

Jurandir Primo

*Estruturas Metálicas
Análise, Design & Cálculos*

*Jurandir Primo
Copyright @ 2019
1ª edição – janeiro de 2020*

Capa: Jurandir Primo – Sorocaba/SP

Primotech - Engineering Manuals

Primo, Jurandir

Estruturas Metálicas, Metais, Sistemas Industriais.

*Índice para pesquisas: Estruturas, Caldeiraria,
Metalurgia, Sistemas Industriais.*

ISBN:

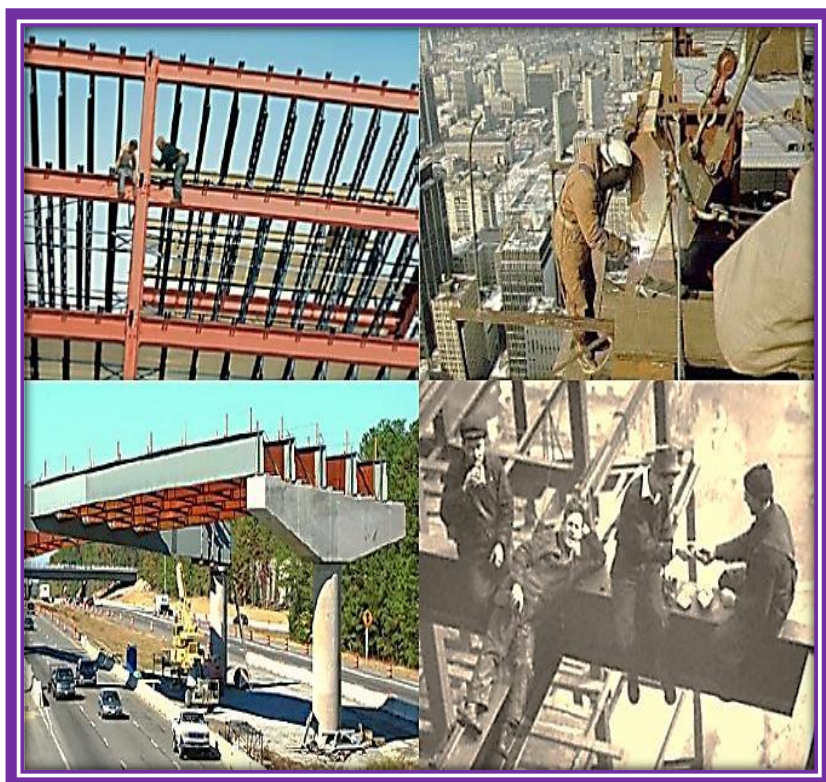
Livro no sistema de auto-publicação cuja edição, revisão, diagramação e capa foram selecionadas pelo próprio autor, para diminuir custos e facilitar a todos os interessados em engenharia e tecnologia.

O autor permite que todas as partes do livro possam ser copiadas ou reproduzidas para fundamentos educacionais, instrutivos e treinamento técnico.

Para adquirir esta ou outras publicações do autor, enviar solicitação para:

[*primotechcourses@hotmail.com*](mailto:primotechcourses@hotmail.com)

Estruturas Metálicas ***Análise – Design & Cálculos***



Estruturas Metálicas
Análise – Design & Cálculos

CONTEÚDO:

I. INTRODUÇÃO:

II. SISTEMAS DE CONSTRUÇÕES METÁLICAS:

1. Componentes de Cálculos Estruturais:
2. Edifícios Multi-Andares:
3. Engenharia de Estruturas:
4. Engenharia de Terremotos:
5. Engenharia de Fachadas:
6. Engenharia de Combate a Incêndios:
7. Engenharia de Telhados:
8. Engenharia de Torres:
9. Engenharia Eólica:

III. AÇOS & MATERIAIS ESTRUTURAIS:

1. Aços Estruturais ASTM/AISC:
2. Perfis e Chapas Estruturais:
3. Parafusos & Acessórios:
4. Indicadores de Tensão:
5. Inspeção de Montagem Estrutural & Testes:

IV. CARGAS DE PROJETOS ESTRUTURAIS:

1. Projeto & Análise:
2. Load and Resistance Factor Design (LRFD)
e Allowable Strength Design (ASD):

V. MÉTODOS PRÁTICOS DE PROJETOS:

1. Métodos de Projetos Estruturais:
2. Tipos de Cargas:
3. Cargas para Projetos Estruturais:
4. Cargas Vivas & Cargas Mortas:

VI. LINKS AND REFERÊNCIAS:

I. INTRODUÇÃO:

A análise estrutural é um processo de cálculo das forças, momentos e deflexões, sujeitos em estruturas metálicas. Uma edificação de aço é uma estrutura metálica fabricada geralmente em aço carbono para suportação e para revestimentos externos, em oposição a edifícios emoldurados em concreto, que geralmente usam outros materiais para pisos, paredes e envelopes externos. Os edifícios de aço têm uma variedade de propósitos, incluindo armazenamento, espaços de trabalho e acomodação. Uma estrutura de aço é um sistema com peças conectadas usadas para suportar diferentes cargas, de cima para baixo e de todos os lados. Alguns exemplos relacionados à engenharia civil são edifícios, pontes e torres.

O American Institute of Steel Construction, em todo o mundo conhecido como AISC, é um instituto técnico sem fins lucrativos para o uso de procedimentos estruturais em aço na indústria da construção dos Estados Unidos, com sede em Chicago, Illinois. A AISC também fornece especificações, códigos, assistência técnica, certificação de qualidade, padronização e desenvolvimento de mercado para seus parceiros e também publica a Especificação AISC 360 para Edifícios Estruturais de Aço, uma referência autoritária nos EUA para o projeto de estruturas de construção em aço.

O Metal Building Manufacturers Association (MBMA) é outro importante instituto técnico fundado em 1956, para promover o projeto e a construção de sistemas de construção metálica no mercado de edifícios não residenciais, uma organização comercial sem fins lucrativos. A sede do MBMA está situada em Cleveland, Ohio. No início de 2010, o MBMA publicou o Energy Design Guide for Metal Building Systems. Há 10 capítulos, mais apêndices e uma bibliografia abrangente. O guia

tem uma visão geral de edifícios metálicos e sustentáveis seguidos de capítulos detalhados sobre isolamento, telhados quentes e frios e iluminação do dia.

Não muito tempo atrás, o MBMA e o American Iron and Steel Institute (AISI) patrocinaram testes de proteção contra incêndio em juntas para edifícios metálicos (Head of Wall - HOW), realizados no Underwriters Laboratories (UL) para mostrar a condição resistente ao fogo nas articulações de edifícios metálicos. Os resultados dos testes foram descritos em três Certificações, UL (HW-D-0488, HW-D-0489 e HW-D-0490), para empresas que trabalham com paredes e conjuntos de teto classificadas para fogo. Há também capítulos dedicados ao Código Internacional de Conservação de Energia, códigos estaduais de energia, Normas ASHRAE, bem como ferramentas de conformidade, onde há informações fornecidas em programas de classificação importantes, como a Liderança em Energia e Design Ambiental (Leadership in Energy and Environmental Design - LEED) do Green Globes e Energy Star.



O programa LEED fornece verificação de procedimentos de qualidade em energia sustentável por terceiros, onde um projeto de construção pode ser inspecionado para atingir um dos

quatro níveis de certificação LEED (Certificação Básica, Prata, Ouro ou Platina), atendendo a um determinado número de créditos baseados em pontos dentro do sistema de classificação. O LEED evoluiu progressivamente desde sua criação, em 1998. A versão mais recente é conhecida como LEED “versão 4”, com foco em diferentes tipos de construção e tipos de renovação. O guia de referência LEED Building Design and Construction (BD+C) se concentra em oito tipos de edifícios, um dos quais inclui novas construções.

O American Iron and Steel Institute (AISI) publicou em 2009, uma edição do AISI “*Design Guide for Cold-Formed Steel Purlin Roof Framing Systems*”, que fornece informações sobre o design de telhados de aço de extensão única ou suportados por viga-metra, com ênfase em sistemas de ancoragem. Este manual é baseado no AISI S100-07, edição de 2007 da Especificação norte-americana para o Projeto de Membros Estruturais de Aço Formados a Frio. Esta edição também mescla o Suplemento 2010, em uma edição impressa, atualizada para refletir o Código Internacional de Construção (IBC) de 2012. O Manual de Sistemas de Construção Metálica (Metal Building Systems Manual) de 2012 é a última edição, publicado pela primeira vez em 1959, que inclui tópicos importantes para edifícios metálicos, como aplicação de carga, cargas de guindaste, classificações de incêndio e conservação de energia.

II. SISTEMAS DE CONSTRUÇÕES METÁLICAS:

Os sistemas de construção metálica são estruturas de engenharia profissional, que evoluíram a partir do ferro, vigas de aço comum e estruturas de madeira dos primeiros séculos. Esses edifícios atualmente são projetados em sistemas CAD (Computer-Aided Design and Drafting, design auxiliado por computador), com softwares sofisticados para escolhas de

materiais, cálculos rápidos, planejamento e instalação de elementos arquitetônicos. No entanto, mesmo com muitas variáveis sobre o assunto, os elementos básicos do sistema de construção metálica são sempre constantes; *quadros rígidos primários, membros secundários (cintas de parede e vigas-mestras de telhado), amarração, suportes e revestimento*. Todos os principais fabricantes de sistemas de construção metálica utilizam ferramentas CAD para projetar um sistema de construção personalizado e todos os componentes de construção, com base nas especificações do cliente.



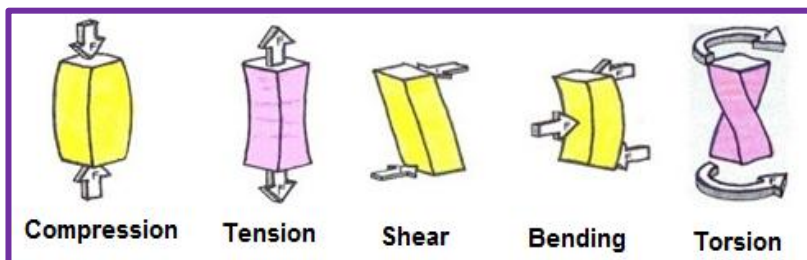
Além dos códigos de construção locais e nacionais, cada sistema de construção metálica é projetado para as dimensões necessárias e atender às condições de carga, com o material especificado. Os edifícios metálicos incorporam diferentes acabamentos arquitetônicos para fornecer uma fachada apropriada para vários tipos de instalações, como igrejas, escolas, shopping centers, edifícios educacionais, instalações médicas, lojas de varejo e edifícios de escritórios. Essas aplicações também podem incluir postos de bombeiros, hangares de aviões, centros de fitness e outros tipos de construção como ar-

ranha-céus. Os procedimentos de edificação metálica também têm práticas comuns na indústria, especificações de projeto e dados climatológicos para todos os países.

1. Componentes de Cálculos Estruturais: Existem *cinco tipos principais de componentes de cálculo estrutural; membros de tensão, membros de compressão, membros de flexão, membros de forças combinadas e suas conexões*. (Aqui chamaremos de membros ou partes). No entanto, estruturas de aço são bastante complexas para análise e design. Há uma vasta gama de ferramentas de análise por computador que oferecem velocidade, precisão e economia de design; softwares com modelagem 3D, modelagem de Elementos Finitos (FE) quadro portal, vigas celulares, vigas de chapas de aço, etc. Membros de tensão são geralmente encontrados como membros de amarração, treliças e juntas de fixação. Membros sob tensão carregam forças de tração, ou puxando ou empurrando forças apenas, e suas conexões finais são assumidas como pinadas ou parafusadas. Conexões pinadas impedem que um momento (flexão, torsão) ou forças de cisalhamento sejam aplicadas ao membro. Membros de compressão também são considerados em colunas, suportes ou postes.

Membros sob flexão também devem ser considerados em vigas, colunas, arcos, amarrações, vergas e contravergas. Cada um desses membros tem sua própria aplicação estrutural, mas tipicamente membros flexionados carregam momentos de dobramento e forças de cisalhamento como cargas primárias, forças axiais e torcionais como cargas secundárias. Combinações de carga são comumente calculados para vigas, colunas, amarrações e treliças que podem estar em qualquer condição de tensão, como dobras, flambagem, compressões radiais e axiais. Conexões são componentes estru-

turais que unem toda uma estrutura, e devem garantir que funcionem juntos e seguros como uma unidade.



A modelagem da avaliação de desempenho tem atualmente softwares comuns para componentes de uma estrutura, onde a análise manual é impossível. É muito importante que os engenheiros estruturais reconheçam os diversos tipos de elementos, compondo estruturas metálicas e possam classificá-los de acordo com suas formas e funções. Reconhece-se a facilidade e a presença universal da análise computacional, mas experiência em engenharia e compreensão intuitiva tornam-se cada vez mais importantes, tanto na criação de modelos de análise, quanto criticamente na avaliação dos resultados, como desvio de formas, distribuição de momentos ou distribuição de análise de reações.

A análise numérica das estruturas baseia-se principalmente na compreensão do projetista sobre os comportamentos estruturais, escolha de software adequado, método de análise e, sobretudo, no uso do julgamento de engenharia para saber quando as respostas são razoáveis. A maioria das edificações são uma série de quadros 2D repetitivos e com frequência é conveniente modelar desta forma. No entanto, muitos edifícios comerciais de vários andares são modelados em 3D, pois é muito eficaz copiar e repetir pisos semelhantes, juntamente com padrões de carga definidos. A modelagem 3D também é

útil para analisar quadros complexos e para catalogar o tamanho, o tipo, a localização, a localização, etc. dentro de todo o modelo de construção.

O principal objetivo dos projetistas é proporcionar uma estrutura segura e econômica, dentro das restrições dos procedimentos de especificação e segurança, com todos os requisitos arquitetônicos. A definição de uma estrutura econômica não é simples, podendo ser necessário investigar várias formas de enquadramento, antes de realizar o desenho detalhado. No entanto, é possível fornecer orientação geral baseada principalmente na experiência e na compreensão da estrutura, pois as conexões resistentes a momentos são mais caras do que as conexões normalmente fixas. Assim, por ordem de preferência, o designer deve considerar:

- ✓ Elementos estruturais primários que formam os quadros principais e transferem carga horizontal e vertical para as fundações;
- ✓ Elementos estruturais secundários, como vigas ou treliças, que transferem as cargas para os elementos estruturais primários;
- ✓ Outros elementos, como revestimentos ou partições, que apenas transferem cargas para os elementos estruturais primários ou secundários;
- ✓ Quadros cintados com articulações fixas;
- ✓ Quadros rígidos em uma direção, com amarrações;
- ✓ Quadros rígidos em várias direções.

A prática de projetar, construir e manter edificações é geralmente um esforço coletivo de diferentes grupos de profissionais e operadores. Dependendo do tamanho, complexidade e finalidade de um projeto de construção específico, a equipe do projeto pode incluir:

- ✓ Um incorporador imobiliário que garante financiamento para o projeto;
- ✓ Uma ou mais instituições financeiras ou outros investidores que fornecem o financiamento;
- ✓ Autoridades locais de planejamento e código;
- ✓ Engenheiro topógrafo que realiza levantamentos de construção ao longo do projeto;
- ✓ Gestores de construção que coordenam o esforço de diferentes grupos de participantes do projeto;
- ✓ Arquitetos e engenheiros licenciados que fornecem projeto de construção e preparam documentos de construção.

As principais disciplinas de engenharia que normalmente incluem profissionais experientes e novos são; Serviços civis, estruturais, de elétrica, telecomunicações, serviços de construção mecânica, como HVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), soldagem, encanamento e drenagem. Também podem estar envolvidos outros possíveis especialistas em engenharia, como Calculistas de Estrutura, Orçamento, Arquitetos, Combate a Incêndio, Tubulação, Acústico, Fachada, Física Predial, AV (Audiovisual), BMS (Sistemas de Gestão Predial), Logística, Compras, Automação e LEED. Esses engenheiros de projeto também devem preparar documentos de construção a serem emitidos a empreiteiros especializados para obter um preço para a construção e seguir todos os procedimentos, normas locais e instalações de equipamentos.

Qualquer edifício requer certa quantidade de infraestrutura interna para funcionar, o que inclui elementos como aquecimento/resfriamento, energia, telecomunicações, água e esgoto. Especialmente em edifícios comerciais (escritórios ou fábricas), que podem ter sistemas extremamente intrincados ocupando grandes quantidades de espaço (às vezes localizados

em áreas separadas, com pisos duplos, tetos falsos, caldeiras, HVAC, refrigeradores, torres de resfriamento, etc.), que constituem grande parte da manutenção regular necessária. Também é necessário contratar empreiteiros que prestam serviços de construção, como climatizações, instalações elétricas, encanamento, decoração, proteção contra incêndio, sistemas de segurança e telecomunicações.

Note: A palavra construção é um substantivo, um verbo e também um advérbio. Como substantivo, um edifício é *"uma estrutura que tem telhado, paredes e fica mais ou menos permanentemente em um só lugar"*. Os edifícios vêm em uma variedade de tamanhos, formas e funções, adaptados ao longo da história por um grande número de fatores, desde materiais de construção disponíveis conforme as condições climáticas, preços da terra, condições do solo, usos específicos e razões estéticas. O termo construção também pode ser adverbial, estrutura não-constructiva, como construir um personagem ou construir recursos educacionais.

2. Edifícios Multi-Andares: São edifícios que suportam dois ou mais andares acima do solo. Não há restrição formal à altura ou ao número de andares que um edifício de vários andares pode conter, embora edifícios muito altos enfrentem dificuldades mais práticas. Um prédio de vários andares pode ser projetado como um local de negócios, como um hospital, um escritório de advocacia, um cassino, um shopping ou um prédio do governo. Outros tipos de edifícios de vários andares incluem compostos de apartamentos e museus locais. Algumas comunidades incluem muitos edifícios de apartamentos de vários andares para fornecer moradias adequadas dentro da área local, ou para atender às necessidades habitacionais de uma comunidade em crescimento.

Para um engenheiro que é novo na concepção de edificações de vários andares é importante que sigam uma sequência lógica através das várias etapas do processo de projeto. As regras de ouro são importantes dentro de cada passo, para ajudar o designer a chegar de forma rápida e eficiente a uma solução sensata para um determinado conjunto de restrições. Também é importante que o designer entenda alguns princípios abrangentes de bom projeto, para que o resultado não seja apenas sensato, mas também "*belo*". Os principais tipos de carga são o auto-peso da estrutura (não componentes estruturais), cargas impostas sobre o piso, carregamento ambiental, incluindo chuva, vento e neve, e cargas adicionais induzidas causadas por imperfeições e oscilação da edificação.



O sistema estrutural é influenciado principalmente pelo meio de estabilizar o edifício. Para edifícios de até 8 andares de altura, a amarração vertical é preferida, mas para edifícios mais altos, suportes de concreto e amarrações de aço, estrategicamente colocados são geralmente adotados. Para edifícios ultra-altos, vários tipos de sistemas externos de amarração devem ser usados. Tamanhos de elevadores e velocidades de movimento, também se tornam considerações importantes pa-

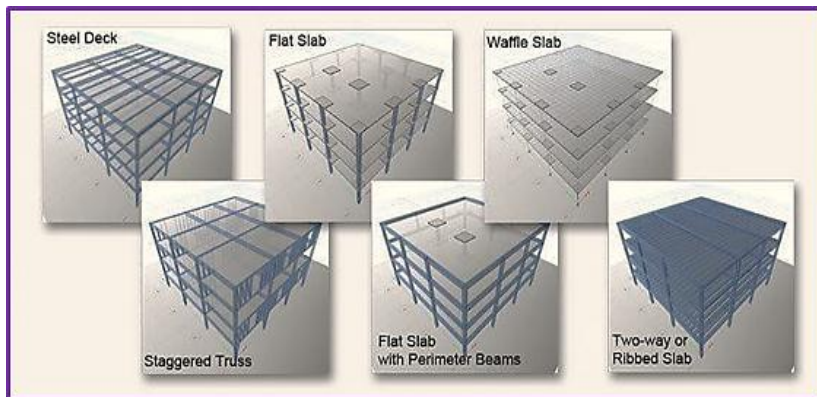
ra edifícios altos. Conforme o Regulamento de Segurança contra Incêndios, o uso de sprinklers pode ser necessário para edifícios de mais de 8 andares.

Uma característica da construção emoldurada em aço é que as partes constituintes da estrutura são geralmente fabricadas fora do local, com todos os benefícios de qualidade e velocidade estão associados. A maior implicação disso, no entanto, é que o projeto deve ser substancialmente completo antes do início da fabricação. Por isso, é importante que o designer siga uma sequência lógica, como voltar atrás e rever decisões anteriores de projeto, uma vez que outras partes envolvidas já seguiram em frente, pois projetar partes muito diferentes dos componentes de fabricação são muito caros.

Outros aspectos incluem restrições logísticas e de altura. Em um centro urbano congestionado, elementos pré-fabricados podem ser atraentes; para minimizar o número de veículos necessários para trazer todos os materiais para o local. No entanto, se as rotas de acesso são de largura limitada, ou têm outras características particulares, essas condições podem impactar no tamanho dos componentes, ou subestruturas que podem ser entregues. Se houver uma restrição na altura geral de um edifício, pode favorecer o uso de soluções de piso raso, embora o vão seja menor do que outras opções de aço, para minimizar a profundidade do piso e, portanto, maximizar o número de pisos a serem acomodados dentro da altura geral.

A grade estrutural pode ser definida principalmente por um espaçamento regular de colunas, com vigas primárias entre as colunas, vigas secundárias que se estendem entre as vigas primárias e lajes de piso que se estendem entre as vigas secundárias. Quando possível, as vigas devem ser dispostas em um *arranjo ortogonal* para fornecer placas retangulares do pi-

so, pois este arranjo permite que simples detalhes de conexão ortogonal entre vigas e colunas sejam adotados. As colunas em edifícios de vários andares são geralmente de perfis laminados a quente. Seções retangulares ou circulares ocas também podem ser usadas, mas as conexões se tornam mais complexas do que seções transversais abertas.



A grande maioria das esquadrias de aço são projetadas como "*simples*", o que significa que as vigas e colunas se comportam como membros desconectados (não há continuidade momentual entre elas). O aço funciona bem sob tensão, mas só funciona bem na compressão quando a flambagem é muito bem prevenida. Quando a amarração é configurada, só precisa resistir à tensão (quando uma amarração em X entra em uma estrutura, os membros estarão sob tensão quando o vento soprar de qualquer lado). No entanto, é sempre possível usar cross-flats (chapas de aço), quando uma amarração deve funcionar sob compressão, como seções ocas.

As vigas compostas são adequados para uma construção simples porque funcionam bem no "*arqueamento*" (contando com a laje de concreto sob compressão), mas não tão bem