

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**MATEUS FERNANDES COSTA**

**ANÁLISE DE PROJETO EM ESTRUTURA METÁLICA:**  
**comparação entre um projeto inteiramente de estrutura metálica com**  
**um projeto de adequação da metálica ao concreto**

**Varginha**  
**2020**

**MATEUS FERNANDES COSTA**

**ANÁLISE DE PROJETO EM ESTRUTURA METÁLICA:  
comparação entre um projeto inteiramente de estrutura metálica com  
um de adequação da metálica ao concreto**

Projeto de pesquisa apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, sob orientação do Prof. Esp. Matheus Henrique Pereira.

**Varginha  
2020**

**MATEUS FERNANDES COSTA**

**ANÁLISE DE PROJETO EM ESTRUTURA METÁLICA:  
comparação entre um projeto inteiramente de estrutura metálica com  
um de adequação da metálica ao concreto**

Projeto de pesquisa apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, sob orientação do Prof. Esp. Matheus Henrique Pereira.

Aprovado em    /    /

---

Prof.

---

Prof.

---

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a todos aqueles que contribuíram para sua realização, em especial ao meu orientador do trabalho de conclusão de curso, Prof. Esp. Matheus Henrique Pereira.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela trajetória, aos professores pela orientação e aos meus familiares por terem me auxiliado e colaborado na construção deste trabalho.

“O Senhor é o meu pastor e nada me faltará. Deita-me em verdes pastos e guia-me mansamente em águas tranquilas. Refrigera a minha alma, guia-me pelas veredas da justiça, por amor do seu nome. Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal algum, porque Tu estás comigo, a Tua vara e o Teu cajado me consolam. Prepara-me uma mesa perante os meus inimigos, unges a minha cabeça com óleo, o meu cálice transborda. Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha vida e habitarei na casa do Senhor por longos dias.” (Salmo 23)

## RESUMO

Esse trabalho mostra a comparação de um projeto inteiramente em estrutura metálica e um projeto de adequação metálica com concreto, visando apresentar um padrão de procedimentos que contemple os aspectos práticos desde o projeto até a sua montagem, suprimindo a necessidade das obras em obter agilidade e eficiência. Para esse objetivo, foi realizado um estudo de caso onde foi analisado cada etapa de um projeto inteiramente em estrutura metálica e um de adequação de estrutura metálica com concreto estabelecendo uma análise qualitativa quando se refere aos resultados, mostrando o maior diferencial quanto a resistência, rapidez quanto a construção e aumento do espaço útil. Essa comparação foi realizada com acompanhamento em todas as etapas das duas obras, podendo assim obter a análise de qual obra foi mais eficiente quanto a agilidade e eficácia.

**Palavras-chave:** Estrutura Metálica. Estrutura Metálica com Concreto. Eficiência.

## **ABSTRACT**

*This work shows the comparison of a project entirely in metallic structure and a project of metallic adequacy with concrete, aiming to present a standard of procedures that contemplates the practical aspects from the project until its assembly, supplying the necessity of the works to obtain agility and efficiency. For this purpose, a case study was carried out where each stage of a project was analyzed entirely in metallic structure and one of adequacy of metallic structure with concrete, establishing a qualitative analysis when referring to the results, showing the greatest differential in terms of strength, speed regarding the construction and increase of the useful space. This comparison was carried out with monitoring in all stages of the two works, thus being able to obtain the analysis of which work was more efficient in terms of agility and efficiency.*

**Keywords:** *Metallic Structure. Metallic Structure with Concrete. Efficiency.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Partes componentes de um galpão com colunas em perfis I e tesouras .....	14
Figura 2: Perfil estrutural .....	15
Figura 3: Projeto arquitetônico de estrutura metálica com concreto .....	23
Figura 4: Projeto arquitetônico inteiramente de estrutura metálica.....	23
Figura 5: Projeto estrutural de estrutura metálica com concreto .....	24
Figura 6: Projeto estrutural inteiramente de estrutura metálica.....	25
Figura 7: Processo de furação de cantoneira .....	27
Figura 8: Máquina Plasma.....	27
Figura 9: Máquina Peddinghaus .....	28
Figura 10: Soldagem pela máquina Mig Mag .....	29
Figura 11: Teste LP.....	29
Figura 12: Processo de pintura .....	30
Figura 13: Soldagem das peças .....	32
Figura 14: Chapa chumbada ao concreto .....	33

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 A utilização estrutural de aço na construção civil</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Montagem e cuidado do aço</b> .....	<b>15</b>
2.2.1 Cuidados com o transporte .....	16
2.2.2 Condições do canteiro .....	16
2.2.3 Armazenamento de estrutura metálica .....	17
2.2.4 Escolha dos equipamentos necessários .....	17
2.2.5 Utilização de técnica de içamento adequado .....	17
2.2.6 Cuidados com as ligações soldadas e parafusadas .....	18
2.2.7 Respeitar o limite de tolerância da estrutura.....	18
2.2.8 Cuidado com a estabilidade e alinhamento estrutural durante a montagem.....	18
<b>2.3 Vantagens e desvantagens do aço</b> .....	<b>19</b>
<b>2.4 A utilização estrutural de concreto na construção civil</b> .....	<b>19</b>
<b>2.5 Vantagens e desvantagens do concreto</b> .....	<b>20</b>
<b>2.6 Normas técnicas</b> .....	<b>20</b>
2.6.1 ABNT NBR 8.800:2008 .....	20
2.6.2 ABNT NBR 14.323:2013 .....	21
2.6.3 ABNT NBR 14.762:2010 .....	21
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1 Projeto Arquitetônico</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2 Projeto Estrutural</b> .....	<b>24</b>
<b>3.3 Projeto De Execução</b> .....	<b>25</b>
<b>3.4 Análise do Projeto</b> .....	<b>26</b>
<b>3.5 Fabricação</b> .....	<b>26</b>
3.5.1 Cortes e furação .....	27
3.5.2 Montagem das peças .....	28
3.5.3 Conferência .....	28
3.5.4 Soldagem .....	28

3.5.5 Pintura.....	30
<b>3.6 Embarque de Estruturas.....</b>	<b>30</b>
<b>3.7 Montagem da Estrutura no Terreno .....</b>	<b>31</b>
3.7.1 Método de montagem.....	31
3.7.2 Fundações .....	31
3.7.3 Correção de erros durante a montagem .....	31
<b>3.8 Planejamento De Montagem.....</b>	<b>31</b>
3.8.1 Processo de montagem e execução das ligações .....	31
3.8.2 Plano de Rigging .....	33
3.8.3 Equipamentos.....	33
3.8.4 Mão de obra .....	34
<b>4. RESULTADO E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>39</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>44</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A estrutura metálica veio ganhando seu espaço cada vez mais no mercado, desde o século XIX, em consequência da grande demanda de construções com curto prazo de entrega. O uso das estruturas metálicas eram mais utilizados em pontes, depois da revolução estrutural, veio a generalização das estruturas em aço em grande porte. Com a grande procura por construções rápidas, a estrutura metálica se mostrou mais eficiente em relação ao concreto em inúmeros aspectos, atendendo as exigência e normas do mercado.

A estrutura metálica é uma sustentação da construção civil composta por perfis metálicos de aço, formado por ferro e carbono, sua resistência depende da quantidade de carbono. Ela é utilizada principalmente para execução de vigas, terças, treliças de telhados, pilares, pórticos, pergolados, barrotes de mezaninos, caixa de elevador e escadas.

A partir da análise de comparação dos dois projetos, foi possível identificar entre um projeto de estrutura metálica e um projeto de estrutura metálica com concreto, qual é a estrutura de construção civil mais eficaz, o mais vantajoso em acessibilidade, segurança, rendimento, perda de material, eficiência, obras mais limpas e áreas mais amplas. Este trabalho tem como objetivo comparar um projeto inteiramente em estrutura metálica e um projeto de adequação metálica com concreto, visando apresentar um padrão de procedimentos que contemple os aspectos práticos referentes a execução de projetos, fabricação, transporte e montagem de estruturas de aço e suas interfaces.

Este trabalho justifica-se pelo fato da estrutura metálica oferecer a agilidade e eficiência que o meio civil necessita a cada dia. A agilidade na construção é o maior diferencial nas construções com estrutura metálica. As construções realizadas com estruturas metálicas são mais resistentes e tornam a execução mais rápida, o menor peso das estruturas facilita o transporte e a montagem. Elas também proporcionam estrutura mais leve, aumento do espaço útil e maiores vãos livres melhorando a integração de espaços e ambientes.

A metodologia que foi adotada para a elaboração desse trabalho será uma pesquisa bibliográfica seguida de um estudo de caso onde foi analisada cada uma das etapas de um projeto inteiramente em estrutura metálica e um de adequação de estrutura metálica com concreto, realizados pela empresa Inovacon Construções Inteligentes.

Será desenvolvido a partir de agora um referencial teórico onde será apresentados os conceitos da estrutura de aço e a estrutura de concreto seguido da metodologia onde serão

dispostos as questões relacionadas as etapas de um projeto inteiramente de estrutura metálica e um projeto de adequação ao concreto, continuando com os resultados e discussões das avaliações desses resultados e finalmente a conclusão.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A utilização estrutural de aço na construção civil

Aço é uma liga metálica constituída de ferro, carbono e adição de outros elementos que aprimoram determinadas propriedades. Por ser um material de produção controlada e com dimensões padronizadas, o dimensionamento de uma estrutura em aço se constitui em escolher o elemento que se adapte a obra, contrário ao dimensionamento de estruturas em concreto, que se adaptam às necessidades da estrutura. O aço é um material que tem bastante aplicabilidade na construção civil, não só por adaptar a obra, mas também devido às propriedades de resistência que apresenta e por sua grande capacidade de vencer grandes vãos, tendo peças de menor dimensão e peso.

Na construção civil, ele pode ser empregado de duas formas principais: como as armaduras que complementam o concreto armado que auxiliam na resistência a tração da estrutura ou como o corpo estrutural de uma edificação formada por diversos componentes metálicos (vigas, pilares, treliças).

Quando o aço é submetido a esforços mecânicos, seu comportamento pode ser compreendido por meio de ensaios de maneira destrutiva ou não, tornando-se necessário as respostas do aço em relação às ações mecânicas aplicadas sobre ele, para que a deformação final não ultrapasse limites normativos quando são expostos a carga atuante. As propriedades mecânicas para o aço são definidas pela NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), descrito no quadro 1.

Quadro 1: Propriedades mecânicas do aço

SIMBOLOGIA	CONSTANTE FÍSICA	VALOR
$E_a$	Módulo de Elasticidade	200.000 Mpa
$V_a$	Coefficiente de Poisson	0,3
G	Módulo de Elasticidade Transversal	77.000 Mpa
$\beta_a$	Coefficiente de Dilatação Térmica	$1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
$\rho_a$	Massa Específica	7.850 Kg/m <sup>3</sup>

Fonte: ABNT NBR 8800:2008, item 4.5.2.9

Os aços para o uso em elementos estruturais de edificações, possui propriedades que são ideais para esses tipos de estruturas de aço. Possuindo as seguintes características segundo Sérgio Augusto de Souza, 2018:

Aço carbono são aços de média resistência mecânica, é aquele que contém elementos de liga em teores residuais máximos admissíveis, que são sempre encontrados no aço, sendo o fósforo, enxofre, silício e manganês.

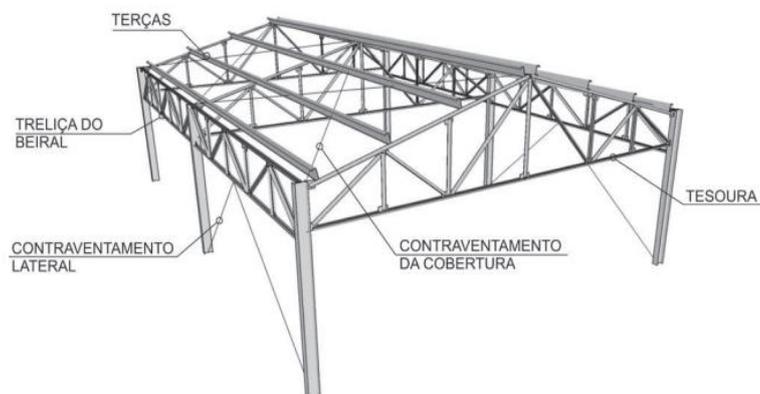
Aços de baixa liga são aços com média e alta resistência mecânica, resistência à corrosão atmosférica e de excelente soldabilidade. O uso de aços com alta resistência mecânica proporciona uma redução de espessura das peças estruturais, o que implica um menor consumo de material.

Aços resistentes ao fogo são aços que são basicamente resultantes da modificação de aços resistentes à corrosão atmosférica. As adições são ajustadas sempre no limite mínimo possível, para garantir um valor elevado de resistência mecânica à tração, sem prejudicar sua soldabilidade e sua resistência à corrosão atmosférica.

Os aços para utilização estrutural são produzidos em diversas formas, tais como, chapas, barras, perfis laminados, fios trefilados, cordoalhas e cabos. Perfis estruturais também podem ser fabricados por dobramento de chapas e por associação de chapas soldadas. (Pfeil, 2009).

Os principais componentes para usos gerais são os pilares e vigas, as treliças, terças e tesouras, além dos contraventamentos, segundo (Chamberlain, 2013), conforme mostra figura 1.

Figura 1: Partes componentes de um galpão com colunas em perfis I e tesouras.

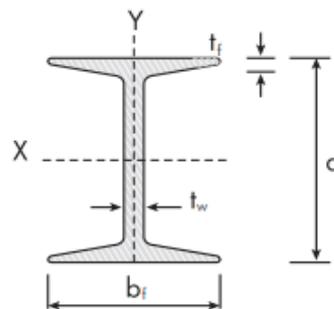


Fonte: CBCA (2010)

Podendo ser obtido por laminação ou pela soldagem de três chapas, os perfis “I” são especificados em projeto, pela letra “I” acompanhada da dimensão da sua altura em polegada ou milímetro, seguida do seu peso por metro linear. Todos os perfis “I”, sejam laminados ou soldados, têm a espessura de sua mesa ( $t_f$ ) maior que de sua alma ( $t_w$ ), o que o torna adequado para absorver os esforços de flexão, já que suas mesas constituem elementos de grande quantidade de massa afastados do centro de gravidade da seção (FAY, 2006), conforme mostrado na figura 2. Devido a isso, seus principais usos estruturais são como vigas.

O perfil em formato “H” se diferencia geometricamente do perfil “I” por apresentar espessura das mesas ( $t_f$ ) igual à espessura da alma ( $t_w$ ). Por suas características geométricas, este perfil é quase que unicamente utilizado como pilar, pois apresenta boa rigidez em ambas as direções, respondendo bem aos esforços de compressão axial.

Figura 2: Perfil estrutural



Fonte: Gerdau 2010

Sendo:  $b_f$  - largura da mesa

$t_f$  - espessura das mesas

$t_w$  - espessura da alma

$d$  - altura total do perfil

## 2.2 Montagem e cuidado do aço

Os cuidados que serão citados, referem-se para a montagem de estruturas metálicas em geral, de acordo com Associação Brasileira de Construção Metálica (ABCEM), Centro

Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) e Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE).

### 2.2.1 Cuidados com o transporte

As peças são fabricadas em lugares diferentes da montagem, o que é necessário o transporte dessas peças que são feitos por meio rodoviário. O primeiro cuidado a ser tomado é quanto ao tipo de veículo mais adequado que devem ter as dimensões e capacidade de carga necessárias para comportar as peças. Precauções devem ser tomadas quanto ao trajeto até o local de montagem, devido as limitações de altura, largura e peso máximo existentes nas rodovias.

As estruturas devem ser produzidas e embarcadas em uma sequência que permita eficiência na fabricação e na montagem, ou seja, as peças necessárias para a realização da obra são produzidas e encaminhadas ao local conforme a fase que se encontra a montagem da estrutura.

### 2.2.2 Condições do canteiro

Elaborar o detalhamento das construções provisórias do canteiro de obras, definir os caminhos de serviço, a especificação da fonte de energia elétrica e iluminação, o abastecimento de água e a disposição de efluentes, são as primeiras etapas para começar a obra.

Os canteiros da obra devem ter vias adequadas de acesso, para que a descarga e a movimentação das estruturas possam ser feitas com segurança, como também o livre trânsito de guindastes, caminhões e equipamentos necessários.

Os terrenos devem ser firmes, adequadamente nivelados, drenados e suficientemente amplo de forma a atender a operação dos equipamentos de montagem, livres de interferências aéreas ou na superfície, tais como, cabos de energia elétrica e linhas telefônicas, e espaço adequado para armazenamento, de modo que as estruturas descarregadas não ocupem todo o espaço disponível no canteiro, permitindo que a montagem seja realizada com a maior agilidade possível.

Todas as exigências são verificadas pela empresa em uma visita prévia a realização da

obra, caso as condições não estejam conforme exigências é solicitado seu cumprimento para realizar a montagem da estrutura.

### 2.2.3 Armazenamento da estrutura metálica

O espaço destinado ao armazenamento das peças devem ter tamanho suficiente para acomodá-las com segurança, de modo que as estruturas descarregadas não ocupem todo o espaço disponível no canteiro, permitindo que a montagem seja realizada com a maior agilidade possível.

As peças não devem ficar semienterradas ou submersas, o armazenamento deve ser feito de forma a evitar deformações, danos a pintura, acúmulo de sujeira e água entre as peças e o contato de outros metais com o aço para evitar a ocorrência de corrosão galvânica.

### 2.2.4 Escolha dos equipamentos necessários

A montagem das estruturas metálicas necessita de equipamentos e máquinas pesadas, os principais equipamentos são as guias e guindastes. É necessário também especificar e dimensionar os equipamentos como máquina de solda, guinchos, geradores de energia e compressores e detalhar os aparelhos de montagem como paus de carga, travelers, roletes e lagartas. Para que todos esses equipamentos não interfiram na montagem, é preciso estudar o trajeto de transporte dos equipamentos de grande porte e apresentar o plano de montagem e desmontagem desses equipamentos.

### 2.2.5 Utilização de técnica de içamento adequada

O içamento deve ser realizado com muito cuidado, pois se feito de forma incorreta ou imprudente podem provocar acidentes graves.

Para realizar um içamento com segurança deve determinar os içamentos críticos com a especificação, dimensionamento e detalhamento dos acessórios de içamento, o cálculo do peso das peças e de seu centro de gravidade, apresentar diagramas horizontal e vertical do equipamento, o plano de instalação e retirada dos acessórios de içamento.

Içar uma peça sem o correto posicionamento do gancho no centro de gravidade pode

provocar movimentos indesejados na peça e levar a risco de acidentes, podendo atingir o próprio equipamento ou as pessoas envolvidas na operação.

#### 2.2.6 Cuidados com as ligações soldadas e parafusadas

Deve ser inspecionada conforme as normas vigentes, as ligações soldadas na montagem das estruturas é também a qualidade e segurança das mesmas.

Os parafusos devem ser separados e classificados conforme indicação no projeto, pois existem diversos tipos, diâmetros e comprimentos diferentes. Os cuidados a serem tomados quanto as ligações das peças com os parafusos são quanto ao preparo da peça para que sua superfície não tenha óleo, tinta, graxa, rebarbas, ferrugem, sujeira ou qualquer outra substância que interfira a fixação com a peça, e quanto ao torque aplicado não exceder ao indicado para cada parafuso e o limite nas ligações das placas, para não provocar tensões de tração e o alongamento do parafuso.

#### 2.2.7 Respeitar o limite de tolerância da estrutura

Os limites de tolerância de cada peça deve ser respeitado de acordo com as normas ou projeto da estrutura metálica. Para cada tipo de peça e de estrutura metálica existe um limite de tolerância, podendo ser tolerância industrial, tolerância de fabricação e tolerância de montagem.

#### 2.2.8 Cuidado com a estabilidade e alinhamento estrutural durante a montagem

A estabilidade da estrutura é garantida pelo seguimento do plano de montagem, que leva em consideração as cargas acrescidas progressivamente e o funcionamento das peças já instaladas ao adicionar essas cargas.

A locação exata dos alinhamentos e a precisão topográfica das bases nos canteiros são fornecidas aos montadores, onde estabelece as linhas de referência dos eixos e as referências de nível para a elevação no posicionamento dos pilares.

### **2.3 Vantagens e desvantagens do aço**

A aplicabilidade do aço na construção civil tem suas vantagens pela facilidade de transporte e manuseio, resistência à corrosão, facilidade na desmontagem e reaproveitamento, menos tempo nas obras, menor custo administrativo, economia nas fundações e menor consumo de revestimento.

As suas devantagens são poucas, a necessidade de tratamento superficial nas peças para não haver oxidação e a necessidade de mão de obra e equipamentos especializados.

### **2.4 A utilização estrutural de concreto na construção civil**

O concreto é a resultante da mistura de materiais naturais ou britados com cimento e água. Para atender certas necessidades, podem ser acrescentados ao concreto, aditivos químicos como aceleradores de pega ou retardadores, e minerais como microssílica, que melhoram as características do concreto fresco ou endurecido.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da NBR 9062:2001, define o concreto pré-moldado como peças fabricadas fora do seu local definitivo na estrutura, atendendo padrões rigorosos de controle de qualidade elevando em consideração as diversas etapas de fabricação como estocagem, transporte e uso final.

A NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001) é atualmente a principal norma que atende os sistemas pré moldados, determinando os requisitos para o desenvolvimento de projetos, a execução e o controle de estruturas pré-moldadas de concreto armado ou protendido.

Sendo o concreto um material obtido da mistura de agregados e pasta de cimento, essa combinação gera um material de estrutura heterogênea e com propriedades físicas determinadas pelos materiais utilizados em sua produção (RIBEIRO, 2016). O item 8.2 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) define as seguintes propriedades para o concreto, conforme o quadro 2:

Quadro 2: Propriedades do concreto

<b>SIMBOLOGIA</b>	<b>CONSTANTE FÍSICA</b>	<b>VALOR</b>
V	Coeficiente de Poisson	0,2
$G_c$	Módulo de Elasticidade Transversal	$0,4 * E_{cs}$
$\beta_c$	Coeficiente de Dilatação Térmica	$10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
$\rho_c$	Massa específica do concreto armado	$2.500 \text{ Kg/m}^3$

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

As características apresentadas acima, são denominadas propriedades mecânicas, onde suas verificações são de suma importância para controle da qualidade das peças e para o cumprimento de especificações de projeto.

Para estimar a resistência a compressão, o corpo de provas moldados é testado em uma máquina que exerce uma força gradual de compressão sobre o corpo de prova até que ele se rompa, assim é medida a resistência daquele tipo de concreto. Também é estimado a resistência a tração, podendo ser determinado pelo ensaio de tração axial, ensaio de compressão diametral ou ensaio de flexão de vigas.

## 2.5 Vantagens e desvantagens do concreto

A trabalhabilidade, as estruturas monolíticas e a resistência ao fogo, são as principais vantagens da aplicabilidade do concreto em armações.

As desvantagens são por serem elementos com maiores dimensões, são condutores de calor e som e necessitam de sistemas de formas e escoramentos.

## 2.6 Normas Técnicas

### 2.6.1 ABNT NBR 8.800:2008

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 8.800:2008 estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no projeto à temperatura ambiente de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações, incluindo passarelas de pedestres e suporte de equipamentos. Essa norma se aplica exclusivamente aos perfis de aço não-híbrido.

### 2.6.2 ABNT NBR 14.323:2013

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 14.323:2013 estabelece os requisitos para o projeto das estruturas de aço e das estruturas mistas de aço e concreto em situação de incêndio de edificações cobertas pelas ABNT NBR 8.800 e ABNT NBR 14.762, conforme os requisitos de resistência ao fogo, prescritos pela ABNT NBR 14.432 ou legislação brasileira vigente.

### 2.6.3 ABNT NBR 14.762:2010

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 14.762:2010 estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no dimensionamento à temperatura ambiente, de perfis estruturais de aço formados a frio, constituídos por chapas ou tiras de aço-carbono ou aço de baixa liga, conectados por parafusos ou soldas e destinados a estruturas de edifícios.

### **3. METODOLOGIA**

A metodologia que será adotada para a elaboração desse trabalho será uma pesquisa bibliográfica seguida de um estudo de caso. Estudos de caso são usados há tempos em diferentes âmbitos de conhecimento, segundo (Stake, 1994), “o conhecimento gerado pelo estudo de caso é diferente de outros tipos de pesquisa porque é mais concreto, mais contextualizado e mais voltado para a interpretação do leitor”.

Trata-se de um estudo de caso onde será analisada cada uma das etapas de um projeto inteiramente em estrutura metálica e um de adequação de estrutura metálica com concreto, realizados pela empresa Inovacon Construções Inteligentes.

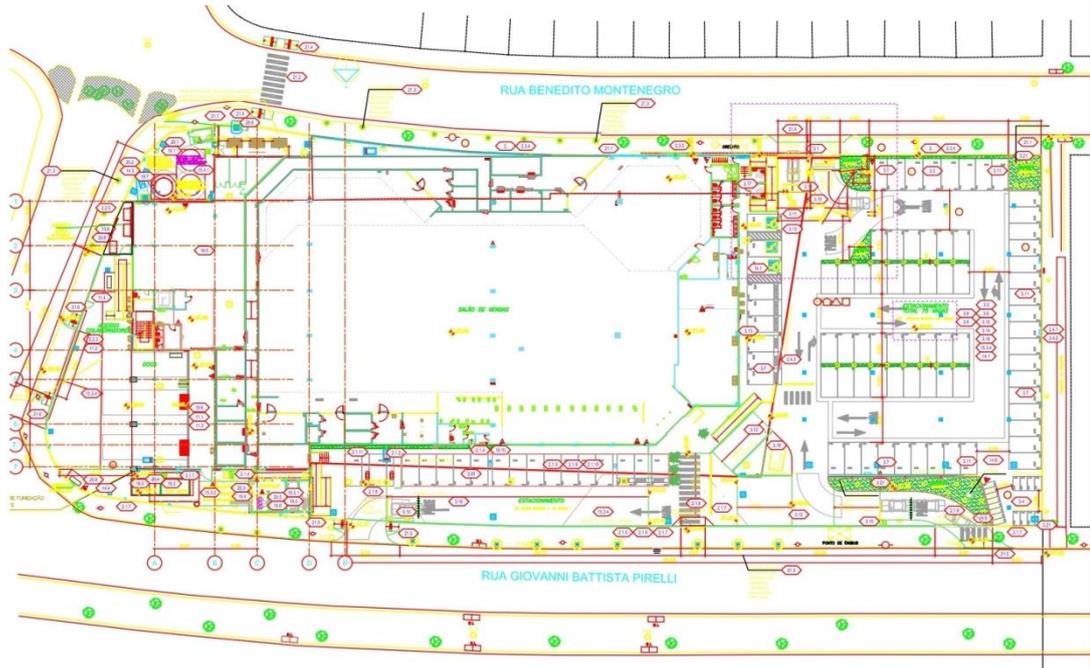
Estabelecendo uma análise qualitativa, os resultados se darão por meio da explanação de metodologias de explicação das etapas de cada obra.

#### **3.1 Projeto Arquitetônico**

O projeto arquitetônico é o esboço do projeto, essencial para qualquer edificação. Ele é definido como a materialização de uma ideia ou do espaço imaginado pelo arquiteto. Com ele é possível verificar a melhor maneira de atender as necessidades de um potencial cliente, prever o recurso físico financeiro necessário para realização da obra, ou até mesmo poder prever e solucionar os problemas que podem surgir durante o processo.

Abaixo na figura 3, pode-se ver o projeto arquitetônico com adaptação de estrutura metálica com concreto.

Figura 3: Projeto arquitetônico de estrutura metálica com concreto



Fonte: Inovacon

Na figura 4, pode-se ver o projeto inteiramente de estrutura metálica.

Figura 4: Projeto arquitetônico inteiramente de estrutura metálica

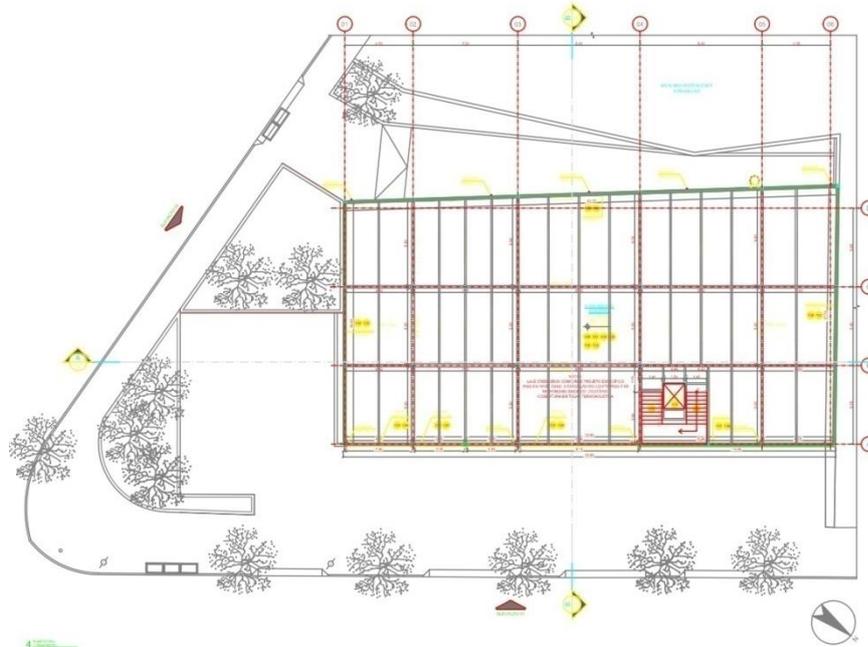


Fonte: Inovacon



Abaixo se pode ver o projeto inteiramente de estrutura metálica, conforme figura 6.

Figura 6: Projeto estrutural inteiramente de estrutura metálica



Fonte: Inovacon

### 3.3 Projeto De Execução

A fase de execução consiste em colocar em prática todas as tarefas planejadas, nas condições de qualidade, custos, prazos e de forma a alcançar os objetivos das partes interessadas. Essa fase caracteriza-se por um intenso trabalho em equipe, sob a coordenação geral de uma pessoa responsável pelo projeto.

A fase de controle segue os passos da execução, podendo fazer retoques e ajustes no planejamento inicial, porém mantendo o escopo do projeto, compara o efetivo feito e o planejamento e mantém a execução dentro dos prazos e custos.

O controle do escopo verifica o impacto dos custos, prazos e alocação de recursos, formalizando a mudança após o replanejamento caso necessite de mudanças por eventos externos, como melhoria de uma norma ou até uma mudança em uma regulamentação governamental, por erro no planejamento, como erro ou omissão da definição do produto e do projeto, por ocorrência de assunto de risco e por dificuldades com fornecedores.

O controle de cronograma visa manter os processos necessários dentro do prazo, para garantir a entrega do projeto na data prevista, possibilitando uma visão geral das atividades e

das relações entre elas, além de mostrar quais recursos estão alocados e em quais atividades, assim identificando mais facilmente as atividades críticas e distribuir os recursos, evitando atrasos nas entregas do projeto, e conseqüentemente, evitando o aumento dos custos do projeto.

### **3.4 Análise do Projeto**

Assim que o projeto chega na empresa para ser feito o orçamento, é passado por três fases. Na primeira fase é retirado as áreas, verifica-se as especificações do projeto como steeldecke, especificações de telhas, e estima-se o peso que ficará a obra.

Após o contrato ser fechado com o cliente, entra a segunda fase. Na segunda fase chega os cálculos estruturais e são estudados os vãos para ser feito o pedido dos perfis.

E então entra a terceira fase, onde o projeto é analisado superficialmente para verificar se há algo fora do padrão de trabalho da empresa. Assim que verificado, é enviado para o topógrafo para ser identificado as colunas de canto e colunas de meio, os vãos face de coluna com vãos das vigas, para saber quanto de folga foi adotada pelo engenheiro e as dimensões das colunas, e depois das dimensões das peças feita pelo topógrafo, é feita a listagem de aço, perfis, chapas e parafusos que serão usados na construção da estrutura, feita pelos analistas de projetos.

### **3.5 Fabricação**

A fabricação se define por um conjunto dos trabalhos destinados a receber a matéria prima, preparar as chapas e perfis estruturais através de operações de traçagem, corte, dobra, furação, desempenho, pré-montagem e composição, ponteamto, soldagem e acabamento de todas as peças da estrutura de acordo com o desenho de fabricação.

Antes de fabricar as peças, é determinado a maneira que será feito a fabricação para a montagem, se será eixo ou andar e a identificação de todos os chumbadores e chapas presentes no projeto para ser dada a ordem de produção dos chumbadores aos operários.

Com os chumbadores em fabricação, os analistas começam os estudos das colunas para desenharem as peças de perfis e chapas. Depois das peças desenhadas, são conferidas e enviadas para os operadores de máquinas programar os cortes.

### 3.5.1 Cortes e furação

Primeiro faz o plano de corte das chapas e dos perfis, para não haver erros e aproveitá-las ao máximo, evitando desperdícios. Depois de planejado os cortes, é dado a ordem de produção aos operários para realizarem o corte e a furação das chapas na máquina de Plasma e dos perfis na máquina de Peddinghaus.

Na figura 7, pode-se ver como é utilizada a máquina para furar as cantoneiras.

Figura 7: Processo de furação de cantoneira



Fonte: Autor

Na figura 8, pode-se ver a máquina de Plasma que é usada para corte das chapas.

Figura 8: Máquina Plasma



Fonte: Autor

Na figura 9, é apresentada a máquina Peddinghaus que é utilizada para corte de perfis.

Figura 9: Máquina Peddinghaus



Fonte: Autor

### 3.5.2 Montagem das peças

Primeiro é traçado o plano de montagem que são desenhos, descritivos ou diagramas que são preparados pelo montador para ilustrar a sequência e o processo de montagem, com todos os requisitos para a instalação de suportes e travamentos temporários, as exigências para içar, parafusar ou soldar as peças, bem como o dimensionamento e especificações dos equipamentos de montagem.

Com o projeto em mãos o montador confere as medidas e une as chapas aos perfis montando as colunas e as vigas necessárias para a obra.

### 3.5.3 Conferência

Assim que os perfis e chapas são unidas pelo montador, os analistas de projetos fazem a conferência das peças verificando as tolerâncias permitidas.

### 3.5.4 Soldagem

Com a conferência aprovada, as colunas e vigas são soldadas entre os perfis e chapas na máquina Mig Mag, essa soldagem é feita a partir de um arco elétrico alimentado por um

arame, fornecido por um alimentador contínuo, realizando a união dos materiais pelo aquecimento e fusão. O procedimento de soldagem na máquina Mig Mag é apresentado abaixo na figura 10.

Figura 10: Soldagem pela máquina Mig Mag.



Fonte: Autor

Vale ressaltar que toda soldagem realizada passa pelos testes LP, onde é injetado o líquido penetrante para verificação da selagem completa da solda, não podendo apresentar rachadura, porosidade, encolhimento e falta de adesão, assim garantindo a união perfeita das peças, conforme figura 11.

Figura 11: Teste LP



Fonte: Autor

### 3.5.5 Pintura

A estrutura que não necessitar de pintura de fábrica, para ficar isenta de óleo, graxa, sujeira e outros materiais estranhos, deverá ser limpa com solvente. Os resíduos devem ser removidos com escova de aço, lixadeira ou outros meios adequados.

A estrutura que requeira pintura de fábrica, são aplicáveis os requisitos necessários para não resultar a exposição às condições atmosféricas incomuns mais severas que as condições atmosféricas normais exigidas. No processo de pintura, depois da limpeza necessária é usada a tinta da Falcoprimer, na cor cinza esverdeado e é diluída em 20% de tinner, usando um compressor para realizar a pintura.

Abaixo na figura 12 pode-se ver o procedimento da pintura dos perfis.

Figura 12: Processo de pintura.



Fonte: Autor

## 3.6 Embarque de Estruturas

As estruturas são produzidas e embarcadas em uma sequência que permita eficiência na fabricação e na montagem, ou seja, as peças necessárias para a realização da obra são produzidas e encaminhadas ao local, conforme a fase que se encontra a montagem da estrutura.

### **3.7 Montagem da Estrutura no Terreno**

#### **3.7.1 Método de montagem**

As estruturas de aço são montadas utilizando-se métodos e sequência que permitam um eficiente e econômico desempenho, de acordo com os requisitos do projeto.

#### **3.7.2 Fundações**

Fundações são as estruturas responsáveis por transmitir as cargas de uma edificação para as camadas resistentes do solo sem provocar ruptura do terreno de fundação.

A locação precisa, a resistência e a adequação do acesso a todas as fundações, pilares, são realizadas pelos funcionários da empresa.

#### **3.7.3 Correção de erros durante a montagem**

É considerado operações normais de montagem a execução de pequenos ajustes através de alargamento moderado de fogos, esmerilhamento, solda, cortes e o uso de espigas para posicionar elementos da estrutura.

### **3.8 Planejamento De Montagem**

#### **3.8.1 Processo de montagem e execução das ligações**

Apresentar as recomendações gerais e descrever o tipo de estrutura e de suas ligações, o processo de montagem e as suas prioridades, detalhando a sequência de montagem e os seus ciclos. Apresentar o desenho e o cronograma geral. Especificar e planejar os conjuntos a serem pré montados. Prever os cuidados a serem tomados e se ocorrerem interrupções nos procedimentos ou ciclos de montagem e analisar a interface da montagem com outros serviços. Apresentar as recomendações quando as precauções à serem tomadas sobre a ocorrência do mal vento, chuva ou temperaturas extremas.

Programar a execução das ligações de campo, tanto parafusadas quanto soldadas,

atendendo aos requisitos, aos procedimentos qualificados e recomendações das normas aplicadas no projeto.

Na montagem das estruturas metálicas as peças são parafusadas ou soldadas uma nas outras como mostra na figura 13, pode ver que não é necessário um terceiro elemento, como chapas, para à manterem firmes.

Figura 13: soldagem das peças



Fonte: Autor

Na montagem para adaptar a estrutura metálica ao concreto armado é necessário chapas e chumbadores para ligar a peça metálica ao concreto como mostra a figura 14.

Figura 14: Chapa chumbada ao concreto



Fonte: Autor

### 3.8.2 Plano de Rigging

Apresentar os içamentos críticos com a especificação, dimensionamento e detalhamento dos acessórios de içamento, o cálculo do peso das peças e de seu centro de gravidade. Apresentar os diagramas horizontal e vertical do equipamento, o plano de instalação e retirada dos acessórios de içamento.

### 3.8.3 Equipamentos

Especificar e dimensionar os equipamentos principais como guias e guindastes. Especificar e dimensionar os equipamentos como máquina de solda, guinchos, geradores de energia e compressores. Dimensionar e detalhar os aparelhos de montagem como paus de carga, travelers, roletes e lagartas. Estudar o trajeto de transporte dos equipamentos de grande porte e apresentar o plano de montagem e desmontagem dos equipamentos.

#### 3.8.4 Mão de obra

Apresentar o dimensionamento das equipes básicas, organograma do canteiro, as qualificações e certificações necessárias a cada especialidade e o histograma de mão de obra.

Apresentar o plano de segurança com a especificação de equipamentos de proteção individual, dimensionamento de proteções contra quedas e acidentes, montagem e desmontagem de plataformas de trabalho e meios de acesso do pessoal as frentes de montagem.

#### 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Neste tópico serão abordados todos os resultados obtidos durante este estudo. Este trabalho foi realizado através de pesquisas bibliográficas, acompanhado de estudo de caso, mostrando a agilidade e o maior diferencial quando se usa estruturas metálicas, através da comparação das etapas dos dois projetos, foi possível verificar qual projeto é mais eficiente, mais eficaz e mais rápido.

Após a descrição de cada etapa dos dois projetos, pode-se avaliar as questões que provam que o projeto inteiramente de estrutura metálica é mais recomendado que o projeto com adaptação da estrutura metálica ao concreto.

Pode-se observar tópicos onde indicam a maior eficiência e rapidez do projeto inteiramente de estrutura metálica.

- a) Eficiência: enquanto o concreto necessita de materiais diversos como, areia, cimento, brita, água, madeira, ferragem para sua execução, a estrutura metálica é fabricada com aço e para uní-los usa solda e parafusos. Ressaltando que o tempo para cada execução e montagem é evidente o menor tempo para as estruturas metálicas, uma vez que o concreto é executado também na obra, necessitando de um tempo maior e com possibilidade de erro, deixando o local mais sujo, menos livre e necessita de secagem e cura, já a estrutura metálica necessita somente de soldagem e parafusamento das peças que já chegam prontas na obra. O fato da estrutura metálica possibilitar vãos livres, obtendo redução do número de pilares, assim ampliando garagens e áreas para comercialização e o diferencial em questão de eficiência e acessibilidade.
- b) Rapidez: o concreto pré-moldado necessita ser testado quanto a sua resistência devido a espessura que se encontra a areia e o tamanho da brita, o que indica quanto a tração e compressão que ele suportará, quanto ao aço já se sabe antes mesmo de ser fabricado, assim intervindo quando a rapidez dos procedimentos.

## 5. CONCLUSÃO

As estruturas metálicas, podem ser utilizadas tanto em galpões, shoppings, prédios de múltiplos andares, pontes, viadutos e residências. A variedade de aplicação existe pelo fato da maior flexibilidade que o aço apresenta.

A agilidade nas construções é um quesito decisivo quanto a escolha do tipo de estrutura a ser usada, pois esse é o diferencial que leva a grande maioria dar preferência a estrutura metálica. A estrutura metálica se mostrou mais eficiente em relação ao concreto quanto a eficácia, segurança, rendimento, perda de material, eficiência, obras mais limpas e áreas mais amplas.

Com a grande procura de obras mais rápidas, a estrutura metálica ganhou seu espaço, pela sua montagem mais rápida e simplificada, pela facilidade de vencer grandes vãos, pela resistência a corrosão, pela facilidade na desmontagem e reaproveitamento, pelo canteiro de obras ficar mais limpo e acessível.

Além de proporcionar um conhecimento técnico, o trabalho de conclusão de curso permite que o aluno possa presenciar na prática como é a vida de um profissional da área, podendo observar como deve lidar com as pressões e obrigações dessa área, assim, aprender como deve ser a postura de um engenheiro mecânico, tornando-se um excelente profissional.

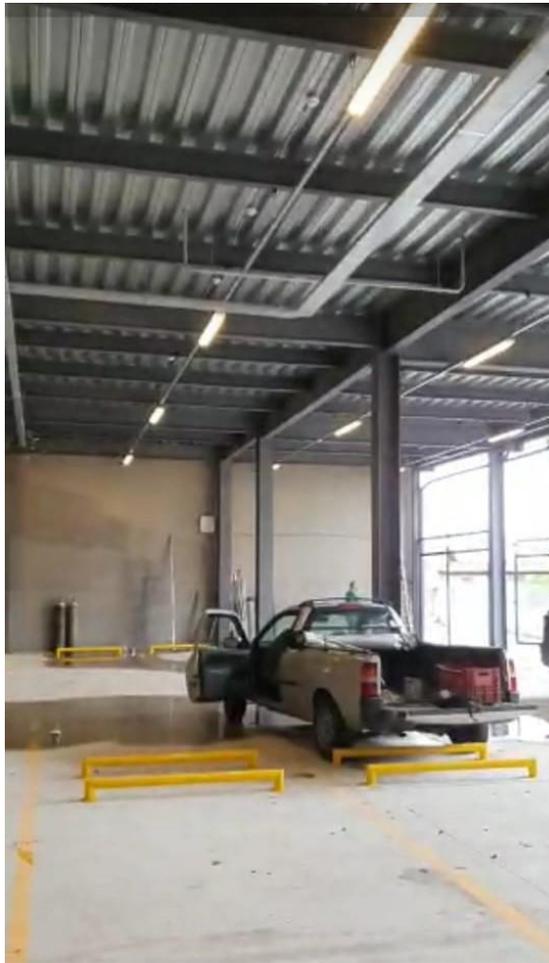
## REFERÊNCIAS

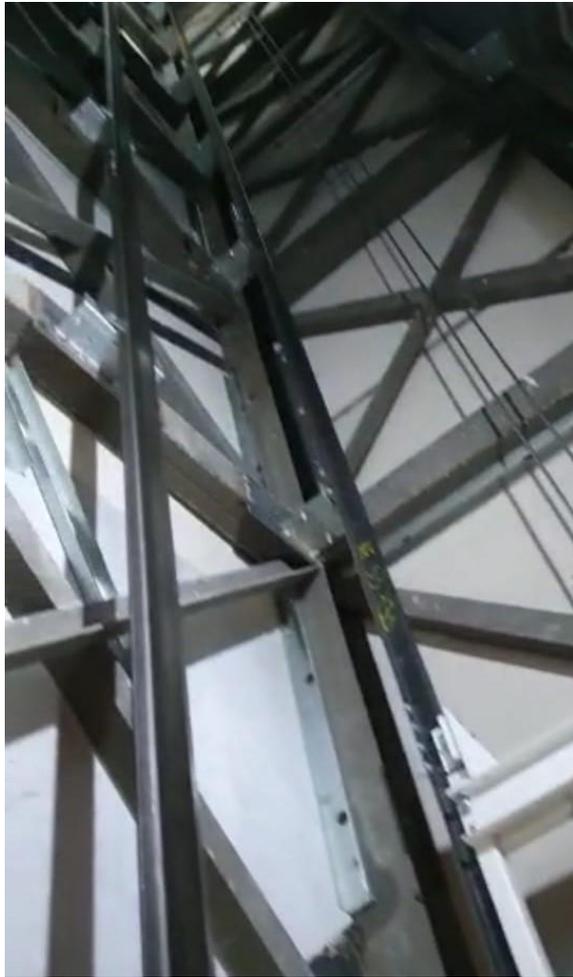
- ACKER, Arnold Van. Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto. São Paulo, ABCIC, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6215: Produtos siderúrgicos-Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9062: Projeto de estruturas de concreto pré-moldado – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010.
- BANDEIRA, Adriana Almeida de Castro. Análise do Uso de Estruturas de Aço em Edificações Habitacionais de Interesse Social. Belo Horizonte: UFMG, 2008.
- BRAGA, Thomaz dos Mares Guia. Cronologia do Uso dos Metais. Belo Horizonte, Usiminas, 1998.
- BELLEI, Ildony H.; PINHO, Fernando O.; PINHO, Mauro O. Edifícios de Múltiplos Andares em Aço. São Paulo: Pini, 2008.
- CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2014. 4 Ed. São Carlos: edUFSCAR, 2014.
- CHAMBERLAIN, Z.M.; FICANHA R.; FABEANE, R. Projeto e cálculo de estruturas de aço: Edifício industrial detalhado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE AÇO. USP PEF 2402, São Paulo, V.2, N.2, julho 2012.

- FAY, Liliana. Estruturas arquitetônicas: composição e modelagem. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006.
- INSTITUTO AÇO BRASIL . CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO: Galpões para Usos Gerais, Rio de Janeiro, 2018.
- MOTTA, L. A. de C.; MALITE. ANÁLISE DA SEGURANÇA NO PROJETO DE ESTRUTURAS: MÉTODO DOS ESTADOS LIMITES. USP, São Paulo, N.20, abril2002.
- NETO, Augusto Cantusio. Estruturas Metálicas I. Campinas: PUC Campinas: CEATEC, 2009. PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca Bragança. Estruturas Metálicas: Cálculos, Detalhes, Exercícios e Projetos. 2 Ed. São Paulo: Blucher, 2005.
- PFEIL, Walter; PFEL Michèle. Estruturas de aço: dimensionamento prática. 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC,2009.
- PIGNATTA, V. e S.; FRUCHTENGARTEN, J.; CAMPELLO, E. DE M.B.Monografia – Programa de Pós-graduaçãoLatu- Sensu em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança. Estruturas Metálicas. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- RIBEIRO, Mário César dos Reis. Analise da relação vão x altura de vigas metálicas mistas já executadas. Campina Grande: IPOG, 2016.
- SILVA, Antônio Carlos Viana; FILHO, Oswaldo Teixeira Baião. Guia Prático para Estruturas com Perfis Laminados. Belo Horizonte: Gerdau Açominas, 2005.
- SILVA, Ascânio M. F. SANTOS, Perdosvaldo C. Arquitetura de edifícios em aço. Apostila do curso de especialização em estruturas metálicas da FUMEC. Belo Horizonte: FUMEC, 2004.
- SILVA, Geraldo Gomes da Arquitetura do ferro no Brasil. São Paulo: Nobel, 1986. Autor : Douglas Evangelista da Silva – Unitri – Centro Universitário do Triangulo – Setembro de 2015.
- SOUZA, A.L.R.; BARROS, M.M.B.; MELHADO, S.B. Projeto e inovação tecnológica na construção de edifícios: implantação no processo tradicional e em processos inovadores. São Paulo, EPUSP, 1995.
- SOUZA, Sergio Augusto de. Composição Química dos Aços. 5ª edição. São Paulo: Blucher 2018.

## APÊNDICE A: Obra do projeto inteiramente de estrutura metálica











**APÊNDICE B: Obra do projeto de estrutura metálica com concreto**











