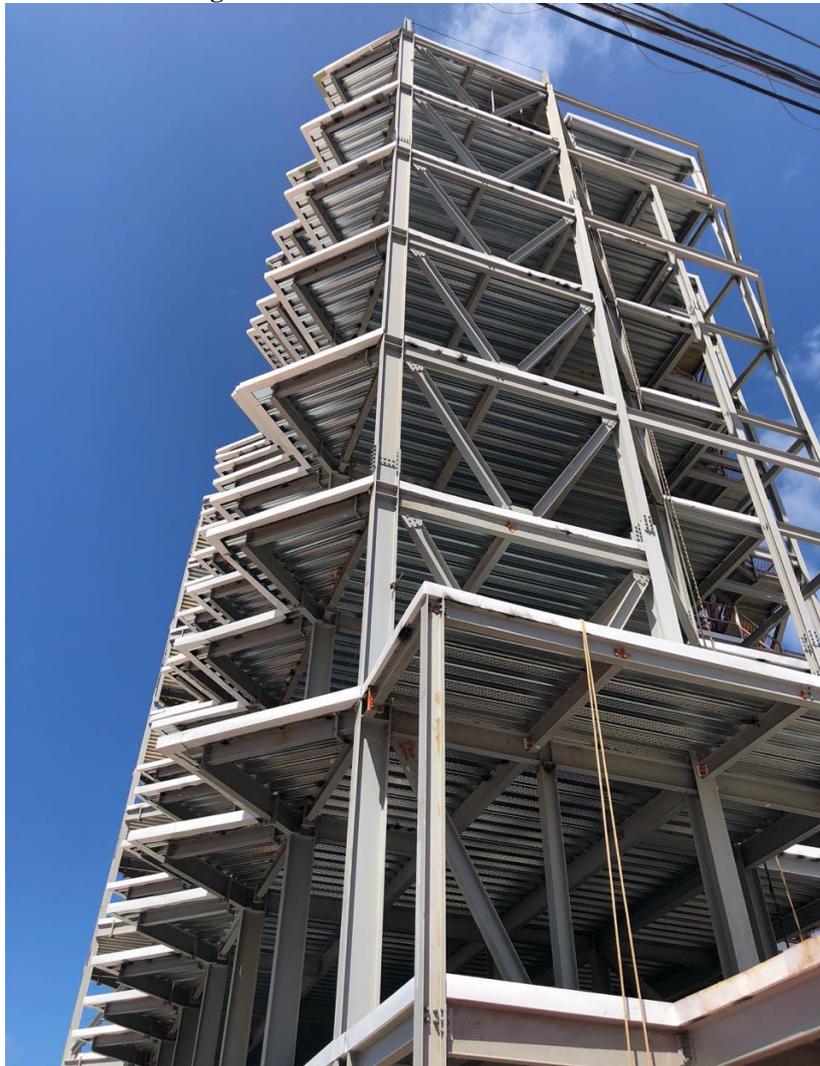
A segunda obra visitada possui basicamente as mesmas características da obra citada anteriormente, desde o tipo dos perfis ao tipo da laje, tendo divergência apenas no fabricante das peças e na sua finalidade.

**Quadro 7: Informações da obra 2**

<b>OBRA 2</b>	
Utilização da Obra	Flats
Tipo de fundação	Sapata isolada
Tipo de perfil utilizado	Metálico laminado
Tipo de ligação entre as peças	Parafusada
Tipo de laje	<i>Steel deck</i>
Processo executado em obra	Apenas montagem

**Fonte: Autor próprio (2018).**

Na Figura 38 pode-se observar externamente toda estrutura dos *flats* totalmente executado em peças metálicas, com base nesta imagem é possível perceber a limpeza deste tipo de execução.

**Figura 38: Flats em estruturas metálicas**

**Fonte: Autor próprio (2018).**

A Figura 39 apresenta o tipo de ligação utilizada na obra. Já a Figura 40, 41 e 42 mostram o tipo de laje adotada, *Steel deck*, e alguns métodos utilizados para o reforço da laje, como o uso de telas, conectores e armaduras para reforço do pilar, evitando fissuras.

**Figura 39: Ligações parafusadas**



Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 40: Reforço de pilar**



Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 41: Laje *steel deck* com tela de aço**



Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 42: Laje *steel deck***



Fonte: Autor próprio (2018).

A Figura 43 demonstra o início do pilar após ter seu piso acabado, cobrindo a ligação parafusada como na Figura 30. Já a Figura 44 apresenta um método utilizado para aumentar a adesão da peça metálica com a cerâmica.

**Figura 43: Pilar com o piso acabado**

Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 44: Processo para maior adesão**

Fonte: Autor próprio (2018).

### 6.1.4 Obra 3

A última obra visitada também é composta por pilares metálicos de perfis laminados e com ligações do tipo parafusadas, essa obra possui fundações de sapatas associadas. Porém uma das suas diferenças está na laje utilizada. Nesta obra, utilizou-se laje do tipo treliçada, com as vigotas apoiadas nas vigas metálicas e ainda uma tela de aço com o objetivo de evitarem-se fissuras na laje de concreto.

**Quadro 8: Informações da Obra 3**

OBRA 3	
Utilização da Obra	Edificação comercial
Tipo de fundação	Sapata associada
Tipo de perfil utilizado	Metálico laminado
Tipo de ligação entre as peças	Parafusada
Tipo de laje	Treliçada
Processo executado em obra	Apenas montagem

Fonte: Autor próprio (2018).

A Figura 45 mostra a estrutura metálica no geral. Na Figura 46 é demonstrado a ligação do pilar com a fundação.

**Figura 45: Estrutura metálica**

Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 46: Ligação do pilar**

Fonte: Autor próprio (2018).

A Figura 47 apresenta contraventamentos no formato X. Já a Figura 48 retrata o tipo de laje utilizada na obra, sendo esta treliçada.

**Figura 47: Contraventamento**

Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 48: Laje do tipo treliça**

Fonte: Autor próprio (2018).

Em todas as obras visitadas e analisadas, o processo de execução foi o mesmo, no canteiro só era feito a montagem das peças. A parte de corte e solda são preparadas na fábrica.

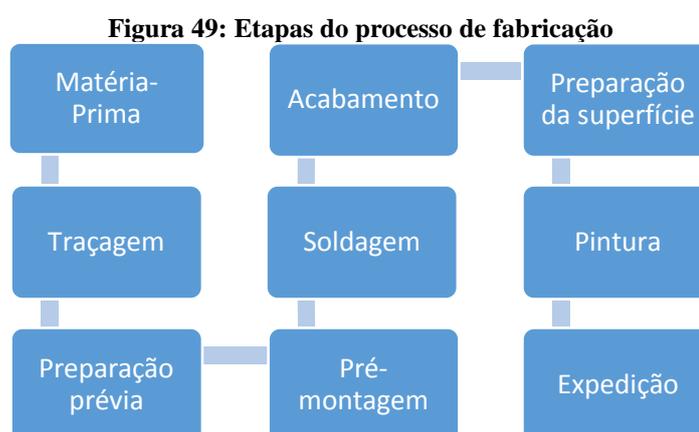
## 6.2 ANÁLISE DO PROCESSO CONSTRUTIVO COM ESTRUTURA METÁLICA

Neste item serão levantadas algumas discussões e análises a respeito da fabricação, execução e montagem das estruturas metálicas com base nas observações feitas nas visitas apresentadas no item 6.1.

### 6.2.1 Processo de Fabricação

Diferentemente das estruturas em concreto armado, uma construção em aço tem suas peças fabricadas fora da obra. Seus componentes são produzidos com utilização de equipamentos específicos e posteriormente montados na própria obra. Como pôde ser comprovado na visita à fábrica, para a finalização das peças metálicas destinadas a montagem, são necessários inúmeros processos como: corte da peça nas dimensões necessárias como projetado, perfurações com precisões milimétricas para total perfeição no momento do encaixe, montagem das peças cortadas, soldagem dos pontos necessários, jateamento e pintura para proteção da superfície, até o momento de sua expedição.

A Figura 49 apresenta as etapas do processo de fabricação das peças de estruturas em aço.



Fonte: Autor próprio (2018).

Para aquisição de todo maquinário necessário para esse tipo de fábrica, além de possuir um material para estocagem, que são pré-fabricados, segundo o proprietário da fábrica visitada, estima-se que seria necessário em torno de 2,5 milhões de reais inicialmente. Um dos fatores que torna o mercado das estruturas metálicas mais complexo comparado às construções convencionais é a mão de obra qualificada. Nesta, por sua vez, é indispensável a presença de

operários especializados em cada etapa da fabricação, principalmente no momento de sua montagem.

Por sempre estar exposta aos agentes externos, a estrutura metálica necessita de atenção voltada para o acabamento final. Sabe-se que em uma estrutura de concreto armado, o aço existente não estará diretamente exposto aos agentes externos, pois o concreto serve também como uma proteção do mesmo. Já nas estruturas metálicas não existe outra camada protetora a não ser sua pintura. Portanto, se não for devidamente executada, facilitará a existência de futuras patologias o que danificará a edificação.

Segundo Bellei et al. (2008), diversos fatores influenciam no custo da peça metálica, dentre eles está o processo de proteção da mesma. Essa etapa, realizada no momento de limpeza e pintura, é considerada uma das mais significativas em termos de valores podendo representar até 30% do custo total.

### 6.2.2 Processo construtivo

A agilidade de uma obra executada em estruturas metálicas faz com que o preço elevado, se comparado ao concreto, compense ao seu término. Obras desse modelo possuem um menor espaço de tempo em relação a sua execução, além de proporcionar vantagens como uma maior limpeza e redução de mão de obra no canteiro. Outra observação que vale ressaltar é o seu peso próprio, sendo muito mais leve se levado em consideração a edificações em concreto armado, o que proporcionará fundações mais rasas possuindo um certo valor econômico nesse item. O processo construtivo se dá de forma rápida e prática, sobressaindo mais uma vez do projeto convencional de concreto.

Um dos sistemas estruturais necessários na execução das estruturas metálicas são os contraventamentos. Segundo Carneiro & Martins (2008), estes elementos são estruturas auxiliares organizadas para resistir às solicitações extemporâneas que podem surgir nos edifícios. Os mais utilizados podem ser dos tipos V (ou k), Y e X, sendo que nas obras apresentadas, todos os contraventamentos ressaltados foram do tipo “X”, conforme ilustra a Figura 57.

Outro ponto observado neste tipo de construção é o tipo de laje utilizada. Em sua maioria utiliza-se lajes do tipo *Steel Deck*, pois esta possibilita alguns ganhos na construção. Segundo Brendolan (2007), esta laje é do tipo mista formada por uma fôrma metálica revestida por concreto. As vantagens que a mesma possibilita são: funcionamento antes da cura do concreto como suporte das ações permanentes e sobrecargas de construção e, depois da cura,

como parte ou toda armadura de tração da laje. Apenas na Obra 3 observou-se o uso da laje treliçada, laje muito comum em estruturas de concreto armado.

Observou-se ainda, através das visitas, que as ligações entre os perfis são feitas em sua maioria através de parafusos. Segundo a NBR 8800:2008 isto se deve ao fato de que as ligações parafusadas permitem montagens mais rápidas e de fácil inspeção, possibilitam desmontagem para alteração e reparo, economia de energia, resistência a fadiga, entre outros.

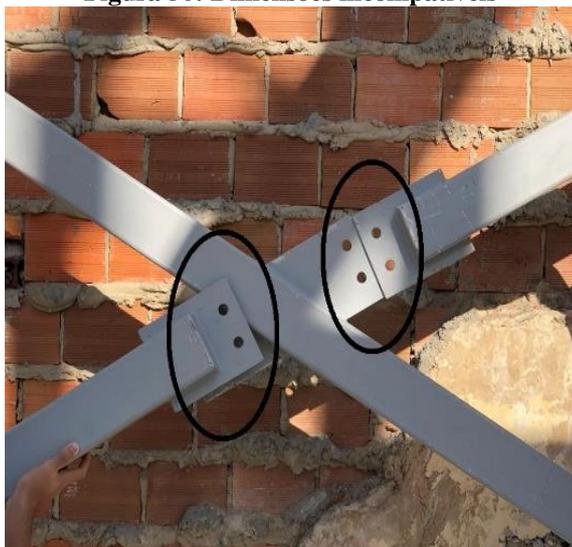
No Capítulo 2 foram apresentados os tipos de perfis, que podem ser laminados, soldados ou formados a frio. Foi observado que todas as obras analisadas utilizam perfis do tipo laminado. Isto porque, segundo Açobril (2013), estes perfis proporcionam melhores soluções de ligações, encaixes e acabamentos, além de serem mais leves que os demais perfis.

Já em relação ao formato de perfis, estes podem ser do tipo “I”, “H”, “L”, tubular, dentre outros. Nas obras observou-se que predominam a utilização dos perfis “I” para as vigas, “H” para os pilares e “L” para a ligação viga/pilar e ainda de perfil “U” para as peças dos contraventamentos e escadas.

### **6.2.3 Patologias identificadas**

Uma das grandes vantagens das estruturas metálicas, citada no Capítulo 2, é a rapidez na execução das mesmas, já que todas as peças chegam prontas para serem montadas, reduzindo-se assim etapas no processo de fabricação. Porém, ainda assim, puderam ser observados alguns problemas que resultaram em erros de execução nas obras.

Uma das incompatibilidades foi que em relação às medidas, muitas vezes não sendo compatíveis com o projeto, como estruturas fora do eixo de fundação, perfurações que não se encaixam, dentre outras, resultando, segundo Xerez Neto & Cunha (2017), em patologias atávicas. As Figuras 50 e 51 demonstram alguns desses problemas citados anteriormente, observados na visita realizada a Obra 1.

**Figura 50: Dimensões incompatíveis**

Fonte: Autor próprio (2018).

**Figura 51: Incompatibilidade das peças**

Fonte: Autor próprio (2018).

Na Figura 50 é possível observar uma falha no tamanho das peças do contraventamento, já na Figura 51 o perfil maior que o necessário impossibilitou a ligação da peça com a fundação. Nesses casos, as peças retornaram para a fábrica para ser feita uma nova execução com as dimensões devidamente corretas.

Por ter sua estrutura fabricada na indústria e não no canteiro, muitas empresas fazem a reutilizações de peças e isto acaba gerando emendas na mesma, como pode-se notar na Figura 52. Esse acaba sendo um ponto crítico e de fragilidade na estrutura, devido a presença da solda.

**Figura 52: Emenda no decorrer da peça**



**Fonte: Autor próprio (2018).**

Uma das grandes desvantagens da estrutura metálica é a sua susceptibilidade a oxidação. A Figura 53, da ligação ente o pilar e a fundação observada na Obra 1, retrata este problema ocorrendo ainda em fase de execução. As corrosões encontradas podem ocorrer devido às ações agressivas do meio ambiente, resultando segundo Xerez Neto & Cunha (2017) em patologias adquiridas.

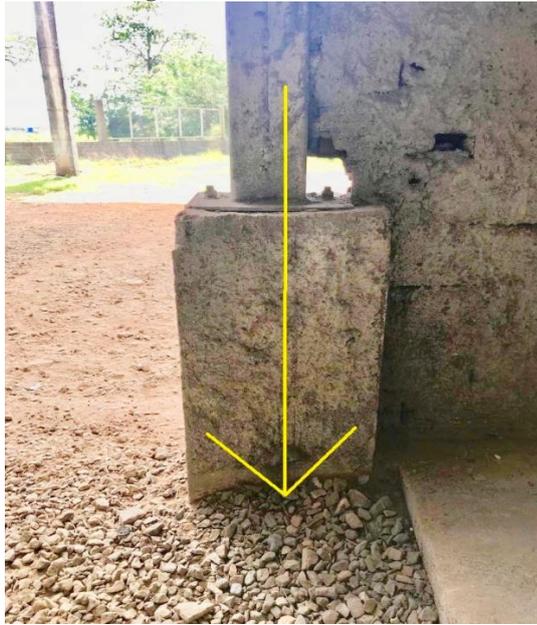
**Figura 53: Ilustração da presença de corrosão.**



**Fonte: Autor próprio (2018).**

Outro aspecto notório são possíveis falhas na ligação entre a peça e a fundação, como mostra a Figura 54. Nessa estrutura observou-se que a peça não foi conectada exatamente com o eixo da fundação, gerando um desequilíbrio na passagem dos esforços para o solo.

**Figura 54: Pilar excêntrico**



**Fonte: Autor próprio (2018).**

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como proposta a análise de estruturas metálicas através da abordagem do seu processo executivo. Para isto, foram analisados inicialmente diversos aspectos normativos do material para que posteriormente fosse possível o levantamento de discussões e contestações a respeito das estruturas metálicas.

Em seguida foram realizadas visitas às obras e fábrica deste tipo de estrutura no estado de Sergipe, sendo possível assim algumas conclusões.

Inicialmente, sobre o processo construtivo, observou-se que o aço, constituído basicamente por ferro e carbono, passa por diversos processos entre sua fabricação e a montagem final na obra. Tais processos exigem uma execução de forma prudente e uma compatibilização entre os projetos para que não acarrete em problemas posteriores como os exemplos citados no estudo.

O aço é de fundamental importância no âmbito da construção civil, contudo segundo os responsáveis pelas obras e fábrica, atestado também na literatura especializada, ainda não é muito utilizado se comparado ao concreto devido à escassez de profissionais capacitados, um custo financeiro mais elevado e por ser pouco difundido em determinadas regiões. Porém, é notório a vantagem das estruturas metálicas em relação às convencionais, pois permite-se uma redução do tempo de execução, dos esforços da sua edificação (peso próprio), uma maior organização no canteiro de obra e outros fatores. Essas edificações possibilitam ainda uma economia no tipo da fundação, permitindo o uso de fundações superficiais por possuir uma maior leveza na estrutura como um todo.

Foi possível ainda, através do estudo realizado, identificar algumas patologias nas obras. Estas foram caracterizadas como adquiridas e atávicas, pois foram encontradas corrosões em algumas peças metálicas e também dimensões incompatíveis devido a compatibilização errônea dos projetos. Logo, nota-se a relevância da manutenção da estrutura de forma adequada bem como a atenção com os projetos durante a execução.

Diante dos fatos mencionados, percebe-se o extremo valor do aço na construção civil e seu crescimento nesse meio devido aos benefícios em relação às demais obras. Foram observadas algumas falhas no processo, porém visivelmente menores que aquelas observadas nas obras de concreto armado, isto devido à industrialização acentuada deste tipo de construção.

## REFERÊNCIAS

- AÇOBRIIL, “**Perfis I e H**”, 2013. Disponível em: <<http://www.acobril.com.br/perfis-estruturais/>> Acesso em: 03 nov. 2018.
- ANDREUCCI, R. **Ensaio por Partículas Magnéticas**. Associação brasileira de ensaios não destrutivos e inspeção (ABENDI). 68 p. São Paulo. Out.2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. **Guia de END e Inspeção**. São Paulo, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8800. **Projeto de execução de estruturas de aço de edifício**. Rio de Janeiro, 1986.
- BRENDONLAN, Gianluna. **Análise do comportamento e da resistência de um sistema de lajes com fôrma de aço incorporada**. Belo Horizonte, 2007. 94p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais.
- BRINCK, F, M. **Efeito da corrosão na integridade estrutural da Ponte Metálica Marechal Hermes**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Mestrado em Construção Metálica. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. MG, 177p., 2004.
- CARNEIRO, Francisco; MARTINS, João. **Análise de Estruturas. Contraventamento de Edifícios**. 1 ed. [S.l.: s.n.], 2008.
- CASTRO, Eduardo Mariano Cavalcante de. **Patologias dos edifícios em estruturas metálicas**. Ouro Preto, 1999. 202p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto.
- CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço), “**Aços estruturais**”, 2014, Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-acos-estruturais.php>>. Acessado em 01, setembro, 2018.
- CHAMBERLAIN, Zacarias; FICANHA, Ricardo; FABEANE, Ricardo. **Projeto e cálculos de estruturas de aço. Edifício industrial detalhado**. [S.I.]: Elsevier Editora Ltda, 2013.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. São Paulo: ABM- Associação Brasileiras de Metais, 1982.
- DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de aço. Conceitos técnicas e linguagens**. 10.ed. São Paulo: Ziguarte, 1997.
- FAKURY, Ricardo Hallal; SILVA, Ana Lydia R.; CALDAS, Rodrigo B. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Minas Gerais, 2016.
- FELÍCIO, Eduardo Alves. **Estudo da implementação de conceito da produção enxuta para redução de resíduos em uma manufatura do ramo**. Juiz de Fora, 2012. 64 f. Dissertação. Faculdade de Engenharia - Universidade Federal de Juiz de Fora.

FERRAZ, Henrique. **O aço na construção civil**. Revista eletrônica de ciência, São Carlos, n. 22, out.-nov.-dez. 2003.

INSTITUTO AÇO BRASIL, “**Processo siderúrgico**”, 2011. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/>> Acesso em: 28 set. 2018.

MACHADO, Ivan Guerra. **Falhas de estruturas de aço soldadas devido a reduzida ductilidade**. Porto Alegre, 2013. 391-403p. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MIGUEL, Leandro F. F.; CARQUEJA, Moacir H. A. **Apostila da Disciplina: ECV5255 – ESTRUTURAS METÁLICAS I**. 4ª edição Agosto de 2016.

NETTO, E. P. G. **Estudo de caso da implantação do controle de qualidade na fabricação e soldagem de estruturas metálicas em aço carbono**. São José do Rio Preto, 2010. 47 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica).

NOLDIN JÚNIOR, José Henrique. **Contribuição ao estudo da cinética de redução de briquetes auto-redutores**. Rio de Janeiro, 2002. 130p. Dissertação (Mestrado Ciências dos materiais em Metalurgia). Pontifícia Universidade católica do Rio de Janeiro.

NUNES, L. P.; LOBO, A. C. O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. 5.ed. Rio de Janeiro: Interciências, 2014.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço: Dimensionamento prático de acordo com NBR 8800:2008**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

SILVA, Valdir Pignatta; PANNONI, Fabio Domingos. **Estruturas de aço de edifícios - Aspectos tecnológicos e de concepção**. Editora: Edgard Blucher. 2010.

PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas metálicas: Cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

BELLEI, Ildony H.; PINHO, Fernando Ottoboni; PINHO, Mauro Ottoboni. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2.ed. São Paulo: Pini, 2008.

RAAD JUNIOR, Antoine. A. **Diretrizes para fabricação e montagem das estruturas metálicas**. Ouro Preto, 1999. 243p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

SACCHI, Caio César; SOUZA, Alex Sander Clemente de. Manifestações Patológicas e Controle de qualidade na montagem e fabricação de estruturas metálicas. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil, São Carlos**, v. 13, n. 1, p, 20-34, jan.-jun. 2017.

SANTOS, J. F. O. **Ensaio não destrutivos: guia do formando**. Portugal, Lisboa: Instituto do emprego e Formação Profissional, 1999. 154p.

SILVA, Raquel A. Cabral. **Apostila da Disciplina: ESTRUTURAS DE AÇO**. 1ª edição Janeiro de 2017.

SOUZA, Alex Sander Clemente. **Dimensionamento de elementos e ligações em estruturas de aço.** São Carlos: Edufscar, 2017.

XEREZ NETO, Jary; CUNHA, Alex Sander. **Manual prático das estruturas metálicas: projetos, dimensionamentos, laudos técnicos e especificações aplicadas em casos reais.** São Paulo: Pini, 2017.

**ANEXOS**

**ANEXO A**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**UNIVERSIDADE TIRADENTES - UNIT**

**PESQUISA DE ESTUDO DE CASO**

**QUESTIONÁRIO (PARA ENGENHEIRO DA ÁREA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA)**

<b>OBRA VISITADA:</b>
<b>ÁREA EM QUE O ENGENHEIRO ATUA:</b>

**OBS: Abaixo estão listadas algumas perguntas para melhor compreender a obra e aprofundar o estudo.**

QUAL O TIPO DE PERFIL UTILIZADO NA OBRA E ONDE O MESMO É FABRICADO:
QUAL O TIPO DE LAJE QUE FOI UTILIZADA:
AS LIGAÇÕES SÃO FEITAS DE QUE MANEIRA:
ENTRE A LAJE A VIGA É UTILIZADA CONECTORES? QUAIS SÃO:
QUAL TIPO DE FUNDAÇÃO EMPREGADA NA OBRA:
FALANDO-SE EM PROTEÇÃO DE PERFIS, COMO É FEITA ESSA PROTEÇÃO:

CONSTRUIR EM AÇO É MAIS VANTAJOSO QUE UTILIZAR O CONCRETO?
( ) SIM ( ) NÃO
RELATAR SOBRE A VANTAGEM OU DESVANTAGEM DO AÇO EM RELAÇÃO AO CONCRETO SOBRE A QUESTÃO ANTERIOR:

**ANEXO B**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**UNIVERSIDADE TIRADENTES - UNIT**

**PESQUISA DE ESTUDO DE CASO**

**QUESTIONÁRIO (PARA FÁBRICA DA ÁREA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA)**

<b>FÁBRICA VISITADA:</b>
--------------------------

**Obs: abaixo estão listadas algumas perguntas para aprofundar o estudo.**

QUAL A QUANTIDADE DE FUNCIONÁRIOS E DEVIDO A GRANDE PREOCUPAÇÃO EM NÃO SAIR PEÇAS DEFEITUOSAS QUAL A EXIGÊNCIA DE ESPECIALIZAÇÃO PARA OS MESMOS:
QUAIS OS PERFIS MAIS UTILIZADOS QUE CONSEQUENTEMENTE SÃO FABRICADOS COM MAIS FREQUÊNCIA NA EMPRESA:
QUAIS OS TIPOS DE LIGAÇÕES ENTRE AS PEÇAS:
COMO É O PROCESSO DE FABRICAÇÃO:
QUAIS OS EQUIPAMENTOS QUE SÃO NECESSÁRIOS PARA FABRICAÇÃO QUE DEVE TER NA FÁBRICA:
EM RELAÇÃO À SOLDA, QUAL O TIPO E ONDE SÃO FEITAS:
A PERFURAÇÃO DAS PEÇAS DEVE SER FEITA COMO:
O PROCESSO DE PINTURA É FEITO DE QUE FORMA: