

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia de Materiais e Construção**

Gabriela Cristina Fonseca Ramos

**CONDICIONANTES DA UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURA DE AÇO NA  
CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA**

Belo Horizonte  
2022

Gabriela Cristina Fonseca Ramos

**CONDICIONANTES DA UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURA DE AÇO NA  
CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA**

Monografia de especialização apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Construção Civil.

Orientador: Adriano de Paula e Silva

Belo Horizonte  
2022

R175c

Ramos, Gabriela Cristina Fonseca.

Condicionantes da utilização de estrutura de aço na concepção arquitetônica [recurso eletrônico] / Gabriela Cristina Fonseca Ramos. – 2022.

1 recurso online (63 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Adriano de Paula e Silva.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG.

Apêndice: f. 63.

Bibliografia: f. 61-62.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Aço - Estruturas. 3. Projeto arquitetônico.  
I. Silva, Adriano de Paula e. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 691



## ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: GABRIELA CRISTINA FONSECA RAMOS

MATRÍCULA: 2021665911

### RESULTADO

Aos 18 dias do mês de agosto de 2022 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:  
"CONDICIONANTES DA UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURA DE AÇO NA CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA "

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 92

CONCEITO: A

### BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

Assinatura

Adriano de Paula e  
Silva:36512460600  
Assinado de forma digital por  
Adriano de Paula e  
Silva:36512460600  
Dados: 2022.08.19 15:22:01 -03'00'

Nome

Prof. Dr. Cristiane Machado Parisi Jonov

Assinatura

Cristiane Machado  
Parisi:89497244649  
Assinado de forma digital por  
Cristiane Machado  
Parisi:89497244649  
Dados: 2022.08.19 15:23:01 -03'00'

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Belo Horizonte, 18 de agosto de 2022

Antônio Neves  
de Carvalho  
Júnior  
Assinado de forma digital  
por Antônio Neves de  
Carvalho Júnior  
Dados: 2022.08.20  
15:46:30 -03'00'

Coordenador do Curso

*Ao meu avô, Cinesio, de quem herdei os  
dons da Construção Civil.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu Deus por me abençoar, consagrar e preparar, toda e Honra e Glória a ti Senhor. A Nossa Senhora que intercede pela minha vida...

Aos meus pais, Ivany e Valdeci, pelo amor incondicional, pelos valores transmitidos e pelo incentivo a tudo que eu me proponha a fazer. Obrigado por serem abrigo. A toda a minha família pelo apoio e força.

Aos meus amigos, pelo carinho e por deixaram tudo mais leve nos dias de ansiedade. Aos colegas do curso de especialização, em especial Amanda, Ivan e Mateus pela parceria traçada ao longo dessa pequena jornada.

Ao meu orientador, Adriano de Paula, pelas orientações, confiança, paciência e suporte durante todo processo. A todos os professores do curso que embasaram conhecimento com tanta dedicação durante esse período.

A todos parceiros de trabalho, pela compreensão durante o processo de desenvolvimento deste trabalho.

Aos arquitetos que participaram dessa pesquisa, pela disponibilidade e colaboração.

"Arquitetura é música petrificada" (Johann Wolfgang von Goethe)

## RESUMO

*O estudo tem como objetivo identificar as principais condições que interferem no desenvolvimento dos projetos arquitetônicos que utilizam como sistema construtivo o aço, bem como os principais conceitos do sistema no âmbito dos projetos. A industrialização dos materiais faz com que as construções obtenham ganhos de tempo, custo geral, qualidade, racionalidade, mas diante de tantas vantagens, o sistema ainda perde lugar para o concreto armado, uma vez que os profissionais especificadores (na grande maioria dos casos, os arquitetos) não possuem domínio suficiente para projetos que se utiliza o aço. Assim, ao longo do desenvolvimento do trabalho recorre as principais especificidades que os sistemas metálicos exigem no projeto, através de uma pesquisa bibliográfica e com a obtenção de dados de campo sobre as possíveis dificuldades vivenciadas pelos arquitetos. Para tanto, recorreu-se a uma pesquisa com abordagem qualitativa de objetivo exploratória, onde foi possível concluir a necessidade de que os profissionais dominem conceitos principais dos sistemas metálicos, como as suas propriedades, os tipos de aço, os detalhes projetuais, a regulação do desenho que deve seguir uma modulação, já que as peças seguem uma padronização, dentre outros condicionantes do aço. Além desses, confirma-se que os arquitetos possuem dificuldades com o domínio do sistema, detendo de maior confiança técnica nos conceitos do concreto armado, e ainda é apontada dificuldades quanto ao custo do material e a necessidade de mão de obra qualificada.*

**Palavras-chave:** Projeto Arquitetônico. Estruturas de Aço. Detalhes Projetuais. Construção civil. Condicionantes do aço.

## ABSTRACT

*The study aims to identify the main conditions that interfere in the development of architectural projects that use steel as a constructive system, as well as the main concepts of the system within the projects. The industrialization of materials makes the constructions obtain gains in time, general cost, quality, rationality, but in the face of so many advantages, the system still loses place for reinforced concrete, since the specifiers professionals (in most cases, architects) do not have enough mastery for projects that use steel. Thus, throughout the development of the work, the main specificities that metallic systems require in the project, through a bibliographic research and with the obtaining of field data on the possible difficulties experienced by the architects. In order to do so, we resorted to a research with a qualitative approach with an exploratory objective, where it was possible to conclude the need for professionals to master the main concepts of metallic systems, such as their properties, types of steel, project details, regulation of the design that must follow a modulation, since the pieces follow a standardization, among other steel constraints. In addition to these, it is confirmed that architects have difficulties with the domain of the system, having greater technical confidence in the concepts of reinforced concrete, and difficulties are also pointed out regarding the cost of the material and the need for qualified labor.*

**Keywords:** Architectural Project. Steel Structures. Design Details. Construction. Steel constraints.

# LISTAS

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Diagrama tensão-deformação de um aço.....	23
Figura 02- Diagrama ductilidade de um aço .....	24
Figura 03- Tabela influência dos elementos de liga nas ..... Propriedades dos aços	24
Figura 04- Subdivisões do módulo de 600mm.....	27
Figura 05- Malhas regulares.....	28
Figura 06- Modulação por Eixo estrutural.....	29
Figura 07- Diagramas tensão-deformação e limite de escoamento.....	30
Figura 08- tabela de TRRF da Norma ABNT NBR14432.. .....	31
Figura 09- Esquemas de septos horizontais e verticais.....	31
Figura 10- Perfil denominado U.....	34
Figura 11- Perfil denominado I.....	34
Figura 12- Perfil denominado H.....	34
Figura 13- Perfil denominado L.....	35
Figura 14- Perfil denominado T.....	35
Figura 15- Nomenclatura dos perfis de chapas soldadas.....	35
Figura 16- Perfil soldado.....	35
Figura 17- Perfil eletro-soldado.....	36
Figura 18- Perfis conformados a frio.....	36
Figura 19- Perfis tubulares.....	37
Figura 20- Cabo de aço.....	37
Figura 21- Composição típica estrutural.....	38
Figura 22- Processo vigas alveolares.....	38
Figura 23- Viga alveolar.....	39
Figura 24- Composição viga treliçada.....	39
Figura 25- Viga treliça.....	40
Figura 26- Representação e comportamento da viga vierendeel.....	40

Figura 27- Viga Vierendeel.....	41
Figura 28- Viga Vierendeel de piso.....	41
Figura 29- Viga Mista.....	41
Figura 30- Ligação vínculo articulado viga-viga.....	42
Figura 31- Ligação vínculo rígido viga-viga.....	42
Figura 32- Ligação viga-viga e viga treliça.....	43
Figura 33- Ligação viga-pilar.....	43
Figura 34- Tipos de pilares mistos.....	44
Figura 35- Ligação pilar-fundação vínculo articulado.....	44
Figura 36- Ligação pilar-fundação vínculo rígido.....	44
Figura 37- Detalhe placa de base e Ligação de emenda de pilar.....	45
Figura 38- Detalhe ligação pilar metálico-viga de concreto.....	45
Figura 39- Detalhe laje maciça com viga metálica.....	46
Figura 40- Detalhe laje pré-moldada com viga metálica.....	47
Figura 41- Detalhe laje Steel Deck com viga metálica.....	47
Figura 42- Face Inferior Laje Steel Deck.....	48
Figura 43- Laje alveolar protendida.....	48
Figura 44- Laje concreto celular autoclavado.....	49
Figura 45- Ligação da base da alvenaria com vigas metálicas.....	50
Figura 46- Ligação do topo das alvenarias com as vigas metálicas.....	50
Figura 47- Gráfico de pré-dimensionamento pilares metálicos de andar único.....	52
Figura 48- Gráfico de pré-dimensionamento pilares metálicos de vários andares.....	53
Figura 49- Gráfico de pré-dimensionamento pórtico de aço.....	53
Figura 50- Gráfico de dados da 1º questão do questionário.....	55
Figura 51- Gráfico de dados da 2º questão do questionário.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Especificação dos tipos de aços estruturais.....	25
Tabela 02- Pré-dimensionamento de vigas.....	51
Tabela 03- Pré-dimensionamento pelo tipo de apoio das vigas.....	51
Tabela 04- Tabulação da 3º questão do questionário (vantagens).....	56
Tabela 05- Tabulação da 3º questão do questionário (desvantagens).....	56
Tabela 06- Tabulação da 5º questão do questionário.....	59

# SUMÁRIO

<b>1. Introdução .....</b>	<b>13</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>14</b>
<b>3. O uso do Aço na Arquitetura</b>	<b>15</b>
3.1 Estruturas Metálicas e a Concepção do projeto	18
<b>4. Especificidades do Aço</b>	<b>22</b>
4.1 Propriedades do Aço	22
4.2 Os Tipos de Aço	24
4.3 Coordenação Modular	26
4.4 Proteção as temperaturas	29
<b>5. Detalhes Projetuais com Estruturas de Aço</b>	<b>33</b>
5.1. Perfis de Aço	33
5.2 Vigas e Pilares	37
5.3 Lajes	45
5.4 Vedações	49
<b>6. Pré-dimensionamento Estrutural</b>	<b>51</b>
<b>7. Material e Métodos</b>	<b>54</b>
7.1. Relatos da Pesquisa	54
7.2. Metodologia de Obtenção de dados	54
<b>8. Resultados obtidos e análises dos dados</b>	<b>54</b>
<b>9. Conclusões.....</b>	<b>60</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>61</b>
<b>Apêndices .....</b>	<b>63</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista a crescente industrialização mundial, as construções em aço na construção civil vêm ganhando espaço. Porém, ainda é pouco explorado quando comparado a outros sistemas construtivos. Nesse trabalho, desenvolve-se sobre os condicionantes que interferem no projeto arquitetônico que têm como sistema, o uso das estruturas de aço; as vantagens e desvantagens de optar-se pela utilização desse sistema construtivo no âmbito da concepção projetual e ao longo do desenvolvimento do projeto arquitetônico, diante das especificidades que o sistema metálico exige.

Acredita-se que haja uma dificuldade dos projetistas em representar e desenvolver o processo projetual quando limitado as condições das estruturas de aço no projeto arquitetônico. Além disso, e com ligação a essa hipótese, é considerado que existe uma dificuldade advinda dos profissionais da construção civil, de entender o sistema a ponto de adotá-lo em seus projetos. Reflete-se que há um menor entendimento do sistema e dos benefícios que o seu uso trará, em geral tendo-se maiores familiaridades e optando-se pelo uso do concreto armado.

Assim, tem-se como objetivo identificar as principais condições que interferem no desenvolvimento dos projetos arquitetônicos quando se utiliza como sistema construtivo as estruturas de aço. Diante disso, analisa-se as vantagens e desvantagens que o trará para o projeto e obra, e busca-se ainda, esclarecer os principais conceitos ligados a ele.

Sabe-se que é na concepção do projeto onde são tomadas as decisões mais relevantes, por isso é de suma importância a interação e o domínio dos arquitetos sobre o sistema que se opta por trabalhar. Principalmente, quando o sistema definido é o uso de estruturas metálicas, pois isso modifica todo o processo ao longo das etapas do projeto e trás consigo várias especificidades que devem ser dominadas ainda na fase projetual.

Para desenvolvimento do trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica, e também se coletou dados através de um questionário desenvolvido, tendo como procedimento uma abordagem qualitativa exploratória.

Onde, no primeiro capítulo aborda-se um breve histórico do uso do aço na arquitetura e como ele foi ganhando espaço, ressalta-se ainda sobre a ligação das

estruturas metálicas e a concepção do projeto, interpelando conceitos de quando optar por determinado sistema e todas as facetas que estão vinculadas ao utilizar esse tipo de estrutura, como o processo, a viabilidade, dentre outros.

No segundo capítulo é trabalhado particularmente sobre os principais conceitos relacionados as estruturas de aço e todas as especificidades que irão influenciar no desenvolvimento do projeto arquitetônico, esse capítulo é subdividido nessas várias questões, como a modulação, propriedades e os tipos de aço.

No terceiro capítulo é desenvolvido os quesitos de detalhes projetuais, todas as definições, cuidados e representações que um arquiteto precisa saber ao se trabalhar com esse sistema, passando pelos componentes da construção, como as vigas, pilares e lajes.

No quarto capítulo discorre-se sobre pré-dimensionamentos, é demonstrado tabelas e ábacos que podem auxiliar os arquitetos na fase projetual, já se pré-dispondo de dimensões mínimas para criação dos espaços.

E no quinto capítulo é apresentado os dados obtidos pela aplicação de questionário aos profissionais arquitetos demonstrando a visão desse mercado sobre o uso do sistema.

Assim, esse trabalho busca contribuir para a compreensão da utilização do uso aço na construção civil, principalmente voltado à concepção dos projetos arquitetônicos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Identificar as principais condições que interferem no desenvolvimento dos projetos arquitetônicos quando se utiliza um sistema com estruturas de aço.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analisar as vantagens e desvantagens para se utilizar esse sistema;
- Compreender os principais conceitos desse sistema construtivo;
- Compreender as possíveis dificuldades em projetar com sistemas industrializados;

### 3. O USO DO AÇO NA ARQUITETURA

A construção civil vem se atualizando desde as novas demandas dos projetos, que exigem cada vez mais o uso de tecnologias que sejam capazes de atender as expectativas do mundo contemporâneo. Com isso, o processo que antes era bem artesanal passa a ser mais industrializado, com materiais pré-fabricados que são montados nos canteiros, atividade que racionaliza consideravelmente a obra (CASTRO; MICHALKA, 2004)

Os elementos que determinam o método industrial são:

[...] a repetição e a organização. A primeira, de caráter essencialmente tecnológico, decorre de uma ação estabilizante dos processos de produção e a segunda, de caráter econômico-administrativo, decorre principalmente de ações de controle. Assim sendo, pode-se dizer que o produto industrializado é o elemento de uma série não casual de produção (Ribeiro, 2002, p. 3)

Sendo importante ressaltar que, segundo Castro e Michalka (2004), na construção civil a industrialização possui alguns condicionantes que o diferem dos demais, já que na construção cada obra é única e suas produções são localizadas em diferentes lugares.

Conseqüentemente a industrialização, o uso do ferro na arquitetura ganhou-se espaço, principalmente pelo fato de que o material permitiu a projeção de edifícios com estruturas mais leves e esteticamente elegantes, atendendo ainda a demanda de construções mais rápidas. No Brasil foi por volta dos anos de 1800 que o material industrializado entrou no cenário com a construção de pontes e ferrovias, e no final das décadas do século XIX com a construção dos terminais ferroviários. Mas é no final do século XX que as estruturas metálicas passam a ser utilizadas nas demais construções brasileiras (ROCHA, 2011).

Diante dos novos princípios do setor, o mercado obrigou que as empresas de construção privilegiassem cada vez mais a qualidade e a produtividade, buscando atender as exigências dos clientes que valorizam cada vez mais esses requisitos. Com isso, em busca de competitividade as empresas se adaptaram através de métodos e soluções mais tecnológicas que atendessem aos novos parâmetros (JARDIM, 2010). Por possuir conceitos que dispõem desses princípios, tanto no quesito do material quanto do processo que envolve as suas construções, hoje

“adotar o sistema construtivo metálico já é uma realidade brasileira, novos produtos e novas técnicas tornam-se disponíveis e a busca por racionalização, padronização, rapidez e redução dos desperdícios” (ROCHA, 2011, p.41)

É importante frisar que na arquitetura a forma e a função são amplamente abordados, sendo que o primeiro enaltece principalmente questões estéticas e o segundo questões de uso, tecnologias construtivas, estruturas, sustentabilidade e outros tópicos mais tangíveis e técnicos. Assim, os projetos arquitetônicos devem valorizar soluções criativas, com foco estético, mas que sejam duradouras, executáveis e que tenham funções bem definidas atendendo o uso do espaço; e que diante das novas definições de desenvolvimento, venham a trazer conceitos de sustentabilidade aplicados de forma eficaz (ROCHA, 2014).

Utilizando o aço de forma adequada, as formas arquitetônicas ganham valor, o projeto ganha variedade formal, com a possibilidade de grandes vãos livres, se apresentando com uma arquitetura de conceito moderno, transmitindo leveza tanto no parâmetro estético do visual, quanto na estrutura da construção. Além dessas características, o aço dá a possibilidade de conciliar o uso de outros materiais complementares a obra (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008).

Ainda ao se optar por utilizar as estruturas metálicas em um projeto, alguns conceitos do desenvolvimento sustentável vêm atrelados a essa escolha, uma vez que traz consigo a industrialização nos processos, diminuindo os retrabalhos e desperdícios, com vida útil aumentada, além de existir a possibilidade de se reutilizar o aço como matéria prima. Mas que envolve muito mais do que todos esses pontos para ser adotada, pois necessita de um envolvimento significativo dos profissionais da área da arquitetura. Já que todos esses processos interferem no desenvolvimento do projeto e os arquitetos possuem uma formação com maior familiaridade ao uso do concreto armado (CASTRO; MICHALKA, 2004).

E é na concepção do projeto arquitetônico onde se define o sistema construtivo utilizado, e esse irá influenciar todo o processo desde a criação até o planejamento e execução da obra. Por isso, é de grande importância se ter domínio dos conceitos relacionados e segurança para desenvolvê-lo ao longo das etapas do projeto (Borsato, 2009). O que é reforçado por Castro e Michalka (2004, p. 2) quando afirmam que “Como nesta fase o erro não gera desperdício de material, todos os processos da construção devem ser previstos, desde os componentes que

serão utilizados até a forma como serão montados na obra e a sua correlação com os demais materiais.”

O Desenvolvimento da construção brasileira deve estar relacionada com as novas formas de se projetar, levando em consideração princípios que sejam norteadores iniciando no processo criativo até a sua execução, a opção por sistemas industrializados vêm a aumentar a responsabilidade dos arquitetos nesse sentido, uma vez que “confere ao arquiteto a responsabilidade não só pela definição da forma como por todos os demais elementos e processos que resultarão na montagem final do edifício” (COELHO, 2003, p. 02).

### **3.1 Estruturas Metálicas e a Concepção do projeto**

O uso do aço é uma escolha que deve ser analisada de acordo com critérios do que se está sendo criado, pois o sistema é uma opção que deve ser considerada de acordo com diretrizes do que será construído e do que estes parâmetros exigem. Por isso, é importante entender as vantagens e desvantagens de se optar pelo aço como sistema construtivo, uma vez que usá-lo de forma aleatória, ou seja, quando o material não seria o mais indicado, pode gerar grandes transtornos (REBELLO, 2007). E esses principais critérios para se optar pelo uso dos sistemas estruturais é abordado por Rebello (2000, p. 17):

A concepção estrutural não é algo aleatório ou apenas produto da vontade de cada um, mas depende sim, de fatores externos como estética, custos, possibilidades construtivas, materiais e tantas outras variáveis, que saber coordenar essas variáveis, achando uma maneira adequada de harmonizá-las, é o que conduz a soluções estruturais criativas e bem embasadas; que a solução original não provém de uma iluminação mágica, mas do profundo conhecimento existente e de muitas tentativas.

Antes de se optar por um sistema ou outro deve ser considerado um planejamento que alie “as necessidades do cliente com as soluções que facilitem a construção, o melhor aproveitamento dos materiais e, conseqüentemente, um menor custo de execução” (CUNHA; NETO, 2020, p.17).

É no projeto onde são tomadas as decisões mais importantes, que irão satisfazer as necessidades ou que poderão onerar a obra e dificultador todo o processo (TEIXEIRA, 2007).

Deve ser avaliado antes da escolha do sistema estrutural as características da obra, sendo algumas delas as suas prioridades de tempo de construção, do que será construído em consideração a sua função, o local da obra, os acessos, tipo de solo, altura do empreendimento, custos financeiros, recursos, dentre outros que devem ser avaliados, para só então definir o sistema mais adequado; levando em conta que o momento ideal para essa definição é na concepção do projeto. Antes de se optar pelo uso de estruturas metálicas deve-se fazer, também, um estudo de viabilidade econômica, uma vez que o investimento inicial ao se utilizar o aço é maior se comparado a outros sistemas convencionais. Justamente por ser um paradigma isolado deve ser feita essa análise, pois esse custo não indica que o seu uso não será o mais adequado e revertido no custo final (PENNA; PINHO, 2008).

As estruturas de aço podem ser utilizadas em diferentes tipos de construções civis, o que vale é entender os princípios e prioridades desses, em empreendimentos comerciais ou residências para vendas, por exemplo, onde geralmente são adquiridos terrenos caros quanto mais rápido for a execução da obra, com menor tempo o retorno do investimento será realizado, ou seja o fator tempo é decisivo (PENNA; PINHO, 2008).

Por isso é importante ter conhecimento sobre os principais conceitos relacionados ao uso do material, algumas das vantagens se de utilizar o aço é que ele permite vãos maiores, rapidez na execução, peças com menor espessuras, estruturas mais leves, possibilidade de aproveitamento da estrutura sem a necessidade de quebras e desperdícios, fundações para menores cargas, ruído de obra bem menor, reduz em geral o cronograma o que acaba por indiretamente e diretamente, também diminuir o custo geral (BAIÃO et al., 1998 apud TEIXEIRA 2007).

Segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008) o aço ainda apresenta vantagens quanto ao seu processo construtivo modificando o planejamento, que se torna mais preciso, já que tem uma produção em fábrica com prazos bem definidos. A administração vem a ser reduzida em quantidade de mão de obra, além de que as estruturas metálicas geram obras limpas, reduzindo custos de limpeza. O aço é um material que possui alta resistência, e que além de ser maior que a de outros materiais convencionais, ainda é mais controlado devido ao seu processo de produção, tornando um material homogêneo e totalmente confiável. Ganha-se

significativamente em área útil já que os seus dimensionamentos estruturais são menores, além de possuir medidas precisas em milímetros economiza-se em reboco e emboço.

Maringoni (2004) ainda destaca que quando definido o sistema estrutural com aço, a arquitetura pode tomar partido do material com a sensibilidade de exaltá-lo utilizando de suas vantagens de vãos, pés direito, linhas e optando pela opção de ser aparente ou revestido.

Tanto quanto saber das vantagens é importante conhecer as desvantagens ao se utilizar estruturas metálicas, e de acordo com Rebello (2007) as estruturas metálicas, quando analisadas isoladamente são mais caras, já que a produção do Brasil é mais baixa, o custo da produção se torna mais elevado, fazendo com que o seu uso seja menor. O que acaba por gerar um ciclo vicioso em que não se utiliza por ser mais caro, e não se barateia por produzir pouco devido a demanda ser menor. É aí onde entra o papel dos projetistas que tem em suas mãos o poder de divulgar e utilizar mais as estruturas metálicas, interferindo nesse ciclo. Além disso, essas estruturas exigem uma mão de obra qualificada que acaba por ter, também, um custo mais elevado; e de que o aço pode ser deteriorado em contato com o meio ambiente e também se perde muita resistência quando em contato com altas temperaturas acima de 550°C.

O uso de estruturas de aço ainda pode ser inviável quando feita uma análise de local da obra, em algumas regiões a disponibilidade do aço pode dificultar consideravelmente, seja pelo transporte ou processamento, há um aumento de custo, dificuldade em encontrar de pronta entrega e falta de recursos necessários ao construtor. Por isso é importante entender e conhecer o local da obra, o entorno, a topografia, os acessos, pois todas essas condições irão influenciar na escolha ou não do sistema construtivo (PENNA; PINHO, 2008).

Outro quesito importante sobre o aço é que devido ao seu processo de execução que é industrializado e as peças são pré-fabricadas e apenas montadas na obra, é necessário então, um dimensionamento rigoroso que deverá ser iniciado no projeto. Além de que a forma do edifício deve seguir uma modulação, pois as peças possuem dimensões padrões, que podem ser fabricadas com medidas especiais, mas que acarretam um custo elevado para isso. É necessário ainda, uma série de detalhamentos para que a montagem e os encaixes saiam como esperado

sem o desperdício de materiais. Então, deve ser levado em consideração as chapas e perfis que são padrões dessa estrutura para os projetos que possuam como sistema construtivo as estruturas metálicas. Sendo que o projeto arquitetônico é o delimitador de todos os outros projetos, é de grande importância que os projetistas tenham conhecimento técnico elevado para buscar soluções compatíveis com o restante dos profissionais envolvidos, além de se possuir um domínio específico sobre essas particularidades que o aço exige (CASTRO; MICHALKA, 2004).

Toda concepção do projeto que utiliza a construção em aço é diferente do concreto armado, isso exige essa técnica e qualificação dos profissionais, em geral, os arquitetos ao projetar edifícios com sistema metálicos encontram dificuldades e acabam por associar a lógica do concreto, e essa falta de conhecimento vai gerar produtos com menor potencialidade que poderia ter sido aproveitada e ainda pode gerar patologias futuras. Isso vêm até mesmo da formação, onde muitas universidades não trabalham a concepção projetual voltada para as estruturas de aço tanto o quanto abordam sobre o concreto armado (CASTRO, 1999).

Como já mencionado anteriormente ao se utilizar as estruturas de aço o processo de construção muda, deixa de ser artesanal e passa a ser um processo industrializado, isso faz com que a equipe precise ser mais integrada, são diferentes pessoas e organizações que participam da concepção do projeto e da sua execução. Ao longo dos trabalhos a comunicação entre os diferentes setores deve ser constante e eficiente (RIBEIRO, 2002).

Existe assim, essa necessidade de interação entre os profissionais e as fases da construção, e principalmente do arquiteto com os demais envolvidos seja o engenheiro, o cliente, os fornecedores. Uma vez que o projeto arquitetônico vem a conduzir muitas decisões, os profissionais da arquitetura precisam quando conceber projetos com estruturas metálicas terem capacidades e conhecimento mínimos sobre as questões que envolvem esse sistema. Com isso, tem sido uma preocupação criar mecanismos e métodos que integrem esses profissionais os deixando cada vez mais informados e inteiros sobre o tema, principalmente no quesito de noções estruturais e as características mínimas para uma boa solução estrutural em aço, sem onerar, e que sejam condizentes com os conceitos do processo da construção industrializada metálica (MANCINI, 2003).

Portanto, já na concepção do projeto deve ser levado em conta todas essas peculiaridades que as estruturas metálicas trazem consigo, exigindo dos profissionais habilidades específicas e uma boa integração dos mesmos. Pois, segundo Borsato (2009) para a qualidade final do produto é necessário que o processo desde o início traga boas soluções ao cliente, conseqüentemente a execução da obra. É no projeto onde se toma decisões que acarretam uma série de outras, definindo o partido, as limitações, os detalhamentos necessários, as especificações, e que define também o custo da obra.

## **4. ESPECIFICIDADES DO AÇO**

Como supracitado ao se utilizar estruturas metálicas é importante conhecer as várias facetas que o aço apresenta e exige desde a fase de concepção do projeto. Especificidades como a sua maior resistência, a coordenação modular que deve ser prevista, os tipos de aços existentes, as proteções necessárias para as altas temperaturas e detalhes de projetos são conceitos que devem ser conhecidos pelos profissionais ao conceber obras com estruturas metálicas, podendo assim empregá-los de forma condizente, potencializando os seus benefícios e reduzindo custos.

### **4.1 Propriedades do Aço**

Nos projetos para construção civil as propriedades mecânicas do aço são determinantes, é quem define os comportamentos que os seus componentes terão em relação aos esforços submetidos (DIAS, 2008).

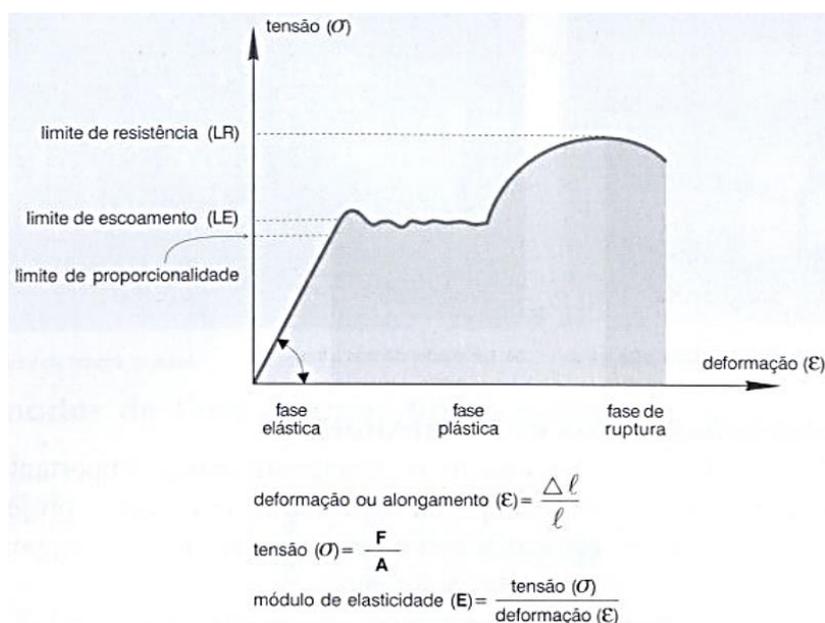
A sua grande resistência a esforços é apontada por Rebello (2007) como sendo a principal vantagem do aço, pois é a consequência de se obter estruturas com menores dimensões, onde suas vigas metálicas apresentam ser 60% menores em altura que as de concreto. Isso porquê o material possui resistência a tração e a compressão iguais de 1500 Kg/cm<sup>2</sup>, quando o concreto possui boa resistência a compressão, mas não a tração.

O aço ganha-se muita notoriedade no ramo das estruturas já que quando comparado a outros materiais possui essa alta resistência, e ainda apresenta uma

capacidade de deformação considerável antes que se rompa (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008).

A fórmula onde a relação entre a força aplicada é dividida pela área resulta na tensão; no diagrama de tensão-deformação identifica as três fases de deformação do aço até a sua ruptura, obtidos através de um ensaio de tração. Na fase elástica a deformação é proporcional a tensão aplicada, quando a deformação passa a deformar sem que a tensão altere é denominada fase plástica, é onde se obtém o estado limite de escoamento, nessa fase a estrutura do material é modificada denominado como encruamento. O maior valor de tensão aplicado é chamado de limite de resistência do aço onde é a sua fase de ruptura (DIAS, 2008).

**Figura 1:** Diagrama tensão-deformação de um aço.



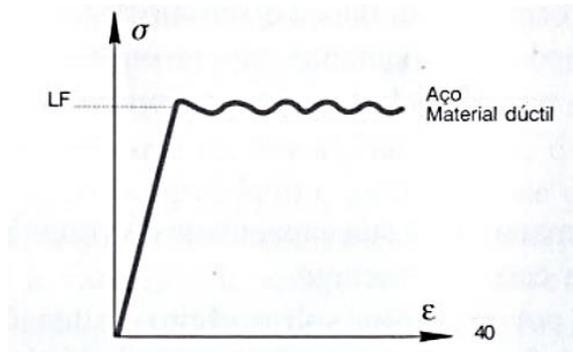
**Fonte:** Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

Para o cálculo dos dimensionamentos não é utilizado a tensão de ruptura, mas o limite de escoamento, pois como analisado no gráfico é onde o aço passa a deformar sem aumento de tensão. Ainda pode ser observado que o aço é um material que apresenta boa ductilidade, o quê para as estruturas é de grande valor, uma vez que não são frágeis, possibilitando a visualização de deformações nas peças antes que ocorra o rompimento da estrutura, e nos casos onde ainda se permita, dá a oportunidade de se prever reforços (REBELLO, 2007).

A ductilidade “pode ser medida por meio da deformação ( $\epsilon$ ) 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 da área ou o alongamento antes da ruptura” (DIAS, p.74, 2008).

**Figura 2:** Diagrama ductilidade de um aço.



**Fonte:** Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

Além dessas, o aço ainda apresenta propriedades importantes para estruturas, como a elasticidade e a tenacidade, sendo que por ser um material elástico ele pode voltar a sua forma original quando os esforços de tração e compressão forem removidos, em casos onde não se chega a fase de plasticidade (DIAS, 2008).

## 4.2 Os Tipos de Aço

Cada tipo de aço é caracterizado pela composição química do qual foi constituído. Na tabela da figura 03, Dias (2008) demonstra como cada elemento altera e varia as propriedades dos aços, aumentando e/ou reduzindo essas, criando assim os diferentes aços existentes:

**Figura 3:** Tabela influência dos elementos de liga nas propriedades dos aços.

INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DE LIGA NAS PROPRIEDADES DOS AÇOS											
PROPRIEDADE / ELEMENTO	C	Mn	Si	S	P	Cu	Ti	Cr	Nb	Ni	V
RESISTÊNCIA MECÂNICA	+	+	+	-	+		+	+	+	+	+
DUCTILIDADE	-	-		-				-	-		
TENACIDADE	-			-					+	+	
SOLDABILIDADE	-	-	-	-	-			-		-	
RESISTÊNCIA À CORROSÃO	-		+		+	+	+	+		+	

Legenda: (+) Efeito positivo (-) Efeito negativo

**Fonte:** Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

Os aços carbonos são um tipo que pela sua composição possuem baixa ductilidade e não são adequados para alguns usos na construção, eles podem ser divididos em três classes: baixo carbono, médio carbono e alto carbono, sendo que o de baixo carbono pode ser utilizado sem maiores precauções na construção civil (DIAS, 2008).

Já os aços estruturais são “todos os aços que devido à sua resistência mecânica, resistência à corrosão, ductilidade, soldabilidade e outras propriedades, são adequados para uso em elementos que suportam cargas” (PENNA; PINHO, p. 35, 2008), o autor ainda os subdivide em: aços com baixo teor de carbono, aços com baixo teor de carbono de alta resistência mecânica e baixa liga, aços com baixo teor de carbono de alta resistência mecânica e baixa liga resistentes a corrosão atmosférica.

Com informações advindas de Penna e Pinho (2008) e do site CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço) foi desenvolvida a tabela 01 que resumidamente apresenta as principais características de cada categoria dos aços estruturais e os seus principais usos:

**Tabela 01:** Especificação dos tipos de aços estruturais.

<b>Tipo de aço</b>	<b>Características</b>	<b>Principais usos</b>	<b>Exemplo de aço</b>
Baixo teor de carbono	Possuem limite de escoamento entre 195 a 259 Mpa, apresentando teores máximos de ligas de manganês (1,65%), silício (0,60%), cobre (0,40%).	Para produção de chapas e estruturas mais simples e leves	ASTM A36
Baixo teor de carbono de alta resistência mecânica e baixa liga	Possuem limite de escoamento entre 290 a 345 Mpa, apresentam maior resistência a corrosão atmosférica, ao choque e limite de fadiga, possui maior resistência mecânica fazendo com que seja	Diversas aplicações estruturais. Perfis, vigas, pilares Etc. Molibdênio e Vanádio elementos (composição)	ASTM A572 G50

	amplamente utilizado pelos engenheiros e arquitetos uma vez que permite acréscimo da carga unitária e torna possível o uso de seções menores e mais leves.		
Baixo teor de carbono de alta resistência mecânica e baixa liga resistentes a corrosão atmosférica	Possuem limite de escoamento entre 630 a 700 MPa. Constituídos com a adição de cobre, níquel e cromo, reduz o efeito a corrosão atmosférica; é formada uma película de oxido denominada patina que protege dos agentes agressivos.	Ambientes agressivos que apresenta grande poluição de dióxido de enxofre ou regiões marítimas.	NBR 5921 NBR 5008 ASTM A588

### 4.3 Coordenação Modular

Ao se coordenar medidas em um projeto a construção passa otimizar o processo de produção que passa a ser mais limitado no quesito de variações, isso auxilia na precisão dos elementos e facilita na execução das obras.

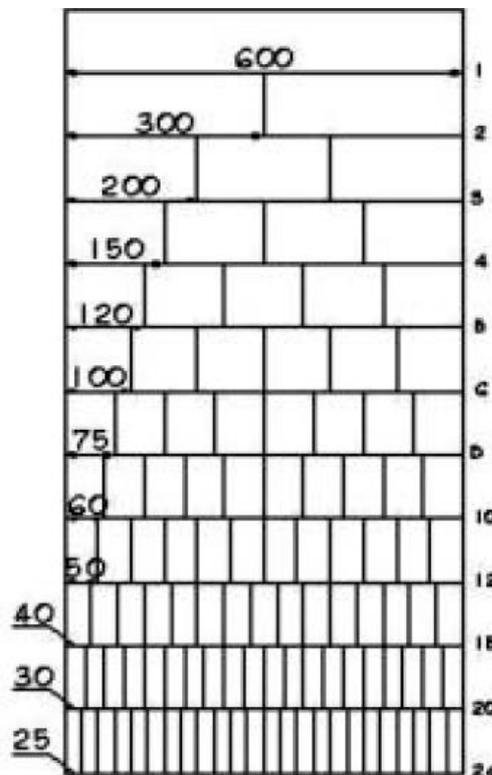
E, já que as construções metálicas vêm de um processo industrial, é importante prever no projeto arquitetônico uma certa modulação, pois para seus elementos existe uma pré-fabricação, que se torna mais viável quando é repetitivo e organizado. Essa modulação nada tem a ver com pobreza criativa, existindo a possibilidade de infinitas soluções estéticas e funcionais (REBELLO, 2007).

O modulo fundamental internacionalmente conhecido, é de 10cm ou 100mm. A partir desse módulo são criados os multimódulos de 300 e 600 mm e os submódulos, que são obtidos pela divisão do módulo por um número inteiro qualquer. O multimódulo maior, de 600mm, é apropriado para ser usado como base do reticulado do qual se originará o projeto de aço. Matematicamente, o número 600 é apropriado para subdivisões pois contém

um número exato de vezes os números primos ( $600 = 2^3 \times 3 \times 5^2$ ), portanto admite muitos divisores. Além disso, peças de  $10 \times 600 \text{ mm} = 6 \text{ m}$  de comprimento apresentam facilidades de transporte e de manuseio (REBELLO, 2007, p. 111).

Santos (1996 apud MANCINI, 2003) também discorre sobre o multimódulo, e define que as dimensões básicas partindo do 600mm permitem muitas possibilidades arquitetônicas, além de atender aos padrões dos perfis estruturais de mercado. Ao se projetar a partir de um sistema modular, o desenho passa a seguir certa padronização de medidas, voltando as representações às formas geométricas e malhas representativas. Isso faz com que os arquitetos evitem a perda de material, evitando também um processo mais artesanal no canteiro de obra e entrando em processo de lógica industrializada. Além de que, ao se padronizar dimensões e adequá-las conforme a indústria, a fabricação segue sua produção repetitiva sem o aumento de custos e aumento de tempo. Sendo que o tempo no âmbito de viabilidade é um conceito fundamental; um projeto bem solucionado deve buscar sempre otimizar o tempo de execução e viabilizar economia financeira.

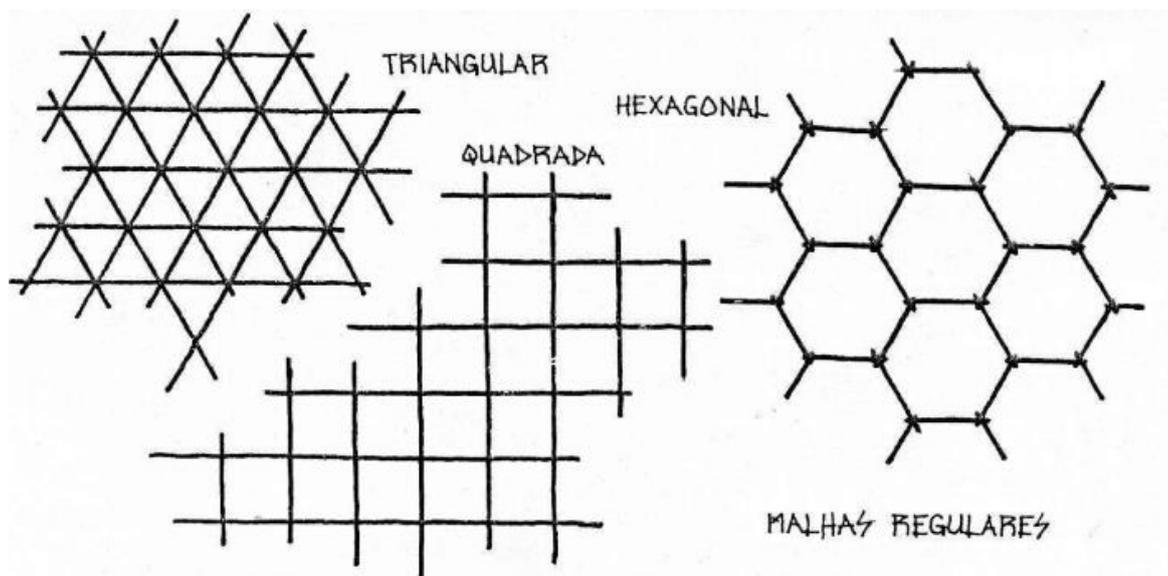
**Figura 4:** Subdivisões do módulo de 600mm.



**Fonte:** Dissertação Pré-dimensionamento de Estruturas Metálicas em Fase de Concepção Arquitetônica\_Santos apud Mancini

A coordenação modular pode ser trabalhada através de malhas geométricas, sendo que essas podem ser aleatórias, porém as tratadas no âmbito do projeto são mais interessantes quando seguem uma lógica, buscam ser repetitivas e organizadas. Os tipos mais conhecidos são as chamadas malhas regulares, podendo ser o triângulo, o quadrado e o hexágono, como pode ser observado na figura 05 (SÁ, 1982).

**Figura 5:** Malhas regulares.



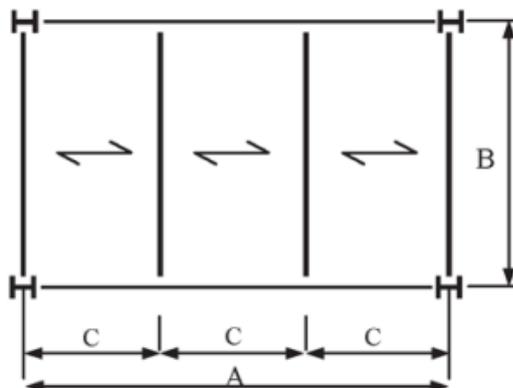
**Fonte:** Livro Edros\_Ricardo Sá

Pode se traçar essas malhas geométricas utilizando esse módulo básico com os eixos estruturais, onde os vãos devem ser condizentes com o sistema definido para a sua estabilização, e também de acordo os espaços necessários ao programa arquitetônico definido. Visando assim, coordenar e dimensionar de forma adequada o processo de concepção do projeto. Além disso, muitos fabricados no país seguem essa mesma métrica básica, é o caso de alguns materiais de acabamento, placas de gesso, perfis estruturais dentre outros (MERRIGUI, 2004).

Na prática e como forma de exemplificar, Pinho e Penna (2008) ressaltam que ao se prever os vãos além de procurar atender as necessidades do tipo de ocupação de cada espaço, deve-se pensar nessa modulação estrutural com fins de diminuir a perda de materiais, traçando como na figura 06, divisões e subdivisões condizentes com os módulos pré-definidos entre os seus eixos estruturais. Pois, como os perfis metálicos já possuem suas dimensões padrões de mercado, que normalmente são de 6 e 12 metros, o projeto deve vir a atender essas medidas ou pelo menos aos

seus múltiplos e submúltiplos (4,8,9,15,18m) em busca do melhor aproveitamento do sistema.

**Figura 6:** Modulação.



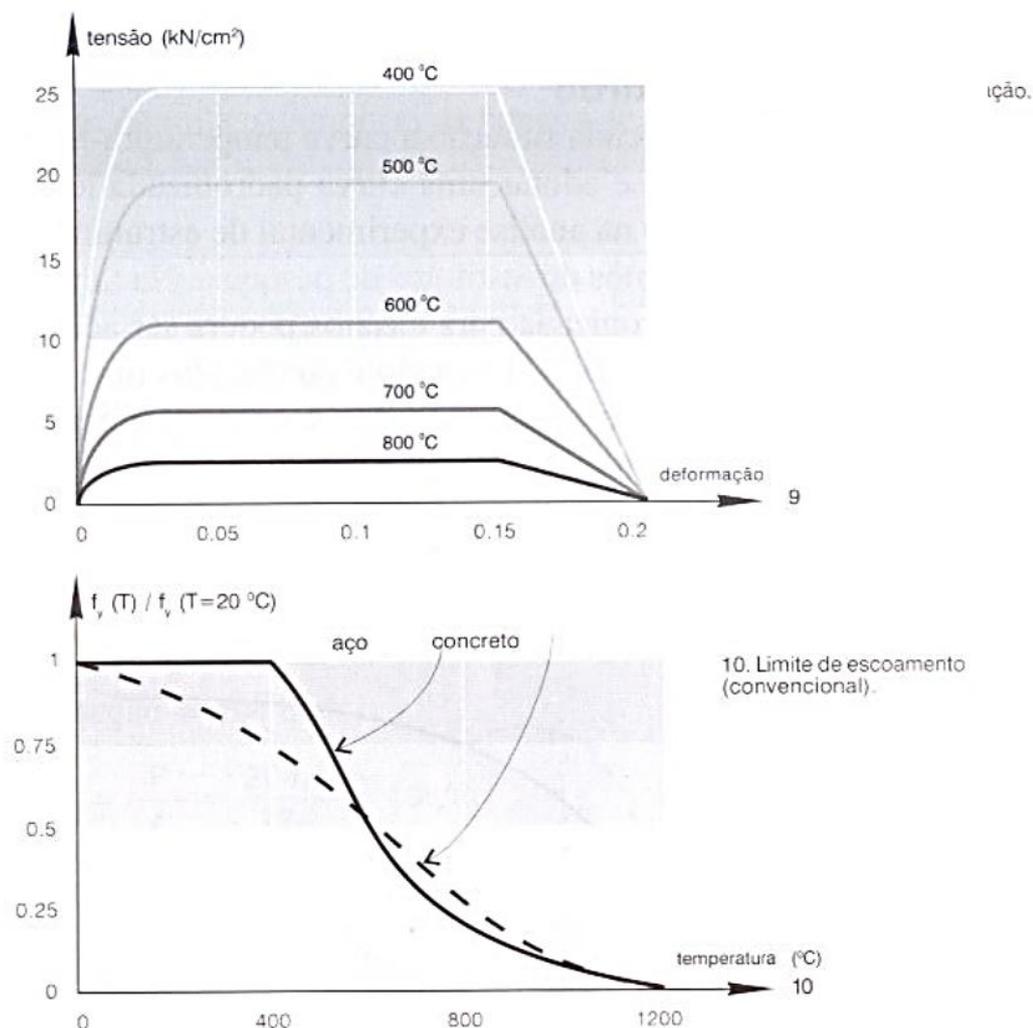
Fonte: Manual de Viabilidade Econômica\_Pinho e Penna

#### 4.4 Proteção às temperaturas

Os projetistas em conjunto com o proprietário devem prever nos edifícios quesitos básicos de segurança em casos de incêndio, que fazem parte da engenharia de incêndios voltados para a prevenção, o combate, a rápida extinção do fogo, dentre outros métodos que são desenvolvidos como forma de preservar a vida humana; o outro objetivo é o de resguardar e proteger a estrutura do empreendimento (DIAS,2008).

Em quaisquer edifícios arquitetados e em qualquer que for o seu sistema construtivo, deve-se prever algum tipo de proteção aos materiais estruturais contra o fogo como forma de oferecer certa segurança para que em casos de incêndio se possa diminuir os riscos e danos causados. No caso de sistemas utilizando aços, deve se ter conhecimento de que esse material quando exposto a altas temperaturas tem uma queda de resistência, sendo que temperaturas em média de 550°C (temperatura limite) reduzem essa resistência em até 50% (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008).

Dias (2008) demonstra na figura 07, um diagrama de tensão-deformação, onde foi utilizado o aço ASTM A 36, o que acontece com o material ao ir aumentando a temperatura sobre ele, e ainda apresenta um comparativo do limite de escoamento do concreto e do aço em função também da temperatura:

**Figura 7:** Diagramas tensão-deformação e limite de escoamento.

**Fonte:** Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

Segundo o mesmo autor, as normas definem para cada tipo de edificação um tempo requerido de resistência ao fogo (denominado TRRF) que é sobre os minutos necessários que a estrutura deve resistir a essas temperaturas sem que haja um colapso.

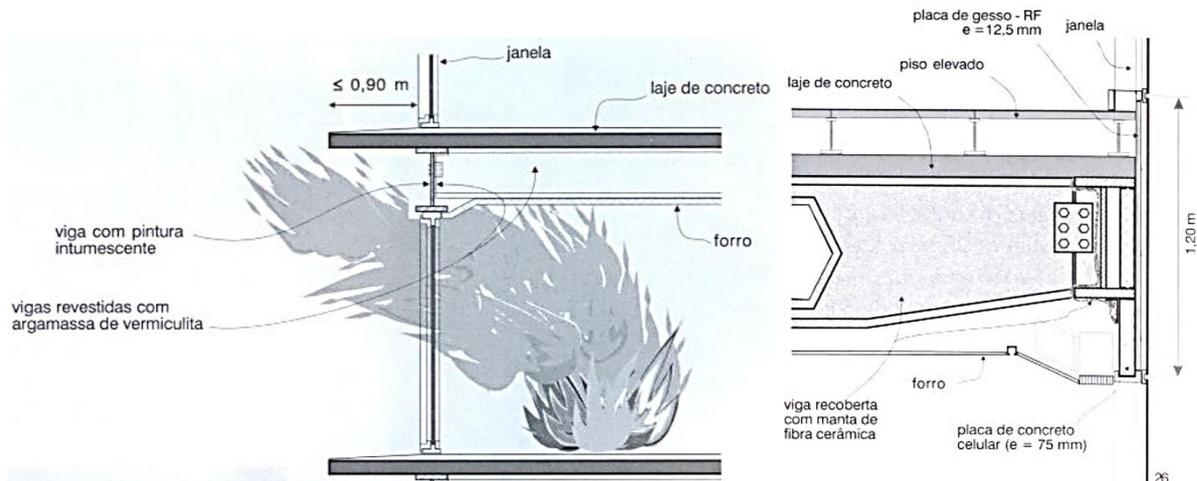
Esses minutos são definidos através do tipo de ocupação e da altura do empreendimento utilizando a tabela de “tempos requeridos de resistência ao fogo” da NBR14132, demonstrada na figura 08, onde as suas colunas definem e categorizam o uso e tipo de ocupação para cada empreendimento, variando conforme a profundidade do subsolo e da altura da edificação (os grupos de divisões devem ser avaliados conforme uma outra tabela disposta na mesma norma). Esses minutos mínimos de resistência podem alterar em variações de 30 à 120 minutos.

**Figura 8:** Imagem da tabela de TRRF da Norma ABNT NBR14432.

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S <sub>2</sub> h <sub>s</sub> > 10 m	Classe S <sub>1</sub> h <sub>s</sub> ≤ 10 m	Classe P <sub>1</sub> h ≤ 6 m	Classe P <sub>2</sub> 6 m < h ≤ 12 m	Classe P <sub>3</sub> 12 m < h ≤ 23 m	Classe P <sub>4</sub> 23 m < h ≤ 30 m	Classe P <sub>5</sub> h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Fonte: Norma ABNT NBR 14432

Além de resistir ao tempo mínimo solicitado pelas normas, deve-se em projeto prever limitantes a propagação do fogo como utilizar portas corta-fogo, escadas enclausuradas, septos horizontais com no mínimo 90cm ou verticais com mínimo de 120cm de altura nas fachadas, todos resistentes ao fogo, conforme os exemplos da figura 09 (DIAS,2008).

**Figura 9:** Esquemas de septos horizontais e verticais.

Fonte: Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias (Adaptada pelo autor)

De acordo com Dias (2008, p.246-251) como forma de proteger as estruturas metálicas ao calor existem alguns revestimentos protetores que cumprem essa função:

- Placas de gesso acartonado RF que “são constituídas de fibra de vidro e vermiculita. Esses componentes asseguram um produto incombustível e resistente ao fogo”.
- Mantas ou painéis rígidos de lã de rocha são “produzidos a partir da alteração de pedras basálticas, cujas fibras estão dispostas de forma aleatória podendo ser flexíveis, revestidas em uma das faces com tela de arame galvanizado”.
- Argamassas ou painéis rígidos de vermiculita “são produtos de agregado leve, à base de vermiculita” e deve se ter o preparo do produto na obra para a sua aplicação, que pode ser manual ou por spray desde que leve em consideração as espessuras solicitadas para cada tempo de proteção solicitado, sendo 10,20,30 e 40mm de espessuras para 30,60,90 e 120 minutos respectivamente, isso para perfil de massividade  $170m^{-1}$ .
- Mantas fibrocerâmicas “são produtos flexíveis formados por um aglomerado de fibras sílico-aluminosas, de baixa densidade ( $64kg/m^3$ ), obtido da eletrofusão de sílica e alumina”. A aplicação da manta é feita revestindo os perfis estruturais com ela, e essa cobertura pode ser feita no processo de contorno com pinos de aço galvanizados ou cintas metálicas, e no processo de caixa onde é necessário envolver as estruturas com telas e então revestir com a manta. “Para o tempo de proteção requerido de 30,60,90 e 120 minutos, um perfil com fator de massividade  $170m^{-1}$ , por exemplo, irá necessitar camadas com espessuras de 12,26,38 e 63mm, respectivamente”.
- Tintas intumescentes “são constituídas por polímeros com pigmentos intumescentes” na presença do fogo reagem transformando em uma camada espessa semelhante a uma esponja que protege o aço das elevadas temperaturas formando uma camada isolante. Essas tintas possuem o custo mais elevado e são opções em casos de estruturas aparentes, mas devem prever uma pintura base compatível. Nos tempos de “30,60,90 e 120 minutos, um perfil com fator de massividade  $170m^{-1}$ , por exemplo, irá necessitar camadas com espessuras de 0,25, 0,71, 2,23 e 4,95mm, respectivamente.”

- Argamassas com revestimento fibroso pode ser a base de fibras ou cimentícia (com base constituída com maior parte de gesso e em menor de cimento e minerais inertes), são econômicas, mas não oferecem um acabamento muito bom.

## 5. DETALHES PROJETUAIS COM ESTRUTURAS DE AÇO

Cada detalhe do projeto que se utiliza estruturas metálicas deve ser entendido pelo profissional, um sistema estrutural que utiliza o aço, por exemplo, pode ser empregado todo apenas no material aço ou pode ser com o uso de um sistema misto onde é combinado com o concreto armado (PENNA; PINHO, 2008).

A escolha do sistema que irá compor toda a estrutura da obra resulta no todo final, considerando os prazos, custos, tipos de ligações e todos os demais princípios, sendo assim, um fator decisivo para o sucesso do conjunto. Esse sistema é composto principalmente por pilares, vigas, contraventamentos, lajes e painéis (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008).

### 5.1 Perfis de Aço

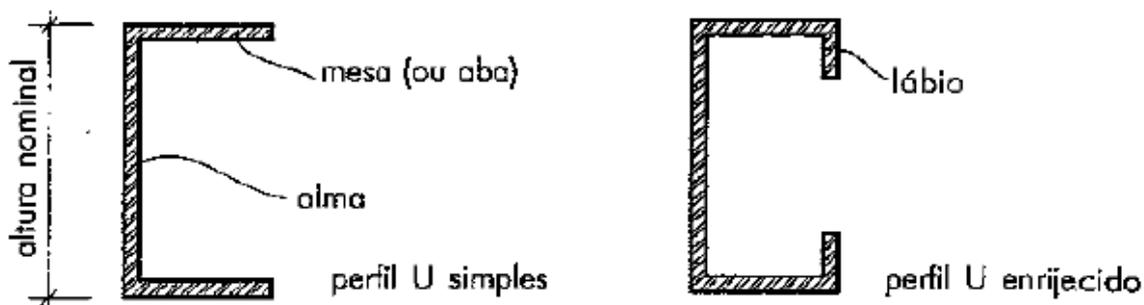
As estruturas metálicas são constituídas por perfis de aço, esse perfil estrutural é a “barra obtida por diversos processos e que apresenta a forma da seção com determinadas características geométricas que o qualifica para absorver determinados esforços” (REBELLO, 2007, p. 29).

Os perfis de aço são definidos pelo processo de fabricação em que passam na sua produção, de acordo com os formatos em que são constituídos, número de bitolas, a resistência do aço, acabamento superficial, dimensões, homogeneidade estrutural e demais características que vão definir qual será o melhor componente escolhido para cada tipo de estrutura de uma obra. Os principais perfis são os laminados, soldados, eletro-soldados, formados a frio e tubulares (PENNA; PINHO, 2008).

Os **perfis laminados** advêm do processo de laminação proveniente de lingotamento contínuo, podem ser subdivididos como abas inclinadas encontrados nos formatos U (figura 10), I (figura 11), L (figura 13) e T (figura 14), possuem comprimento padrão de 6 a 2 metros, e devem ser utilizados em estruturas de

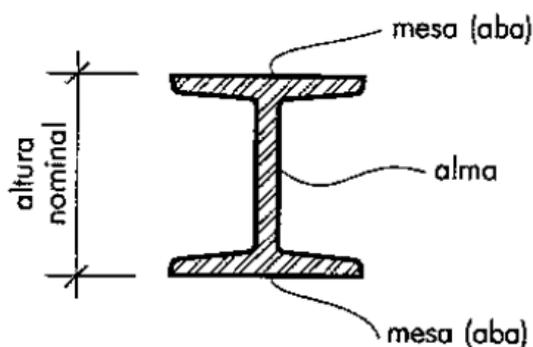
pequeno porte; e os laminados de abas paralelas produzidos dentro de padrões rígidos com alta eficiência e qualidade, podendo ser utilizados em estruturas de construções civis ou até mesmo de indústrias, são encontrados nas seções I e H (figura12) com comprimento padrão de 12 metros (DIAS, 2008).

**Figura 10:** Perfil denominado U.



**Fonte:** Livro Bases para projeto estrutural na arquitetura\_Yopanan Rebello

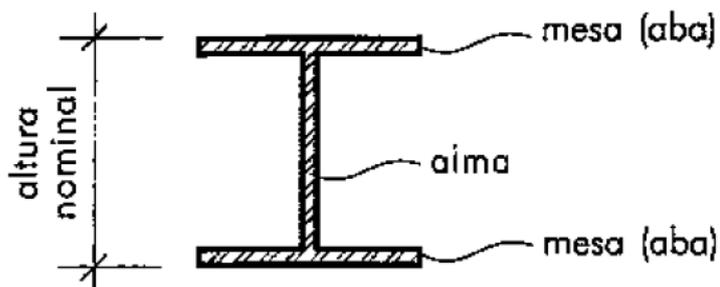
**Figura 11:** Perfil denominado I.



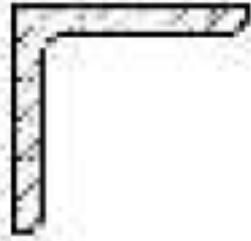
**Fonte:** Livro Bases para projeto estrutural na arquitetura\_Yopanan Rebello

No desenho do projeto arquitetônico ou no estrutural, o perfil denominado como H “se diferencia geometricamente do I por apresentar largura de aba igual a altura da alma” (REBELLO,2007, p. 38).

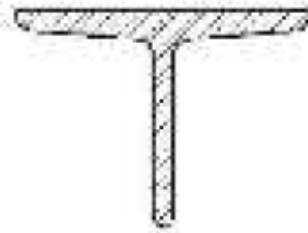
**Figura 12:** Perfil denominado H.



**Fonte:** Livro Bases para projeto estrutural na arquitetura\_Yopanan Rebello

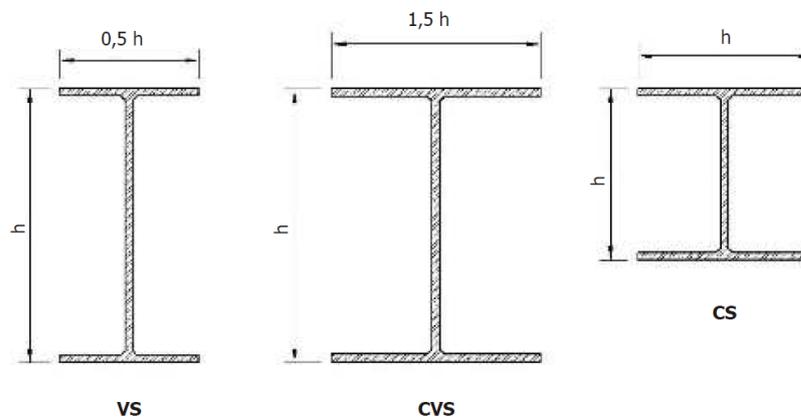
**Figura 13:** Perfil denominado L.

**Fonte:** Manual Princípios de arquitetura em aço\_Heloisa Martins Maringoni

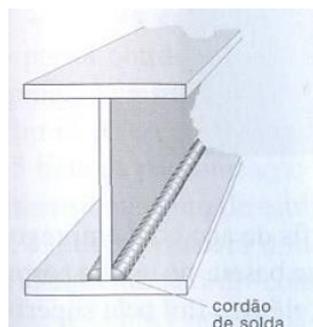
**Figura 14:** Perfil denominado T.

**Fonte:** Manual Princípios de arquitetura em aço\_Heloisa Martins Maringoni

Segundo Dias (2008) os **perfis soldados** são compostos com variações de seções através das soldagens de chapas planas, na sua fabricação pode ser utilizado qualquer dos três tipos de aço estrutural. Possuem nomenclaturas para seus perfis, sendo VS-vigas soldadas, CVS-colunas e vigas soldadas, CS- pilares ou colunas soldadas, conforme demonstrado na figura 15, já na figura 16 é representado como é o processo para soldagem desses perfis através do cordão de solda.

**Figura 15:** Nomenclatura dos perfis de chapas soldadas.

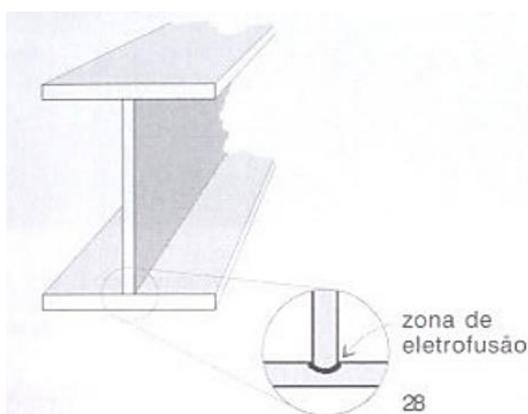
**Fonte:** Manual Princípios de arquitetura em aço\_Heloisa Martins Maringoni

**Figura 16:** Perfil soldado.

**Fonte:** Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

Os **perfis eletro-soldados** são “fabricados a partir de bobinas de aço pelo processo de soldagem por resistência elétrica, também conhecido por eletrofusão. Consistem na união de duas abas ou mesas a uma alma” esse processo de eletrofusão é ilustrado na figura 17, esses podem ser fabricados com dimensões referente ao comprimento de 6 a 15 metros (DIAS, 2008, p.90).

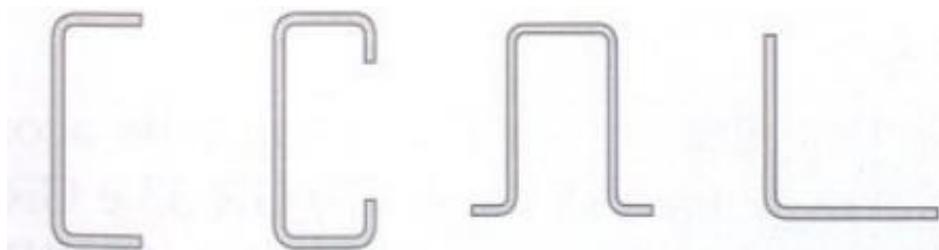
**Figura 17:** Perfil eletro-soldado.



**Fonte:** Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

Os **perfis formados a frio** são produzidos dobrando ou formando chapas de aço a frio ou quaisquer elementos planos de aço, como tiras, através de dobradeiras ou perfiladeiras. Não são recomendados para estruturas com grandes esforços, sendo utilizado apenas como componente de elementos estruturais (DIAS,2008). Alguns dos formatos encontrados desses perfis são representadas na figura seguinte:

**Figura 18:** Perfis conformados a frio.

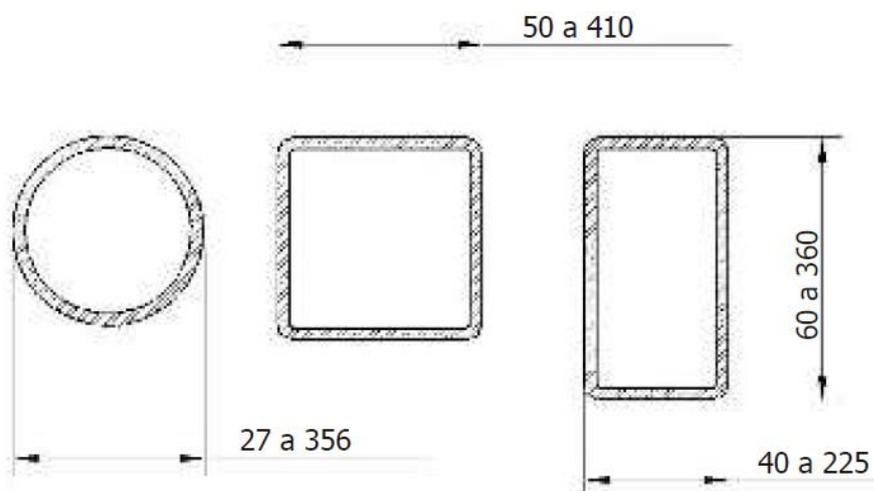


**Fonte:** Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

Os **perfis tubulares** podem ser encontrados nos formatos retangulares, quadrados ou circulares, e são extrudados, conforme a figura 19 (MARINGONI, 2004). Segundo Dias (2008) são separados por tubulares com costura, onde sua produção é feita por calandragem ou prensagem e é preciso um fechamento feito em solda denominado costura; e também são produzidos os tubulares sem costura que

são fabricados com processos de laminação a quente utilizando tarugos, e podem ser encontrados nos três tipos de aços estruturais.

**Figura 19:** Perfis tubulares.



**Fonte:** Manual Princípios de arquitetura em aço\_ Heloisa Martins Maringoni

Segundo Maringoni (2004) é também muito utilizado como complemento e suporte na composição das estruturas metálicas o cabo de aço, produzido com junção de vários arames de alta resistência conforme a figura representativa:

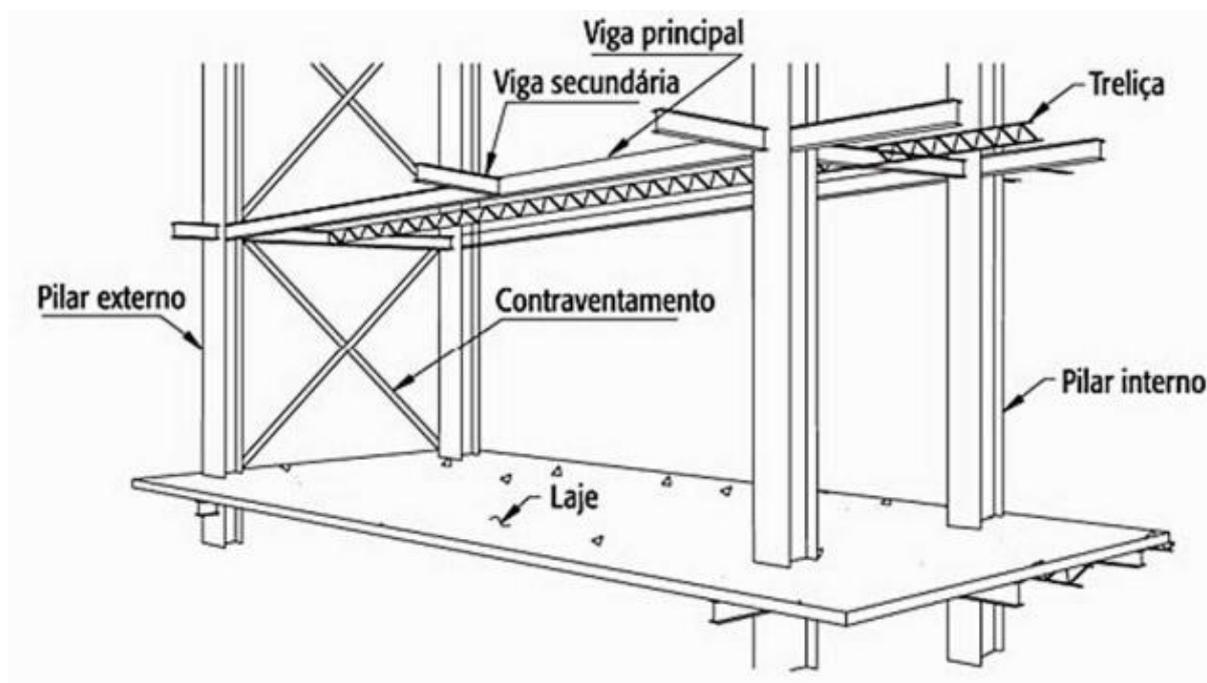
**Figura 20:** Cabo de aço.



**Fonte:** Manual Princípios de arquitetura em aço\_ Heloisa Martins Maringoni

## 5.2 Vigas e Pilares

As vigas e os pilares fazem parte dos elementos que compõem um sistema estrutural, com estruturas de elementos horizontais vencendo os vãos, são compostas as vigas, que são classificadas como principais e secundárias, e transferem as forças recebidas aos pilares que são elementos estruturais verticais possuindo os internos e os externos ((BELLEI; PINHO; PINHO, 2008). Essa típica composição de elementos é representada em um sistema estrutural na seguinte figura:

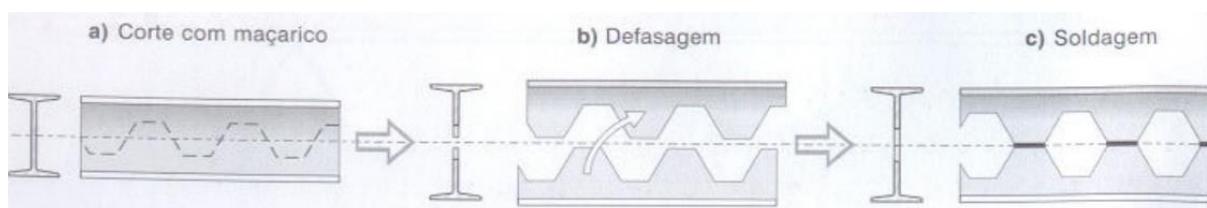
**Figura 21:** Composição típica estrutural

**Fonte:** Livro Edifícios de múltiplos andares em aço\_ Bellei; Pinho e Pinho

De acordo com Dias (2008) os principais tipos de **vigas** são as de alma cheia, alveolares, treliças, vierendeel e as vigas mistas:

As vigas de **alma cheia** possuem a seção da alma fechada e detêm de mesas mais espessas que as almas da viga pra resistir aos esforços solicitados. São encontradas principalmente, nos perfis I soldado, I laminado e U formado a frio.

Já as **vigas alveolares** possuem as almas com aberturas em formatos específicos, se tornam um pouco mais altas que o seu perfil original com o corte e defasagem, resultando em conseqüente economia de peso, conforme pode ser observado na figura 22, que representa esse processo de sua produção e o resultado com a soldagem final. Já na figura 23 é possível visualizar uma estrutura onde foi utilizado as vigas do tipo alveolares.

**Figura 22:** Processo vigas alveolares

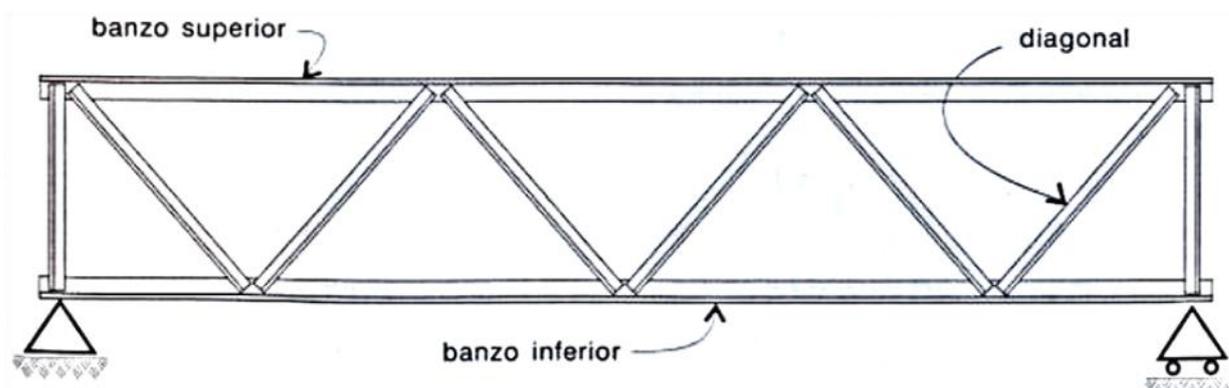
**Fonte:** Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

**Figura 23:** Viga alveolar

Fonte: ArchiExpo Arcelor Mittal

As **vigas treliças** “são constituídas por barras coplanares articuladas entre si e submetidas a cargas nodais” (p.31, 2008), podem ser por barras fixadas umas às outras utilizando chapas Gousset chamada de conexão indireta, ou pode ser com conexões diretas utilizando a soldagem.

Na figura 24 é demonstrado a composição das vigas treliças, onde as peças superiores e inferiores são denominadas como banzos superiores e inferiores respectivamente, e as peças que trabalham entre essas, recebem a denominação de diagonal. Já na figura 25 é possível observar uma estrutura que foi composta utilizando um tipo de viga treliça.

**Figura 24:** Composição viga treliçada

Fonte: Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

**Figura 25:** Viga treliça

Fonte: Arquivo pessoal

De acordo com Rebello (2007) as **vigas vierendeel** possuem uma geometria parecida com a viga treliça, com alma vazada e barras ligadas em nós, mas com comportamento bem diferente, uma vez que suas barras são enrijecidas entre si, o que faz com que todas as barras sejam solicitadas. Esse tipo de viga é indicado em casos onde se precisa de grandes vãos livres, em casos onde se necessita de amplas aberturas para passagens de tubulações e também é bastante utilizada como viga de transição e viga de passarela onde atua sustentando o piso e a cobertura.

Na figura 26 é representado de forma esquemática a geometria da viga vierendeel e também como funciona o seu comportamento, onde todos os nós entre as barras possuem uma ligação rígida. Na figura 27, é possível observar um exemplo desse tipo de viga sendo utilizada em uma residência com grande vão livre; já a figura 28 demonstra como é composta a viga vierendeel em casos onde sua altura é igual ao de um pavimento, de piso a piso.

**Figura 26:** Representação e comportamento da viga vierendeel

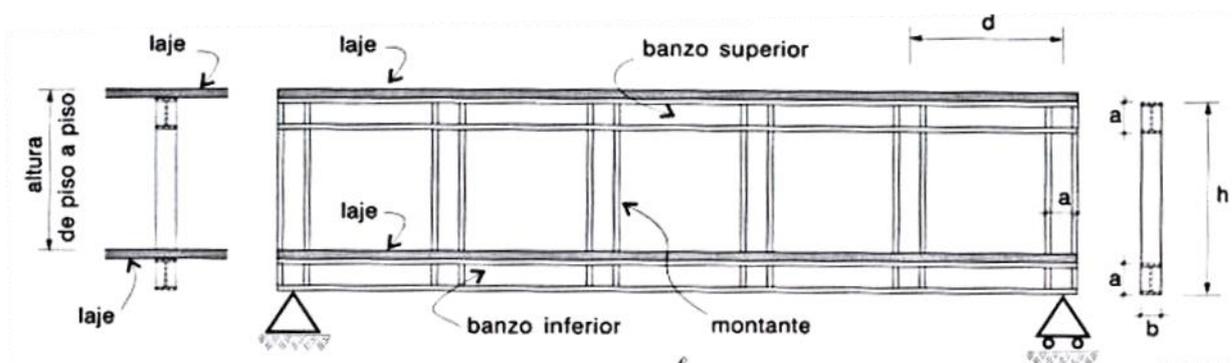
Fonte: Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

**Figura 27:** Viga Vierendeel



Fonte: <http://comoprojetar.com.br/> \_ editada pela autora do trabalho

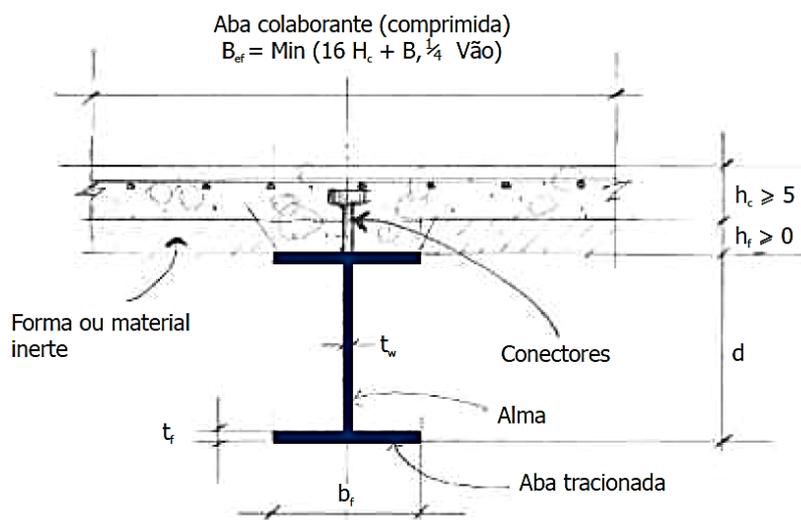
**Figura 28:** Viga vierendeel de piso a piso



Fonte: Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

Nas **vigas mistas** é trabalhado em conjunto o comportamento estrutural entre a laje de concreto e a viga em aço, onde os dois elementos são ligados através de conectores de cisalhamento (figura 29), o que reduz o peso das vigas metálicas em até 30% (BELLEI; BELLEI, 2018).

**Figura 29:** Viga Mista

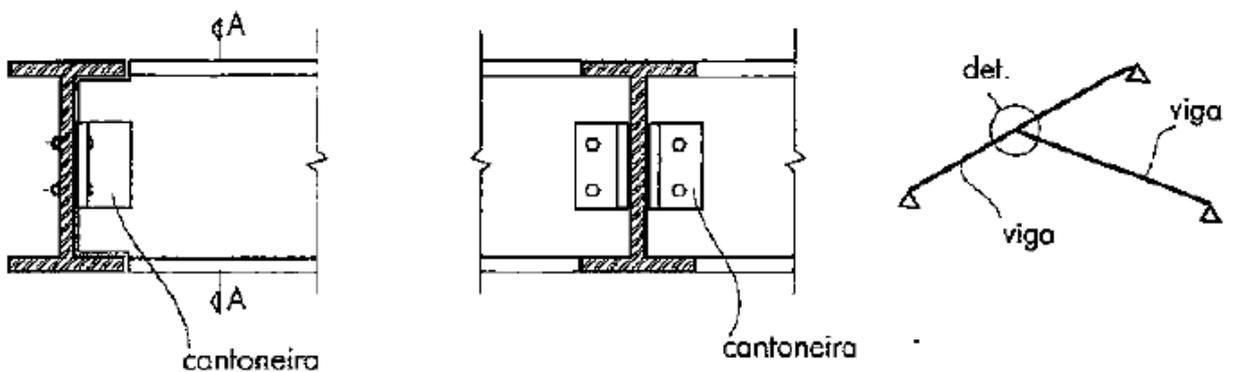


Fonte: Manual Princípios de arquitetura em aço\_ Heloisa Martins Maringoni

Segundo Vasconcellos (2020) outro ponto importante para detalhes projetuais de estruturas metálicas é entender as ligações entre os componentes das estruturas. Eles são feitos utilizando chapas, cantoneiras dentre outros elementos de ligação por meio de parafusos, soldas, barras rosqueadas e pinos.

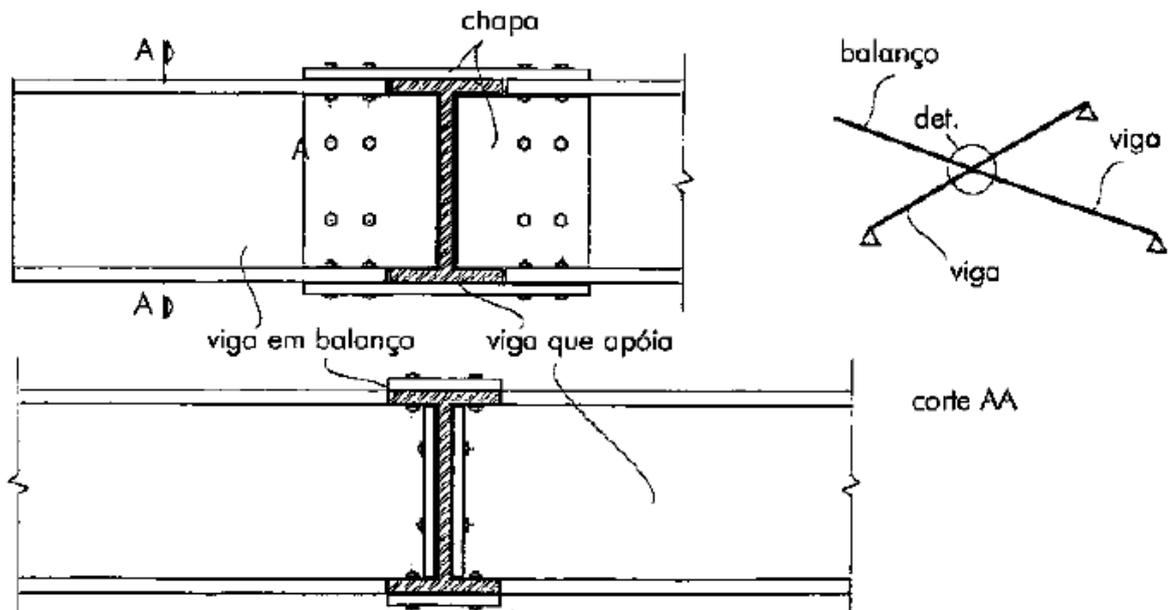
Nas figuras abaixo (30,31,32 e 33) são demonstradas as representações de alguns dos principais tipos de ligações realizadas em vigas, como os vínculos articulados e rígidos, as ligações entre viga-viga e viga treliça e a ligação entre viga e pilar:

**Figura 30:** Ligação vínculo articulado viga-viga

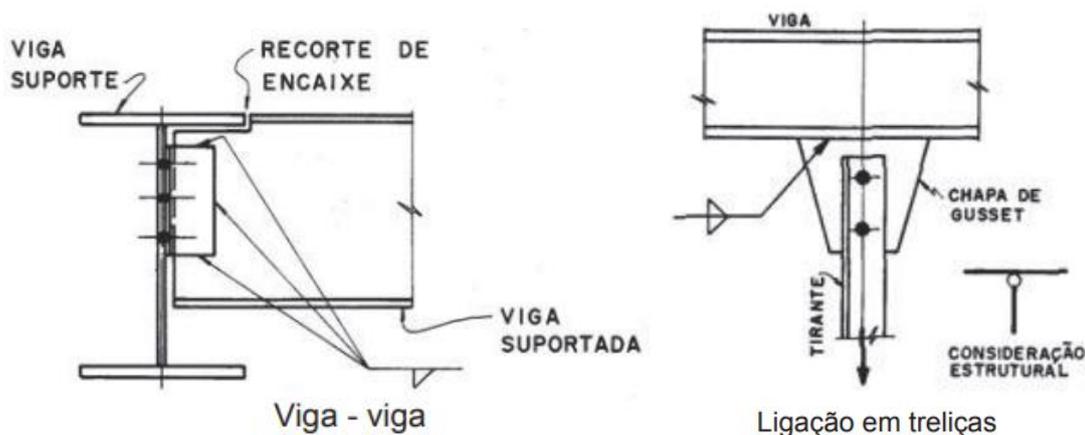


Fonte: Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

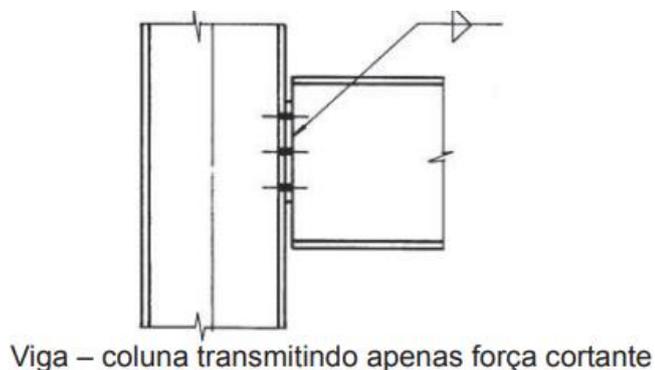
**Figura 31:** Ligação vínculo rígido viga-viga



Fonte: Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

**Figura 32:** Ligação viga-viga e viga treliça

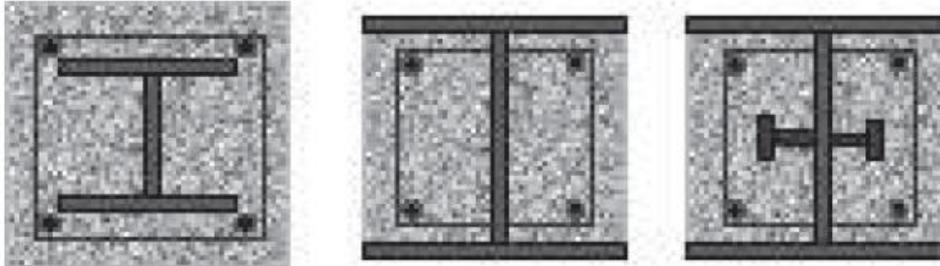
Fonte: Manual Ligações em Estruturas Metálicas\_ Vasconcellos

**Figura 33:** Ligação viga-pilar

Fonte: Manual Ligações em Estruturas Metálicas\_ Vasconcellos

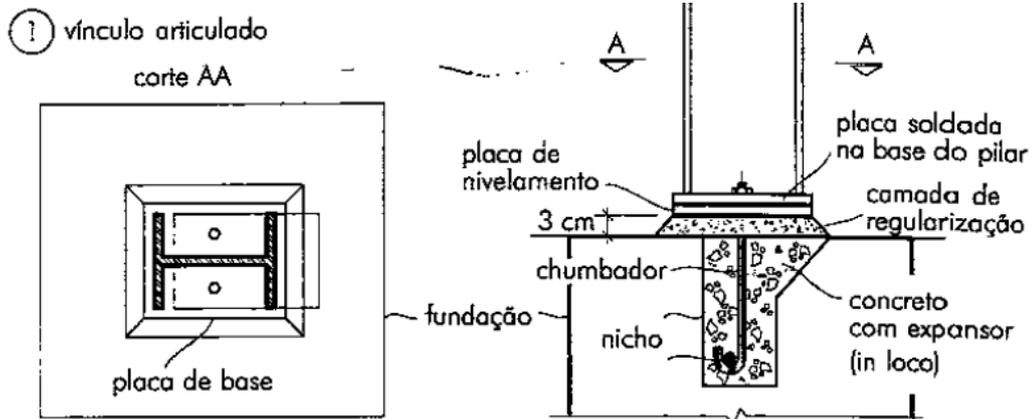
Os **pilares** “são elementos estruturais sujeitos basicamente a esforços axiais de compressão” (DIAS, 2008, p.24) podendo assumir diferentes formas geométricas, que segundo Rebello (2007) os principais perfis utilizados para esse fim são o H que apresenta facilidade de ligação com as vigas e os perfis tubulares que apresentam como vantagem a rigidez. Uma das grandes preocupações nos pilares em estruturas metálicas é o fenômeno de flambagem devido ao esforço de compressão axial, com isso deve-se prever um travamento adequado com os sistemas.

Assim como nas vigas, pode ser também utilizado os pilares mistos, que são provenientes do uso dos perfis metálicos em conjunto com o concreto, isso reduz a velocidade da obra, porém a massa dos pilares pode chegar a ser 40% menor, e ainda descarta a necessidade de tratamentos contra incêndio, pois o próprio concreto já faz essa proteção (BELLEI; BELLEI, 2018). São previstos na norma três tipos de pilares mistos, conforme representado na seguinte figura:

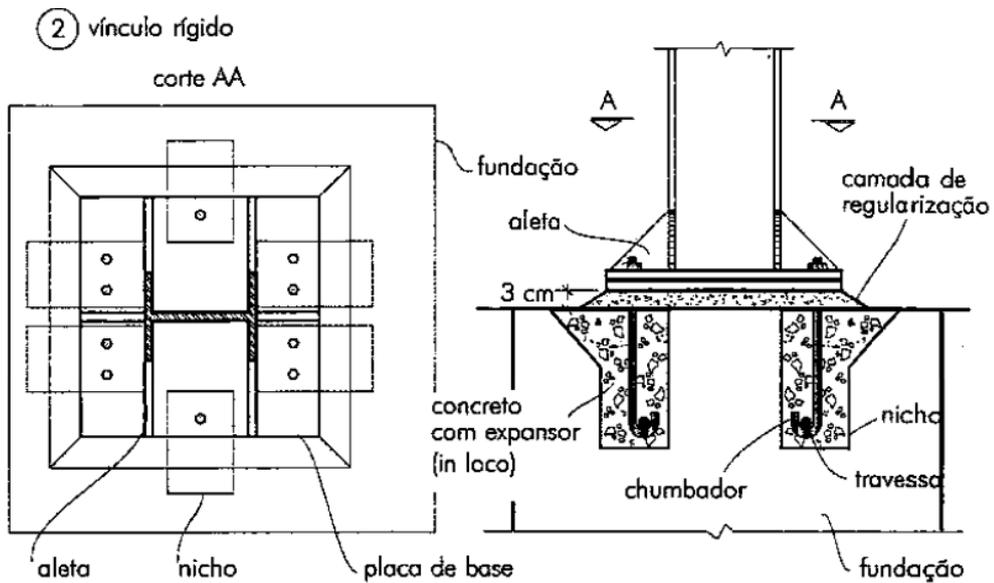
**Figura 34:** Tipos de pilares mistos

Fonte: Manual Edifícios de Pequeno Porte Estruturados em Aço\_ Bellei; Bellei

Nas figuras abaixo algumas das principais ligações realizadas nos pilares, sendo que na figura 33 já foi demonstrado a representação de uma ligação viga-pilar.

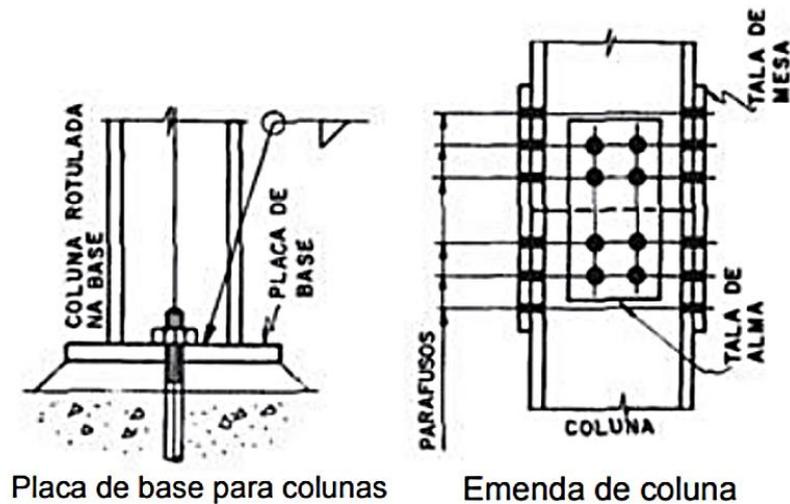
**Figura 35:** Ligação pilar-fundação vínculo articulado

Fonte: Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

**Figura 36:** Ligação pilar-fundação vínculo rígido

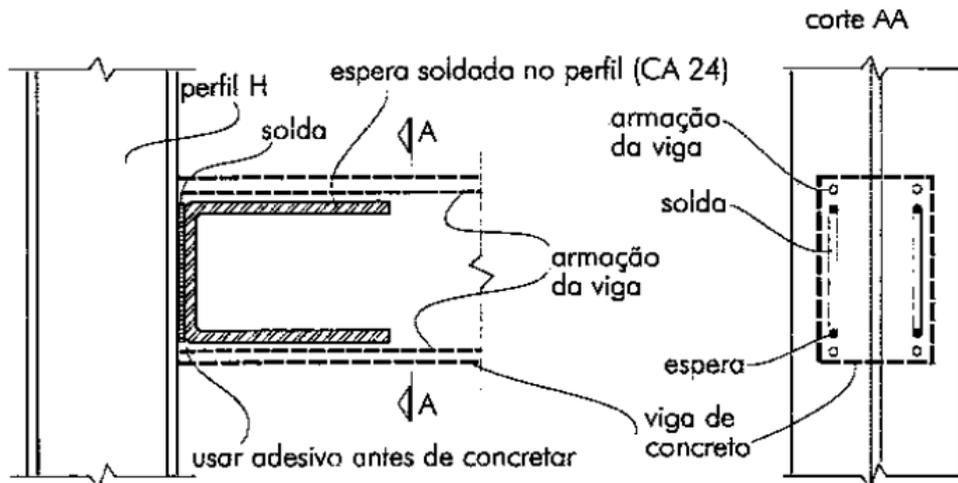
Fonte: Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

**Figura 37:** Detalhe placa de base e Ligação de emenda de pilar



**Fonte:** Manual Ligações em Estruturas Metálicas\_ Vasconcellos

**Figura 38:** Detalhe ligação pilar metálico-viga de concreto



**Fonte:** Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

### 5.3 Lajes

As lajes são elementos horizontais que transferem a carga recebida para a estrutura, podem também fazer o papel de contraventamento horizontal quando feita a ligação com as estruturas metálicas, e essas estruturas de aço aceitam diversos tipos diferentes de lajes, cabe ao profissional identificar qual será mais adequada a cada projeto (DIAS, 2008).

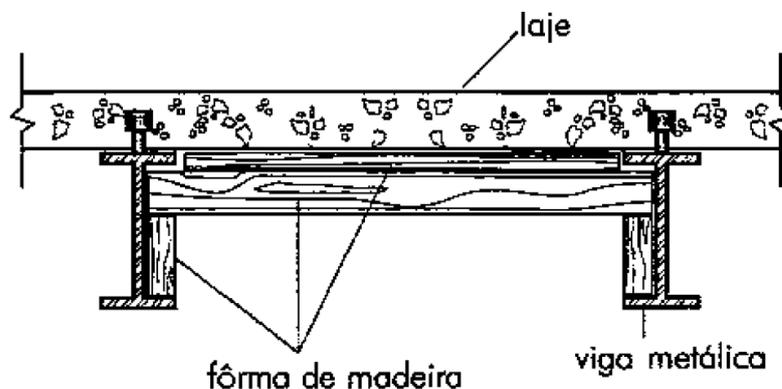
De acordo com Rebello (2007), nas construções metálicas as principais utilizadas como elementos horizontais de coberturas são as lajes maciças de

concreto armado, pré-fabricadas mistas, Steel-deck, painéis pré-fabricados de concreto protendido, painéis de concreto autoclavado e as chapas metálicas.

O que é confirmado por H. Bellei e Bellei (2018) os autores ainda acrescentam o fato de que a escolha dessas, porém, vai depender de diversas premissas, pois o tipo de laje tem grande influência no desempenho da estrutura. Detalhes como os comprimentos de vãos, cronograma de obra, velocidade, espessura de concreto mínimo quando se utiliza vigas mistas devem ser analisados para se definir qual o tipo será mais viável.

As **lajes maciças** são moldadas na obra, tem como vantagem a possibilidade de se utilizar as vigas incorporadas ao concreto da laje, o que gera uma economia no custo, trabalhando a compressão com o concreto e a tração no aço, não é necessário também fazer o cimbramento da laje, com isso, enquanto não curada é possível manter as atividades necessárias sob ela, agilizando o desenvolvimento dos trabalhos. Porém não é vantagem quando necessita de grandes vãos, pois precisa de vigamentos entre 1,5 e 3 metros (REBELLO, 2007). Na figura 39 é possível ver os detalhes de uma laje maciça juntamente com a incorporação das vigas metálicas:

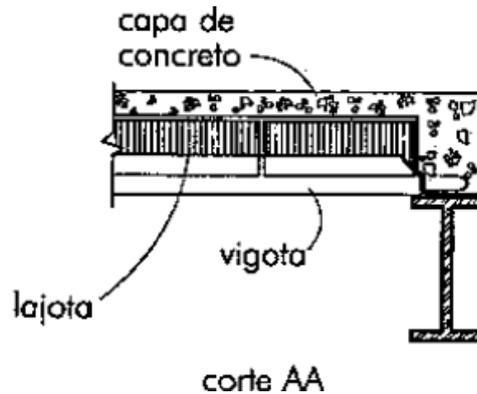
**Figura 39:** Detalhe laje maciça com viga metálica



Fonte: Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

Segundo H. Bellei e Bellei (2018) as **lajes pré-fabricadas mistas** podem ser constituídas por vigotas e lajotas (figura 40) ou treliçadas com EPS (isopor), no caso da primeira não é muito utilizada com estruturas de aço, pois não permite o uso das vigas mistas. Nas treliçadas com isopor é possível fazer a incorporação com as vigas, mas deve-se descontar a espessura da placa da pré-laje e dependendo das dimensões dos vãos é necessário se fazer o escoramento.

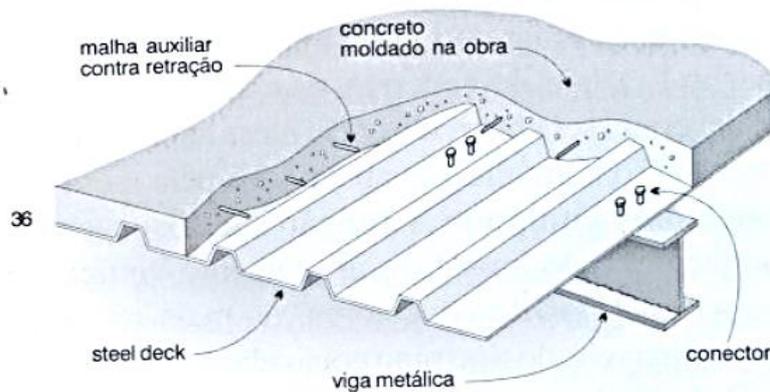
**Figura 40:** Detalhe laje pré-moldada com viga metálica



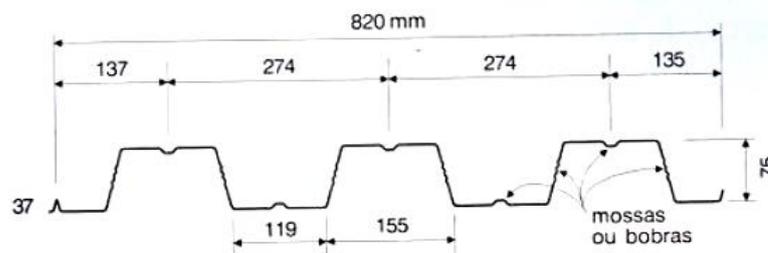
Fonte: Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

A laje **Steel deck** ou laje com forma metálica incorporada é amplamente utilizada nas estruturas metálicas, de acordo com Dias (2008) elas são compostas por uma forma metálica em formato trapezoidal que recebe o concreto, esse formato auxilia nas propriedades fazendo com que a estrutura alcance maiores vãos e maiores cargas. Essa chapa metálica trabalha como armadura de tração, precisando apenas de uma malha auxiliar contra a retração na parte superior, suas vigas são ligadas na laje através de conectores de cisalhamento, conforme ilustrado na figura 41; na figura 42 é demonstrada a face inferior de uma cobertura com laje steel deck.

**Figura 41:** Detalhe laje Steel Deck com viga metálica



Isométrica de uma laje steel deck em que a chapa metálica assume dupla função - de fôrma e de armadura positiva.

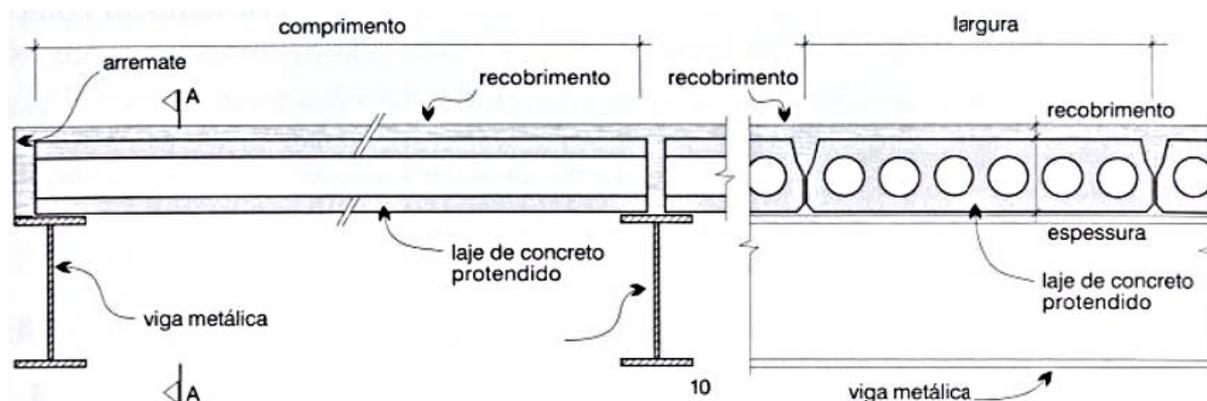


Fonte: Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

**Figura 42:** Face Inferior Laje Steel Deck

Fonte: Site habitadíssimo\_ editada pela autora do trabalho

De acordo com Dias (2008, p.134) as **lajes alveolares protendidas** “são obtidas pelo processo de industrialização em pistas de moldagem, nas quais os fios de aço são levados a um determinado estado de tensão denominado protensão da armadura, antes da etapa de concretagem”. H. Bellei e Bellei (2018) colocam que essas lajes permitem a utilização de grandes vãos, não é necessário o uso de formas e nem de se fazer escoramentos, porém elas não permitem a incorporação com as vigas metálicas, na seguinte figura é representada esse tipo de laje com a estrutura metálica:

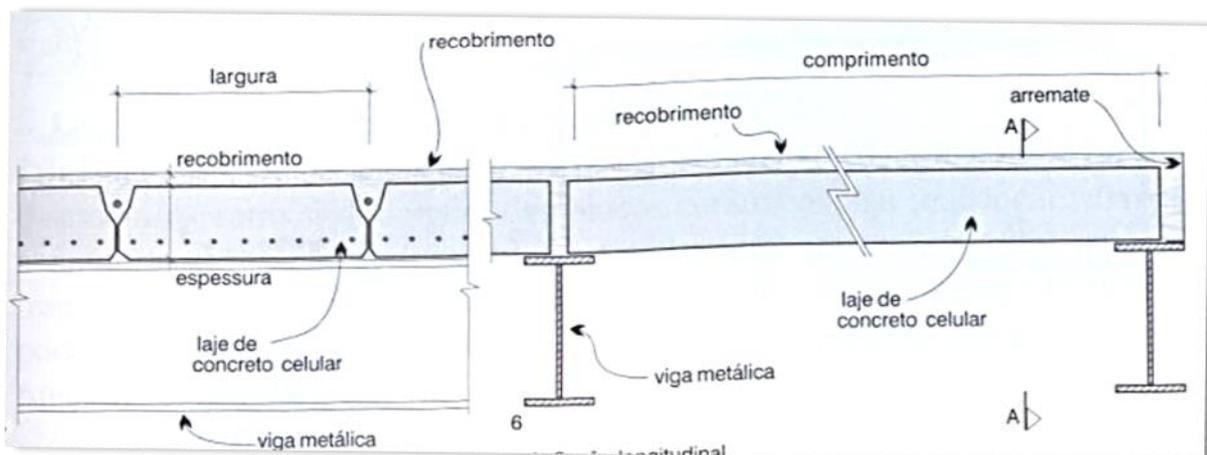
**Figura 43:** Laje alveolar protendida

Fonte: Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

As **lajes de painéis de concreto celular autoclavado** são leves já que é constituída por material de baixa densidade, sua armação depende da sobrecarga

solicitada a cada projeto. Essa laje não depende de formas e nem de escoramento, e suas placas possui medidas padronizadas que são recobertas com argamassa de espessura 1,5 a 2cm, normalmente trabalham apoiadas nas vigas metálicas, como pode ser visualizado na figura 44 (DIAS, 2008).

**Figura 44:** Laje concreto celular autoclavado



**Fonte:** Livro Estruturas de Aço Conceitos, Técnicas e Linguagem\_Dias

#### 5.4 Vedações

De acordo com Maringoni (2004), as estruturas de aço, permitem diferentes tipos de vedações, podendo ser feito com as mais industrializadas, como os painéis pré-fabricados ou placas, e também as mais tradicionais como as alvenarias comuns. Mas é importante frisar que essas decisões irão impactar nos dimensionamentos dos projetos.

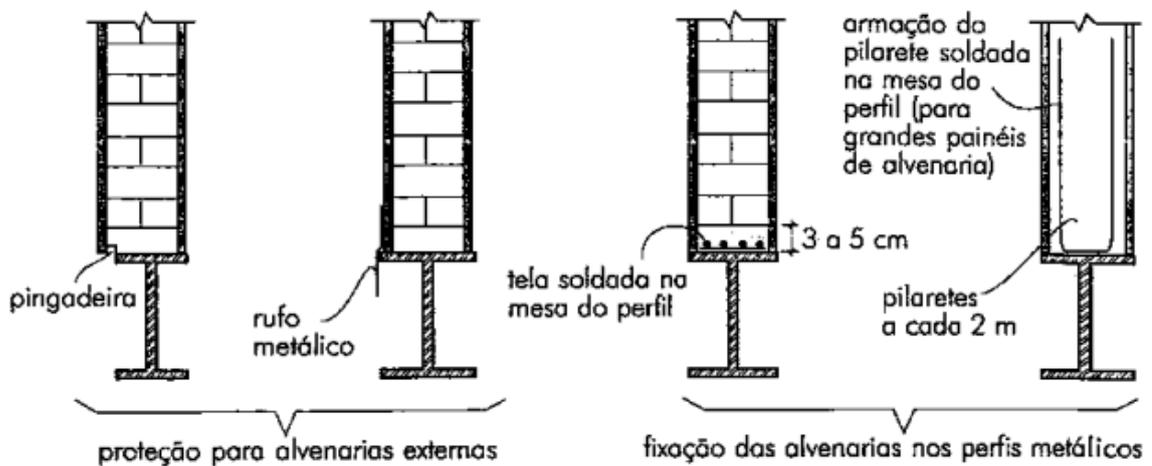
De acordo com Rebello (2007) optar por sistemas de vedações rápidas e leves irão conciliar bem com a dinâmica das estruturas metálicas. O que é confirmando por H. Bellei e Bellei (2018) quando exemplificam a utilização de divisórias internas com o uso de Dry-wall, e já para as vedações externas coloca pontos que devem ser analisados como o acabamento, a estética, a quantidade de manutenção que o material exigirá. Mas ressaltam que ainda é bem empregado e mais corrente o uso das alvenarias comuns de tijolos que exigem cuidados especiais quanto a ligação entre os materiais.

Com as movimentações naturais das estruturas, dependendo da deformação sofrida a alvenaria poderá apresentar fissuras, que podem permitir a penetração de água, causando assim uma umidade que venha a diminuir o tempo de vida útil da estrutura. Materiais como cortiça ou poliestireno podem ajudar nessas

movimentações sofridas entre as ligações de alvenarias e pilares. As ligações rígidas ou semirrígidas podem ser feitas com esperas ou utilizando telas eletrosoldadas de arame zincado. No caso do encontro entre as vigas e as alvenarias recomenda-se substituir o encunhamento por junta de solidarização de material deformável (DIAS, 2008).

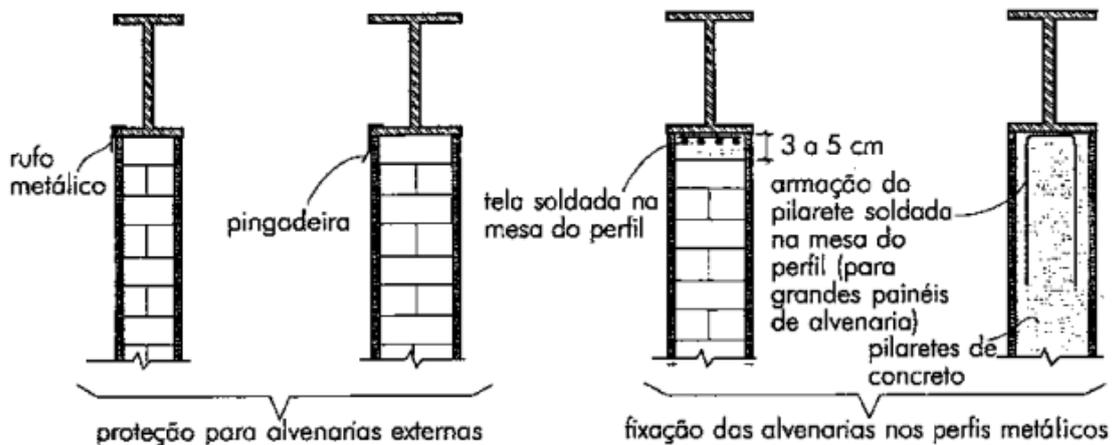
Rebello (2007) ainda coloca medidas como o uso de rufos e outras técnicas representadas nas seguintes figuras:

**Figura 45:** Ligação da base da alvenaria com vigas metálicas



Fonte: Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

**Figura 46:** Ligação do topo das alvenarias com as vigas metálicas



Fonte: Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

## 6. PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

A utilização das estruturas metálicas influencia diretamente na concepção arquitetônica dos arquitetos que a projetam, esses precisam estar mais integrados na totalidade de todo o processo, inclusive no quesito de dimensionamento estrutural, pois a estrutura faz parte da arquitetura e interfere no desenvolvimento de todo o projeto (MANCINI, 2003).

O pré-dimensionamento auxilia nesse processo já que é uma base de análise do conjunto, considerando alturas, vãos livres, cargas, para que se possa conceber algo compatível a nível de estrutura com o que possa ser executável já na fase do projeto arquitetônico; já o dimensionamento será desenvolvido através de cálculos rigorosos (MARINGONI, 2004).

Dias (2008) determina alguns pré-dimensionamentos de referência quanto aos tipos de vigas utilizadas, conforme a seguinte tabela desenvolvida:

**Tabela 02:** Pré-dimensionamento de vigas.

<b>Tipo de Viga</b>	<b>Dimensão do vão</b>	<b>Dimensão da altura da viga</b>
Vigas de alma cheia	8 a 18 metros (Vigas principais)	1/14 a 1/18 do vão
	5 a 10 metros (Vigas secundárias)	1/18 a 1/22 do vão
Vigas em forma de Trelça	9 a 35 metros	1/7 a 1/10 do vão
Vigas Vierendeel	6 a 25 metros	1/10 a 1/14 do vão

De acordo com Rebello (2007) pode ser feito o pré-dimensionamento levando em consideração o tipo de apoio se biapoiadas com balanço ou sem, e vigas contínuas com balanço ou sem, conforme tabela:

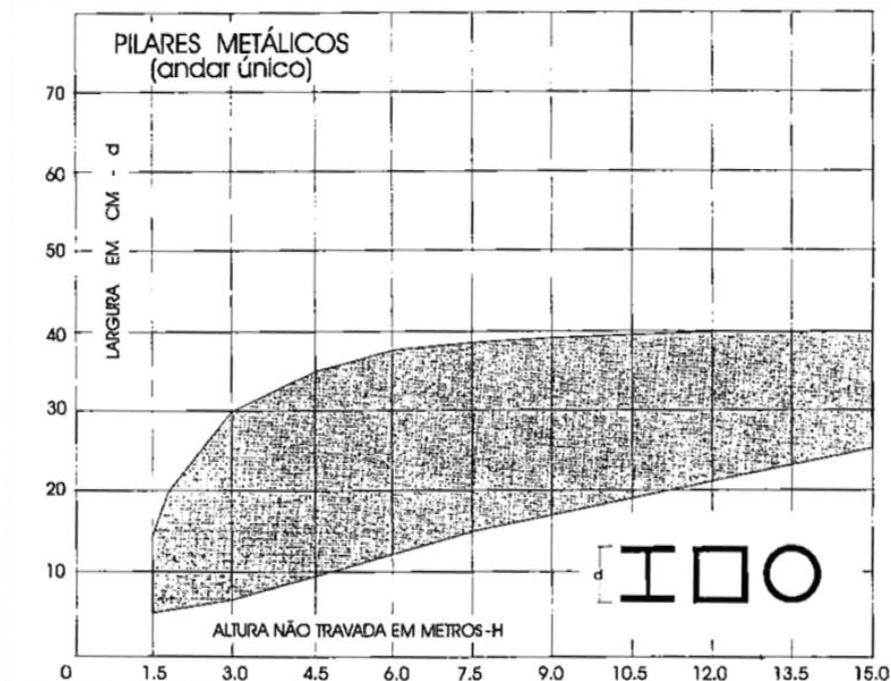
**Tabela 03:** Pré-dimensionamento pelo tipo de apoio das vigas.

<b>Tipo de apoio</b>	<b>Altura da Viga</b>	<b>Largura da viga</b>
Viga biapoiada sem balanço	4% do vão (Cargas pequenas)	Varia entre 40% e 60% da altura
	5% do vão (Cargas médias)	
	6% do vão (Cargas grandes)	

Viga biapoiada com balanço	8% do balanço (Cargas pequenas) 10% do balanço (Cargas médias) 12% do balanço (Cargas grandes)	Varia entre 40% e 60% da altura
Viga continua sem balanço	3,5% do maior vão (Cargas pequenas) 4,5% do maior vão (Cargas médias) 5,5% do maior vão (Cargas grandes)	Varia entre 40% e 60% da altura
Viga continua com balanço	Adota-se “pelo vão conforme item anterior, e pelo balanço”	Varia entre 40% e 60% da altura
<p><b>Obs.:</b> O peso dado a pequeno, médio e grande carga, de acordo com Rebello (2007, p. 78):</p> <p style="padding-left: 40px;">grosso modo, pode-se considerar como pequena carga a existência de laje apoiada apenas em um lado da viga e a inexistência de alvenaria. Carga média seria a existência de lajes nos dois lados da viga e de alvenaria. Pode-se considerar grande carga aquela que, além das lajes e alvenaria, apresenta cargas de outras vigas apoiadas sobre ela.</p>		

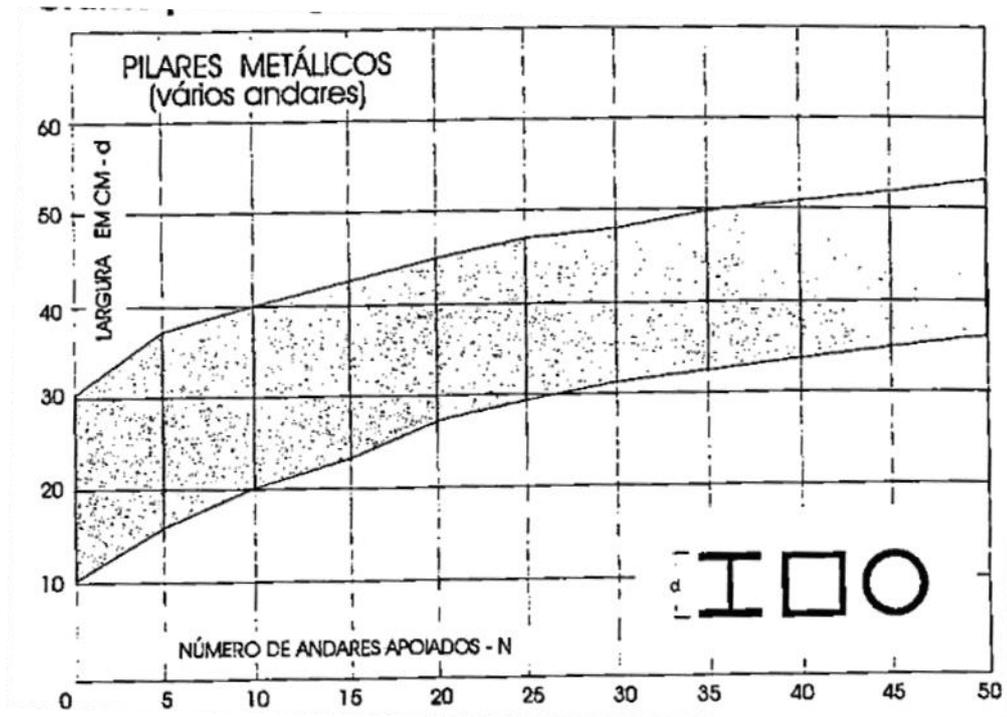
O autor ainda apresenta gráficos que podem nortear pré-dimensionamentos quanto aos pilares metálicos (figura 47 e figura 48) e pórticos de aço (figura 49):

**Figura 47:** Gráfico de pré-dimensionamento pilares metálicos de andar único



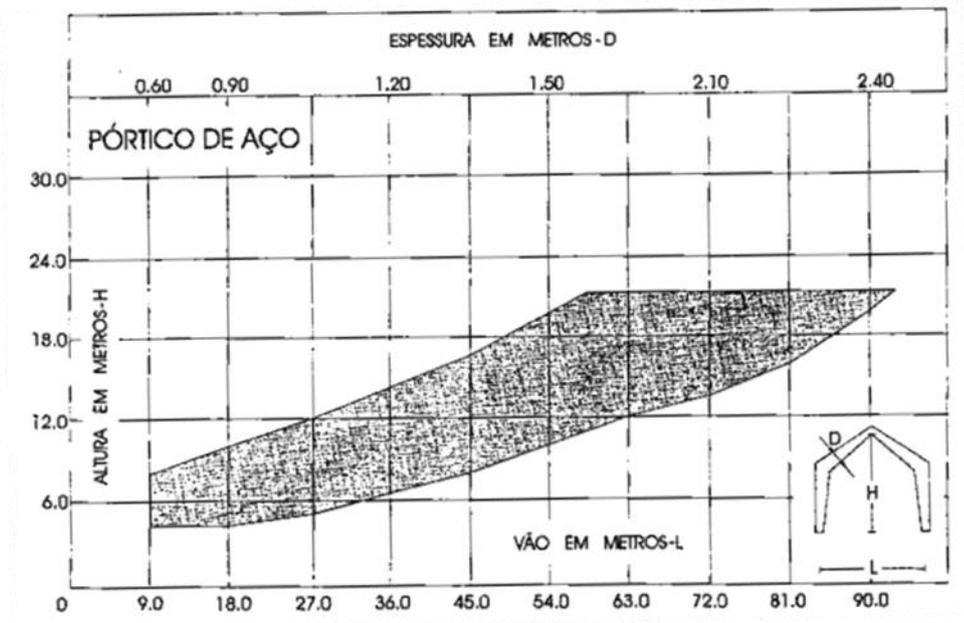
**Fonte:** Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

**Figura 48:** Gráfico de pré-dimensionamento pilares metálicos de vários andares



Fonte: Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

**Figura 49:** Gráfico de pré-dimensionamento pórtico de aço



Fonte: Livro Bases para projeto estrutural na Arquitetura\_ Yopanan Rebello

## **7. MATERIAL E MÉTODOS**

### **7.1 Relato da pesquisa**

Além de conceituar todas essas condições que interferem no projeto arquitetônico quando se utiliza as estruturas metálicas, na parte da revisão bibliográfica, a pesquisa buscou também, obter dados diretamente com arquitetos inseridos no mercado de trabalho como forma de entender e analisar essas possíveis dificuldades em se trabalhar com o aço, além de se considerar que existe um menor entendimento desse sistema, tendo uma familiaridade maior com conceitos do concreto.

### **7.2 Metodologia de obtenção dos dados**

Essa pesquisa teve como procedimento metodológico uma abordagem qualitativa exploratória, onde se desenvolveu um estudo de referencial teórico tratando das questões problemas e posteriormente com a parte prática de obtenção de dados através de questionário aplicado.

Para a coleta desses dados foi elaborado um questionário (Apêndice 01), esse questionário foi aplicado a arquitetos que exercem a profissão e estão atuantes na área de projetos, já que são eles os responsáveis pela concepção dos projetos arquitetônicos e por vezes pela definição dos sistemas que serão utilizados em obra.

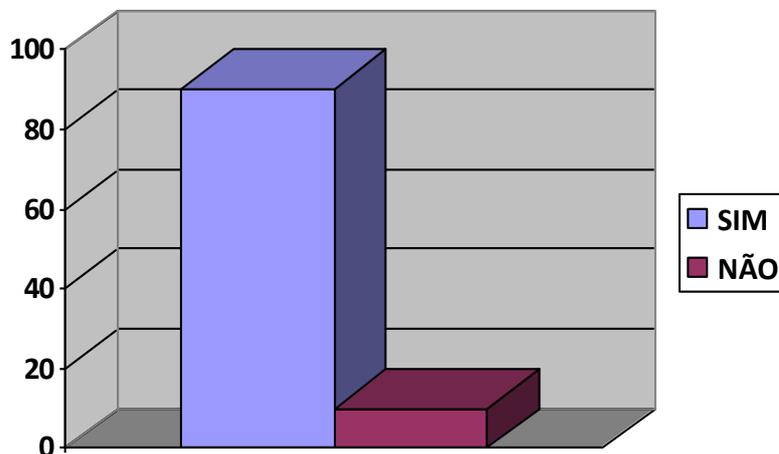
Os questionários foram aplicados de forma online e enviados em documento editável para o preenchimento, nos meses de junho e julho. Como meio de obter os dados necessários foram elaboradas cinco perguntas, sendo duas fechadas simples, uma fechada para quantificação de pesos e duas abertas. Dos quinze questionários enviados, teve se retorno de dez.

## **8. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS**

Os dados obtidos foram dispostos conforme a sequência dos questionamentos abordados aos respondentes:

a) Já trabalhou ou trabalha com estruturas metálicas: o respondente pôde dar apenas uma resposta “sim” ou “não”.

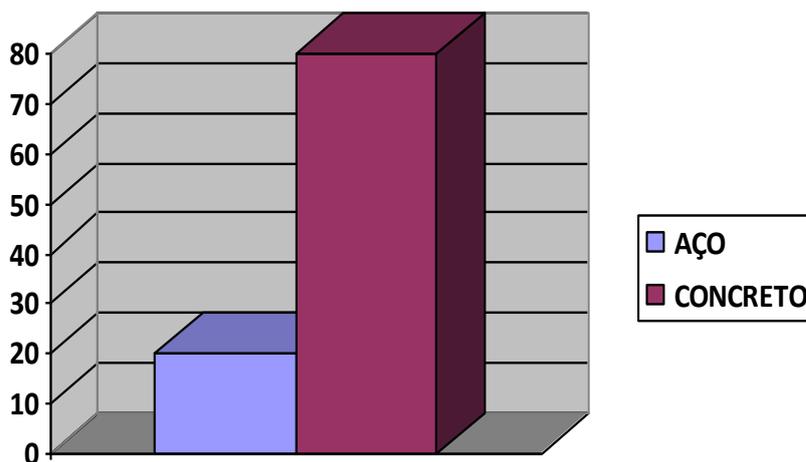
**Figura 50:** Gráfico de dados da 1ª questão do questionário.



Fonte: Arquivo Pessoal

b) Considera ter maior familiaridade com conceitos do concreto armado ou do aço: o respondente pôde dar apenas uma resposta “aço” ou “concreto”.

**Figura 51:** Gráfico de dados da 2ª questão do questionário.



Fonte: Arquivo Pessoal

De acordo com os primeiros dados apurados 90% dos respondentes já trabalharam ou trabalham com estruturas metálicas, porém, ao serem questionados sobre o conhecimento e maior segurança técnica em se trabalhar com determinado

sistema, 80% dos entrevistados consideram ter maior aptidão com os conceitos do concreto armado e apenas 20% consideram maior familiaridade com o aço.

Isso, reafirma as teorias de que a grande maioria dos arquitetos conhecem, mas não dominam as técnicas e os conceitos que estão relacionados ao uso das estruturas metálicas e todas as condições que interferem desde o início do processo de projeto.

c) Cite 3 vantagens e 3 desvantagens ao se utilizar o aço em um projeto: o respondente pôde responder de forma livre e dentro da sua visão profissional.

**Tabela 04:** Tabulação da 3ª questão do questionário (vantagens).

Categoria	Respostas (Vantagens)	Frequência de respostas
Tempo	“Tempo” “Tempo menor de obra” “rapidez” “agilidade” “tempo de execução”	8
Maior resistência/ Vãos livres	“Vãos livres” “Edificações mais esbeltas” “Vencer vãos maiores sem apoios” “resistir a carregamentos maiores com peças mais esbeltas” “atingir grandes vãos” “Maior liberdade na distribuição de vãos” “flexibilidade estrutural” “resistência”	7
Sustentabilidade	“Construção limpa” “sustentabilidade” “limpeza na montagem” “sem desperdício” “limpeza” “obra limpa”	7
Outros	“armazenamento no canteiro” “modulação” “flexibilidade”	3
Custo	“Preço” “economia”	2

**Tabela 05:** Tabulação da 3ª questão do questionário (desvantagens).

Categoria	Respostas (Desvantagens)	Frequência de respostas
Mão de obra	“Mão de obra específica” “mão de obra	9

qualificada	especializada” “mão de obra” “tempo de fornecedores” “mão de obra especializada” “mão de obra especializada” “poucos fornecedores locais”	
Custo	“Custo elevado” “Preço” “custo” “custo” “preço” “custo maior” “alto custo”	7
Outros	“Transporte de peças” “modificação de projeto in loco” “logística” “acabamento”	4
Proteção a agentes agressivos	“Risco de corrosão” “cuidados para proteção da estrutura contra corrosão” “cuidados para evitar corrosão”	3

Dentre todas as respostas apontadas pelos respondentes, o item da categoria “Tempo” foi o mais citado (sendo cotado em 8 respostas diferentes) como uma vantagem ao se utilizar as estruturas de aço, já que esse sistema de fato oferece uma rapidez grande quanto ao seu tempo de execução.

Seguido pelo tempo e citado em pelo menos 7 respostas veio a categoria “Maior resistência/vãos livres” onde é destacado as vantagens de se resistir a carregamentos maiores sem perder a esbeltez e a liberdade dos vãos, uma vez que o aço possui maior resistência a tração que o concreto possibilitando peças estruturais menores, vencendo vãos maiores, algo muito valorizado pela estética dos projetos arquitetônicos.

Citado na mesma quantidade de vezes foi a categoria “Sustentabilidade” que está relacionado com conceitos sustentáveis ambientais, onde os respondentes destacaram vantagens como obra limpa e diminuição de resíduos. Preço e economia chegaram a serem citados como vantagens, mas em uma quantidade razoavelmente menor, uma vez que poucos entendem o aço como um material que gera sim uma economia no custo geral.

Já considerando as respostas apontadas como desvantagens ao se utilizar o aço, a categoria “Mão de obra qualificada” aparece em pelo menos 9 dos questionários, onde se ressalta a dificuldade em obter mão de obra qualificada para trabalhar com esse tipo de estrutura. Seguido dessa categoria vem o “Custo” que

está intimamente ligado também a mão de obra, uma vez que, se falta mão de obra, essa será mais cara. O custo é apontado pelos respondentes em 7 vezes, ressaltando o elevado preço do material, reafirmando que as estruturas metálicas necessitam de um investimento inicial maior que o concreto armado. Porém, vale ressaltar, como já discutido na revisão bibliográfica isso não significa que o custo final também será mais elevado, as respostas dadas pelos respondentes só reafirmam que é de entendimento geral que o aço é mais caro, sem entender a fundo o conceito e a viabilidade de custo e tempo final de obra.

É ainda apontado em pelo menos 3 dos questionários recebidos a desvantagem de ter que prever proteção como forma de conter a corrosão nas estruturas. E ainda é citado outras desvantagens como transporte de peças, acabamento, logística, dentre outros.

d) Costuma sugerir o uso ao cliente? Se sim, costuma ter retorno positivo ou negativo: o respondente pôde responder de forma livre e dentro da sua visão profissional.

Com a análise de todas as respostas dadas pelos arquitetos respondentes, na sua grande maioria esses sugerem ao cliente o uso do sistema. Ainda foi possível perceber algumas pautas como quando sugerido uso de estruturas metálicas em residências e obras de pequeno porte, o retorno do cliente costuma ser negativo, uma vez que o investimento é maior e exige um custo elevado logo de início. Muitas vezes os clientes ficam animados ao ouvir todas as vantagens, mas desistem da ideia quando recebem os orçamentos e comparativos com outros materiais. Já outros, apontam clientes resistentes desde o início por taxarem o sistema como fora do convencional.

Já em casos de obras comerciais o retorno costuma ser positivo, uma vez que esse cliente preza pelo tempo e quanto menor o tempo de execução, maior será a devolutiva do seu investimento. Também é apontado como obtendo retornos positivos em casos de reforços estruturais que requer agilidade, assim como obras industriais.

Além desses pontos citados, os profissionais ressaltam que na grande maioria das vezes, opta se pelo uso de estrutura mista, e com vedações tradicionais em alvenaria de tijolos furados ou blocos de concreto.

e) Quais as principais dificuldades em projetar com sistemas estruturais metálicos? o respondente pôde quantificar 1 a 5 os níveis de dificuldades das opções dadas, considerando o maior valor para a maior dificuldade.

**Tabela 06:** Tabulação da 5ª questão do questionário.

Dificuldades	Nível 05	Nível 04	Nível 03	Nível 02	Nível 01
Custo	6			2	2
Mão de obra qualificada	2	3		4	1
Domínio do sistema e dos seus condicionantes	1	3	3	3	
Processo industrializado	1		6		3
Detalhes projetuais		4	2	2	2

O custo foi a maior dificuldade quantificada pela maioria dos profissionais respondentes, por vezes isso dificulta e inviabiliza a utilização e escolha do sistema. Já os detalhes projetuais vêm logo após esse primeiro dificultador, sendo apontando na maioria dos questionários como sendo nível 4, já que o sistema exige um domínio de desenhos mais assertivo, pois diferente do concreto o seu processo não é artesanal e não poderá ser modificado em obra, todos os detalhes deverão ser pensados em projeto, na obra será trabalhado puramente a execução desses.

Ligado a isso, foi apontado como dificultador nível 3, o fato de o processo ser industrializado, já que todas as peças, instrumentos, e demais componentes, seguem um padrão, isso faz com que os arquitetos tenham de se inteirar mais no processo do projeto, com desenvolvimentos criativos que sigam essa lógica industrializada, afim de evitar erros e desperdícios no canteiro de obra.

A mão de obra qualificada foi apontada pela maioria como sendo um dificultador nível 2, e o domínio do sistema e dos seus condicionantes aparece com a mesma quantidade de vezes no nível 04, 03 e 02.

## 9. CONCLUSÕES

Os estudos dos conceitos e processos do concreto armado já atingiram bons níveis, tanto no âmbito acadêmico quanto na prática, já a construção mais industrializada como o uso das estruturas metálicas ainda está em desenvolvimento no Brasil, onde o aço ainda não obteve espaço suficiente.

O trabalho com o sistema metálico é totalmente diferente de lidar com o processo do concreto, pois o aço possui aspectos e questões que modificam todo o processo desde a concepção do projeto até a entrega final da obra. E para se trabalhar bem e valorizando as principais vantagens que esse material oferece é necessário que o profissional domine seus principais conceitos e condicionantes.

Através da pesquisa foi possível perceber que ao conceber projetos onde o sistema construtivo definido é o aço, deve-se compreender questões principais como as suas propriedades, os tipos diferentes de aço que existem no mercado, a modulação que é necessária ser feita e planejada, as proteções a estrutura que devem ser previstas e os detalhes projetuais que precisam ser dominados.

Todos esses condicionantes precisam ser de conhecimento dos profissionais, pois o sistema exige esse nível de compreensão. No entanto, o sistema construtivo é definido ainda em projeto, e os profissionais nessa etapa possuem mais familiaridade com o concreto armado, o que faz com que o aço seja menos utilizado. Foram ainda apontadas pelos profissionais, dificuldades como o custo de produção, a necessidade de mão de obra especializada e a falta de domínio quanto aos detalhes projetuais do sistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLEI, Ildony H.; PINHO, Fernando O.; PINHO, Mauro O. **Edifícios de Múltiplos andares em Aço**. 2. ed. São Paulo: Pini Ltda, 2008.

BELLEI, Ildony Hélio; BELLEI, Humberto N. **Edifícios de pequeno porte estruturados em Aço**. 4. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2018.

BORSATO, Karen Tostes. **Arquitetura em Aço e o processo de projeto**. 2009. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

CASTRO, Adriana Almeida de; MICHALKA, Camilo. **O uso da estrutura de aço na arquitetura como alternativa para o desenvolvimento sustentável da construção civil brasileira**. Cla CS'04 ENTAC'04. 2004. São Paulo, 2004.

CASTRO, Eduardo Mariano Cavalcante de. **Patologia dos Edifícios em Estrutura Metálica**. 1999. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Dec, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999

COELHO, Roberto de Araújo. **Sistema construtivo integrado em estrutura metálica**. 2003. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço: conceitos, técnicas e linguagem**. 6. ed. São Paulo: Ziguarte, 2008. 295 p.

JARDIM, Fernanda Gomes. **Análise da especificação de materiais e componentes construtivos no processo de projeto de construções metálicas**. 2010. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Construção Civil, Demc, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010

MARINGONI, Heloisa Martins. **Manual: Princípios de arquitetura em aço**. Coletânea do uso do aço, 2 ed. Vol. 4, 2004, 72f.

MANCINI, Luciana Cotta. **Pré-dimensionamento de estruturas metálicas em fase de concepção arquitetônica**. 2003. 240 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Dec, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

OLIVEIRA, Dora Rodrigues Alves de. **Desenvolvimento do projeto arquitetônico em estruturas de aço**. 2004. 51 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

PINHO, Fernando Ottoboni; PENNA, Fernando. **Viabilidade Econômica**. Rio de Janeiro: Ibs/Cbca, 2008. 84 p. (Manual de Construção em Aço).

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **A concepção estrutural e a arquitetura**. 1.ed. São Paulo: Zigate, 2000.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Bases para projeto estrutural na arquitetura**. 1.ed. São Paulo: Zigate, 2007.

RIBEIRO, Marcellus Serejo. **A industrialização como requisito para a racionalização da construção**. 2002. 33 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

ROCHA, Claudia Maria Miranda. **O ensino da arquitetura com aço no Brasil**. 2011. 176 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

ROCHA, Edo. **Arte, Arquitetura e o Aço**. 1.ed. São Paulo: J.J. Carol, 2014.

SÁ, José Ricardo Cunha da Costa e. **Edros**. São José dos Campos: Projeto, 1982. 124 p.

Sem autor: **Construção em Aço e Sustentabilidade**. CBCA, 2022. Disponível em: < <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/acos-estruturais/>>. Acesso em: 06, agosto de 2022

SILVA, Ascanio Merrigui de Figueiredo. **Uma concepção arquitetônica de edifício residencial com estrutura e componentes construtivos fabricados a partir de aços planos**. 2004. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

TEIXEIRA, Renata Bacelar. **Análise da gestão do processo de projeto estrutural de construções metálicas**. 2007. 267 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) –Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007

VASCONCELLOS, Alexandre Luiz. **Ligações em Estruturas Metálicas**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2020.

XEREZ NETO, Jary de; CUNHA, Alex Sander da. **Estruturas Metálicas: manual prático para projetos, dimensionamento e laudos técnicos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Questionário

Curso de Especialização em Construção Civil - CECC – E.E.UFMG

#### Questionário para Monografia “Condicionantes do Uso do aço na Concepção Arquitetônica” Pós Graduação Gabriela Cristina Fonseca Ramos

Nome:

Tempo de profissão:

Região que atende:

Já trabalhou ou trabalha com estruturas metálicas?

Sim       Não

Considera ter maior familiaridade com os conceitos do concreto armado ou do aço?

Aço       Concreto

Na sua visão, cite 3 vantagens e 3 desvantagens ao se utilizar o aço em um projeto?

Costuma sugerir o uso ao cliente? Se sim, costuma ter retorno positivo ou negativo?

Quais principais dificuldades em projetar com sistemas estruturais metálicos? (Numerar de 1 a 5, sendo que o maior valor corresponde a maior dificuldade. Exemplo: Custo [5] Mão de obra qualificada [1]).

- Custo
- Mão de obra qualificada
- Domínio do sistema e dos seus condicionantes
- Processo industrializado
- Detalhes projetuais

Anote algum comentário ou observação caso necessário.