

Sistemas estruturais II

Sistemas estruturais II

Ana Paula Vedoato Torres

© 2017 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Alberto S. Santana
Ana Luccia Jankovic Barduchi
Camila Cardoso Rotella
Cristiane Lisandra Danna
Danielly Nunes Andrade Noé
Emanuel Santana
Grasiele Aparecida Lourenço
Lidiane Cristina Vivaldini Olo
Paulo Heraldo Costa do Valle
Thatiane Cristina o Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Bárbara Nardi Melo Carolina Asensio Oliva

Editorial

Adilson Braga Fontes André Augusto de Andrade Ramos Cristiane Lisandra Danna Diogo Ribeiro Garcia Emanuel Santana Erick Silva Griep Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Torres, Ana Paula Vedoato

T693s Sistemas estruturais II / Ana Paula Vedoato Torres.

Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A. 2017.
 176 p.

ISBN 978-85-522-0198-4

1. Engenharia de estruturas. I. Título.

CDD 624.1

Sumário

Unidade 1 Estrutura e propriedades físicas da madeira	7
Seção 1.1 - Características da madeira	9
Seção 1.2 - Propriedades do material	22
Seção 1.3 - Sistemas estruturais para madeira	35
Unidade 2 Propriedades mecânicas e dimensionamento de peças de madeira	53
Seção 2.1 - Propriedades mecânicas da madeira	55
Seção 2.2 - Ligações de peças estruturais	68
Seção 2.3 - Dimensionamento de peças em madeira	80
Unidade 3 Estrutura de aço: utilização e classificação	93
Seção 3.1 - Propriedades do aço	95
Seção 3.2 - Peças confeccionadas em aço	108
Seção 3.3 - Sistemas estruturais para aço	119
Unidade 4 Dimensionamento e detalhamento de elementos de aço	135
Seção 4.1 - Ações e segurança nas estruturas	137
Seção 4.2 - Perfis compostos e simples	149
Seção 4.3 - Dimensionamento de peças metálicas	162

Palavras do autor

Seja bem-vindo, caro acadêmico!

Nesta unidade curricular estudaremos o uso da madeira e do aço como elementos de construção nas estruturas. Tanto a madeira como o aço possuem características favoráveis ao seu uso: a madeira, por exemplo, apresenta uma excelente relação de resistência/peso, enquanto o aço possui uma precisão milimétrica em sua fabricação. Com esta pequena apresentação do material, já podemos imaginar uma estrutura leve, quando feita de madeira, e uma estrutura executada com alta velocidade, devido à perfeição de suas peças, quando feita de aço.

Conhecer as características dos materiais e as tecnologias faz com que possamos utilizá-los de forma a aproveitar seu potencial máximo, com melhor custo-benefício. Isto requer dedicação na busca do conhecimento, tempo de leitura e estudo sobre os materiais que se deseja trabalhar.

Na primeira unidade, que se encontra a seguir, estudaremos as estruturas e propriedades físicas da madeira, pois esse tipo de conhecimento proporciona a escolha de fatores de segurança adequados que influenciam diretamente na parte estética, isto é, na altura dos elementos, como também no custo final do projeto.

Na segunda unidade, aprenderemos quais são as propriedades mecânicas e o dimensionamento das peças de madeira. Veremos a forma como o material se comporta quando idealizamos um projeto, o tamanho do vão escolhido, como as peças se unem entre si, pois esses são alguns dos fatores que influenciam no resultado final do projeto.

Na terceira unidade, trabalharemos com um outro material, o aço. Veremos suas principais utilizações e classificações, conheceremos seu processo de fabricação, sua composição química e os diferentes tratamentos, que variam em função da aplicação final.

Na última unidade, por sua vez, voltaremos nosso olhar para o dimensionamento e o detalhamento das estruturas de aço. A forma de elaborar o projeto influencia totalmente no seu dimensionamento e detalhamento, assim a integração da Arquitetura e da estrutura

devem ser pensadas desde o início. Além disso, saberemos, nesta última etapa, como dimensionar os elementos metálicos e como eles se unem entre si

É importante enfatizar que o dimensionamento, tanto da madeira, como do aço, deve sempre atender às recomendações das normas vigentes do país em que é feita a construção, pois é essa normatização que determina como devem ser calculadas as peças estruturais e como devem ser definidas as dimensões.

Assim, caro aluno, dedique-se a conhecer cada material com o qual trabalhará, porque isto lhe trará capacidade técnica para qualquer tipo de projeto que deseja conceber. A madeira e o aço são um dos materiais mais importantes aplicados nas mais diversas construções pelo mundo e, conhecendo-os profundamente, você terá a oportunidade de fazer projetos marcantes e inovadores.

Estrutura e propriedades físicas da madeira

Convite ao estudo

A madeira é um material tão versátil e de beleza única e traz conforto e durabilidade, quando utilizada e tratada corretamente. Para fazer um projeto arquitetônico com essas características, devemos compreender com profundidade o material utilizado.

Nesta unidade, conheceremos a estrutura da madeira e suas propriedades físicas, que nos permitem entender como escolher o tipo de madeira de construção correta para o nosso projeto idealizado. É possível notar que a madeira é um elemento amplamente usado nas estruturas, mas que poderia ainda mais ser explorada em projetos no Brasil. Dentre suas diversas vantagens, destaca-se por ser um dos materiais mais flexíveis, de fácil manuseio e definição de formas e dimensões, além de ser encontrado em abundância em nosso país.

Agora imagine-se como responsável pela elaboração do projeto arquitetônico de uma residência de alto padrão, considerando que o cliente conhece os mais variados materiais e quer sua opinião sobre o que utilizar. Além disso, o proprietário pede que você inclua no projeto elementos em madeira, como um telhado aparente, pilares na sala e os acabamentos.

Pensando nisso, quais aspectos você deverá levar em conta para iniciar seu projeto?

Quando conhecemos as propriedades e tecnologias utilizadas nos materiais, passamos confiança ao cliente. Oferecer uma gama de opções, com conhecimento, requer muita dedicação ao estudo do que está no mercado.

Sabendo-se disso, qual categoria de madeira usar? Será que

esta madeira já está tratada e seca?

Um dos aspectos mais importantes no seu relacionamento com o cliente é a satisfação no futuro. Utilizar madeiras inadequadas para o esforço que elas sofrerão na estrutura ao longo dos anos ou elementos sem tratamento pode acarretar uma grande intervenção na residência, o que exigirá substituição da peça.

Além disso, é preciso pensar sobre a aparência da estrutura. Então, qual é a forma que se deseja: treliçada ou com vigas? Os elementos de madeira estarão do lado externo da casa, sujeitos à exposição da água?

O conhecimento é fundamental para a elaboração do seu projeto com êxito.

Seção 1.1

Características da madeira

Diálogo aberto

Na elaboração da concepção do projeto arquitetônico, devemos levar em conta alguns aspectos, dentre os quais: conhecer o material com o qual está trabalhando, para que você possa tanto oferecer uma gama de variações do uso do material ao cliente, como também saber cobrar das empresas fornecedoras quais características são importantes para garantir um projeto com êxito.

Você foi contratado para elaborar um projeto arquitetônico, e o proprietário solicitou que a estrutura fosse executada em madeira. Dentre suas funções, você deverá escolher o tipo de madeira de construção que deseja para sua estrutura, verificar suas características e certificar-se de que é fácil obtê-la.

Os tipos de madeira são muito variados, contexto que favorece a disponibilidade para os no momento necessário dentro do cronograma da obra. O mercado de trabalho hoje exige o conhecimento, razão pela qual conseguir fazer a escolha correta da madeira baseada nas suas características e saber identificar seus defeitos para exigir qualidade dos seus fornecedores é primordial para início do projeto.

Não pode faltar

Conceituação sobre sistemas construtivos de madeira

Nas últimas décadas, o uso da madeira como material estrutural cresceu substancialmente. É possível acompanhar uma nova onda de descobertas e usos da madeira, principalmente na Europa e nos Estados Unidos da América. O avanço na criação de novos elementos e métodos é grande e está em expansão, o que faz com que seu uso seja mais abrangente.

O arranjo da estrutura interna destes novos produtos pode garantir um excelente desempenho estrutural. Entre eles é possível citar a madeira laminada, cujo método de produção procura minimizar ou até eliminar os defeitos naturais da madeira, como os nós e as fissuras, devido ao alto controle de qualidade na sua fabricação.

Vale salientar que essas novas tecnologias desenvolvidas estão apoiadas pela sustentabilidade e preocupação com o meio ambiente e um exemplo disso são as modalidades pré-fabricadas em madeira e seus derivados, que trazem rapidez e pouco desperdício de material, pois seus ambientes são modulados.

 \Leftrightarrow

Reflita

Em muitos locais, as estruturas de madeira têm sido concebidas por carpinteiros, mas isso não é o ideal. Embora muitas vezes sejam bemintencionados, não estão preparados para esta função. Por essa razão, sugerimos que sempre contrate empresas que têm um responsável técnico qualificado e que lhe forneça a responsabilidade técnica pelo dimensionamento das peças. Você considera que terá a mesma qualidade e segurança quando o trabalho for feito por um carpinteiro e não por uma empresa especializada?

Histórico sobre estruturas de madeira

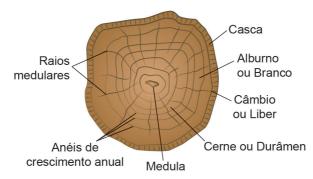
A madeira sempre foi importante para o homem na construção de suas edificações e provavelmente é o mais antigo material utilizado, devido à sua disponibilidade e à facilidade de manuseio. Pode-se encontrar vestígios das construções em madeira em todos os lugares do mundo, pois há registros de uso desde os primórdios das civilizações. Durante séculos, antes da era do concreto armado, a madeira era um dos principais materiais empregados na construção civil.

No Brasil, sua aplicação mais comum é em coberturas, como é o caso dos telhados residenciais, industriais, comerciais e rurais, e também em elementos usados na fase de escoramento, como os pontaletes de eucalipto empregados como cimbramentos de estruturas de concreto e em estruturas portuárias. Do mesmo modo, observa-se o seu uso crescente em componentes para a edificação, como portas, painéis divisórios, lambris, pisos, etc., e uma das formas de utilização que podemos ver até os dias atuais ocorre nos países frios, graças à sua característica de bom isolante térmico. Países como Estados Unidos da América, alguns da Europa e Japão têm a madeira como um dos elementos fundamentais na construção de suas casas.

Tipos de madeiras de construção e tratamento

Antes de observarmos mais a fundo as madeiras utilizadas na construção civil, devemos conhecer um pouco sua formação estrutural. As árvores produtoras de madeira de construção são do tipo **exogênico**, que crescem pela adição de camadas externas, sob a casca, conforme Figura 1.1. O cerne é o local de preferência de retirada da madeira de construção, pois é mais durável. Já a madeira do alburno é a mais sensível a decomposição por fungos, mas por outro lado aceita a penetração de agentes protetores, como o alcatrão. Os troncos das árvores crescem pela adição de anéis em volta da medula e sua idade é medida com a contagem dos anéis (PFEIL; PFEIL, 2003).

Figura 1.1 | Seção transversal de um tronco e suas camadas



Fonte: Pfeil e Pfeil (2003).

Devido à sua formação natural, a madeira apresenta uma grande quantidade de defeitos. Essas irregularidades alteram seu desempenho e podem prejudicar sua resistência ou durabilidade, como suas peças virem a apresentar nós, imperfeições de onde se originaram os galhos e nos locais onde isso ocorre suas fibras sofrem um desvio de direção e também podem surgir fissuras, aberturas em razão da secagem. O encurvamento do tronco durante seu crescimento alterna o alinhamento das fibras, podendo influenciar na resistência, além de inúmeras outras deformidades, por exemplo: abaulamento, arqueadura, etc.

Para que possamos fazer um bom aproveitamento, tanto estético, quanto sustentável, do material, devemos conhecer os tipos de madeiras de construção disponíveis no mercado e saber que elas são classificadas em duas categorias: maciças e industrializadas. Essas

duas categorias possuem subdivisões:

- Madeiras maciças:
 - Bruta ou roliça.
 - Falquejada.
 - Serrada.
- Madeiras industrializadas:
 - Compensada.
 - Laminada (ou microlaminada) e colada.
 - Recomposta.

Madeira roliça

A madeira bruta ou roliça é empregada em forma de tronco. Após a década de 1960, o Brasil começou a utilizar os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* no seu programa de reflorestamento e até hoje eles são amplamente empregados na construção civil. Entretanto. possuem durabilidade natural que varia de baixa a moderada. Seu uso mais frequentemente ocorre em construções provisórias, conforme Figura 1.2, como escoramento, estacas, postes, moirões, colunas, etc. No caso do eucalipto, por exemplo, o cerne é impermeável ao tratamento preservativo e pode ser deteriorado por organismos xilófagos em contato com o solo, em caso de condições extremas.

As árvores quando utilizadas na forma bruta devem ser abatidas na época da seca, devido ao menor teor de umidade do tronco. Retirase a casca, e o tronco deve secar em local arejado e protegido do sol.





Fonte: arquivo pessoal do autor.

As madeiras que não são secadas corretamente apresentam rachaduras nas suas extremidades. Isso também ocorre porque a evaporação nas extremidades é mais rápida, pois suas fibras longitudinais estão abertas. Quando seu uso não é provisório, recomenda-se revestir as seções de corte com alcatrão ou outro impermeabilizante que retarde a evaporação. As madeiras na forma bruta devem ser empregadas quando estiverem nas condições meio seca ou seca ao ar.

Madeira falquejada

A madeira falquejada é adquirida de troncos por corte com machado. Se o tronco possuir dimensões grandes, pode-se obter seções de até 30 cm x 30 cm ou até mesmo 60 cm x 60 cm. Ocorrem algumas perdas do tronco no corte das partes laterais da peça. Geralmente, é mais utilizada em estacas, cortinas cravadas, pontes, etc.

Madeira serrada

A madeira serrada preferencialmente deve ser abatida ao atingir a maturidade, isto é, quando o cerne ocupa a maior percentagem do tronco, e então ela será de melhor qualidade. Esse tempo varia conforme a espécie, podendo chegar a cem anos, e seu comprimento final é determinado durante o abate.

O corte do tronco em peças deve ocorrer o mais rápido possível após a árvore ser cortada, para que não ocorra defeitos devido à secagem da madeira. Os troncos são cortados em serras especiais, de fita contínua, nas espessuras desejadas em lâminas paralelas. Tais espessuras procuram obedecer, em geral, às dimensões padronizadas para o comércio (Figura 1.3).

Figura 1.3 | Laje em madeira executada com vigas de dimensões padronizadas



Fonte: arquivo pessoal do autor

O transporte e o manejo das peças podem limitar seu tamanho, em função dos tipos de caminhões e do despejo das peças. Encontramse geralmente peças de 4 m a 6 m, porém, antes do uso, a madeira serrada precisa passar por um período de secagem para redução de sua umidade, processo que pode acarretar deformações nas peças. Por isso, é importante utilizar a madeira já seca em sua estrutura, a fim de evitar transtornos futuros, como empenamentos e rachaduras.

A melhor forma de secar as peças consiste em empilhá-las, colocando separadores para que haja circulação de ar entre elas, protegendo-as também das intempéries. As madeiras macias levam de um a dois anos para secarem; e as madeiras de lei, de dois a três anos. Há tecnologias para acelerar o processo, que consiste na circulação de ar quente entre as peças, entretanto, a temperatura e a umidade devem ser controladas para que de não ocorra rápido demais, levando à perda das qualidades da madeira.

Madeira compensada

É considerada o produto mais antigo industrializado. É formada pela colagem de lâminas finas de madeira, montadas uma sobre as outras com as fibras orientadas a 90 graus e com as direções das fibras alternadamente ortogonais.

Essas lâminas são obtidas pelo torneamento do tronco continuamente, com comprimento padronizado. Filmes adesivos são colocados entre as camadas para maior aderência entre elas, e a colagem é então feita sob pressão, a quente ou a frio.

Graças a essa configuração de suas camadas, as chapas compensadas possuem boa resistência e rigidez quando sujeitas a esforços no plano, funcionando bem como chapas e placas (Figura 1.4). O produto final acaba sendo mais isotrópico que a madeira maciça.





Fonte: arquivo pessoal do autor.

Todavia, essas chapas estão sujeitas à ação da umidade e ao aumento da temperatura, e podem ocorrer esfoliações das camadas quando não protegidas corretamente.

Madeira laminada e colada

A madeira laminada e colada é o produto estrutural de madeira mais importante nos países da Europa e da América do Norte. É obtida a partir da montagem de peças serradas com espessuras de 15 mm a 50 mm de espessura, com uma camada de filmes adesivos (cola) entre elas, unidas sob pressão.

As peças prontas podem alcançar comprimentos acima de 40 m e altura superior a 2 m, formando grandes vigas, em geral de seção retangular. Utilizam-se emendas ao longo da altura da peça, e as menores que as formam têm em média 5 m.

A madeira destinada a este processo deve ser de baixo teor de umidade para garantir que o adesivo tenha um bom desempenho e também para que as peças tenham longa duração. Os tipos de cola e as técnicas de colagem também são fundamentais para a durabilidade do produto. As colas sintéticas são indicadas para uso externo, quando sujeitas a intempéries.

Elas possuem algumas vantagens. Além de permitirem a fabricação de grandes peças às quais a madeira serrada tem limitação, possibilitam também a redução dos problemas provenientes da secagem, pois suas peças têm grande controle de qualidade e são tratadas em condições controladas; e uma vantagem importante para os projetos arquitetônicos é que viabilizam construir peças de eixo curvo para arcos, cascas, etc. (Figura 1.5).

Figura 1.5 | Peça de eixo curvo em madeira laminada e colada em teto do Estádio Olímpico Oval Richmond



Fonte: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5965560>. Acesso em: 6 jun. 2017.

Madeira recomposta

A madeira recomposta é formada a partir de resíduos de madeira em flocos, lamelas e partículas, moldadas em barras ou chapas. Usualmente são denominadas como chapas de madeira aglomerada, MDF (Medium Density Fiber) ou HDF (High Density Fiber).

Características físicas

Anisotropia

A madeira é um material anisotrópico, isto é, apresenta comportamento diferente em três direções principais: longitudinal, radial, tangencial. Por exemplo, a madeira incha e contrai desigualmente nas diferentes direções, um dos motivos que acarreta

os defeitos na madeira, como rachaduras e torções, pois o material se deforma em proporções diferentes nas três direções.

Umidade

A umidade tem grande importância sobre as propriedades da madeira. Quando exposta ao meio ambiente após abatimento, a madeira da árvore tem perda contínua de sua umidade, devido à evaporação da água contida nos lumens. Após esse processo, a madeira atinge seu ponto de saturação (PS). A NBR 7190 (ABNT, 1997) adota como referência 25% para o PS. Após o PS, a madeira continua a evaporar, mas com menor velocidade, até atingir o nível de umidade de equilíbrio (UE). A NBR 7190 (ABNT, 1997) trabalha com valor de EU=12%, na temperatura de 20°. A NBR 7190 apresenta todos os procedimentos de ensaio para determinação da umidade.

Um aspecto importante a ser levantado é que a evaporação da água diminui a densidade da madeira, e isso reduz o custo com o transporte. Além disso, adere melhor aos acabamentos e reduz a proliferação de fungos.

Reflita

Você já percebeu que algumas madeiras possuem cheiro desagradável, principalmente quando estão úmidas? Por isso que conhecer a madeira que escolheu para o seu projeto é muito importante. Você gostaria de sentir um cheiro desagradável em sua casa?

Dilatação linear

A madeira tem seu valor sempre positivo em todas as direções quando está seca, pois se expande com o aquecimento e se contrai com o esfriamento. O coeficiente de dilatação longitudinal varia de 0.3×10^{-5} a 0.45×10^{-5} por °C e na direção longitudinal ou radial este valor varia com o peso específico da madeira, sendo pra madeiras duras 4.5×10^{-5} °C e para madeiras moles, 8.0×10^{-5} °C.

Deterioração da madeira

A madeira está susceptível a ataques biológicos, como cupins, brocas, fungos, etc. Ao optar-se pelo uso da madeira, deve-se, na medida do possível, conceber a obra de tal forma a expô-la à menor umidade possível para que não haja deterioração.

Alguns tratamentos são possíveis, mas eles não podem ser executados em todas as espécies. Por isso, é de vital importância para a durabilidade do seu projeto escolher a espécie mais adequada. Podese buscar nas tabelas de riscos biológicos das espécies se a madeira escolhida é durável naturalmente aos ataques e/ou se ela contém porções de alburno. O alburno de todas as espécies de madeira não é considerado durável.



Para evitar a deterioração rápida das peças, devem ser tomadas precauções, tais como: tratamento preservativo adequado, facilidade de escoamento das águas e arejamento de faces vizinhas e paralelas. Todas as peças da estrutura devem ser projetadas de modo a oferecer facilidade de inspeção, segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997).

Sem medo de errar

Como tomar decisões na escolha do material certo para o projeto? Isso deve acontecer quando entendemos o que o cliente espera como resultado daquilo em que ele está investindo. Iniciaremos por aquilo que o cliente deseja para sua nova casa quanto à escolha do tipo de madeira. Para isso, você deve questioná-lo sobre como ele imagina os ambientes: com aspecto mais rústico? Assim, podemos utilizar a madeira no seu estado mais bruto, isto é, roliça ou falquejada; um estilo mais tradicional? Podemos escolher então as peças mais comerciais, as serradas; estruturas curvas e com elementos diferenciados? Podemos optar pelas laminadas coladas.

Depois de escolher com seu cliente o que ele deseja e o quanto pode investir nesse projeto, deve-se verificar com a empresa fornecedora do material por qual tratamento as peças passaram e se já estão completamente secas, pois, como estudado nesta seção, elas podem demorar até dois ou três anos para atingir a umidade certa,

caso não tenham sido secadas artificialmente. Pedindo à empresa que lhe dê um comprovante desses testes de umidade e do tratamento feito, você não terá problemas futuros com essa estrutura. Além disso, um aspecto importante a ser verificado também é se o tipo de madeira tem disponibilidade imediata ou não para entrega. Caso não esteja disponível em estoque, quanto tempo será necessário até a sua entrega na obra? Estas decisões devem ser levadas em conta, pois, devido à demora de entrega de algumas madeiras, a compra deve ser feita antes do início da execução da obra.

Avançando na prática

Estruturas modernas em madeira

Descrição da situação-problema

Uma nova ala de um shopping foi planejada para ser feita em madeira. O projeto contempla estruturas curvas, orgânicas e com grandes vãos. Você é contratado para escolher o tipo de madeira a ser usado no projeto e verificar os parâmetros principais da escolha desse material.

Resolução da situação-problema

Como aprendido nesta seção, estruturas curvas, com grandes vãos, devem ser executadas com as madeiras laminadas e coladas. Essa tecnologia no uso da madeira traz versatilidade e maior liberdade ao projeto arquitetônico, além da garantia de uma qualidade maior devido à homogeneidade das peças.

Um dos parâmetros importantes é garantir que as peças estejam na umidade correta e que a cola utilizada seja sintética, pois isso garante uma durabilidade maior para estrutura. Não se esqueça de sempre contratar um calculista especializado em estruturas de madeira para dimensionar o projeto, a fim de garantir que as peças sejam projetadas com segurança aos seus usuários.

Faça valer a pena

1. A madeira foi um dos primeiros materiais a serem aproveitados pelo homem para a construção, pois é parte dos troncos e ramos das árvores. Com o corte do tronco, podemos ter inúmeros produtos, como tábuas, ripas ou até mesmo o tronco no seu modo bruto após a retirada da casca. Por ser um produto de extração natural, e devido à sua formação, ela pode apresentar uma grande quantidade de defeitos. Por conta dessas irregularidades, seu desempenho pode ser alterado e sua resistência ou durabilidade podem ficar prejudicadas.

Assinale a alternativa que lista quais são esses principais defeitos encontrados na madeira:

- a) Nós, fendas e durabilidade.
- b) Contato com água.
- c) Nós, fendas, abaulamentos e arqueaduras.
- d) Intempéries.
- e) Contato com água doce e salgada.
- **2.** Você está desenvolvendo um projeto e seu cliente pede para que utilize o tipo de madeira mais fácil de se encontrar no mercado, pois ele tem urgência na execução da obra e a madeira será destinada apenas para escoramento das vigas de concreto.

Assinale a alternativa correspondente ao tipo de madeira retratada no texto anterior:

- a) Recomposta.
- b) Roliça.
- c) Laminada e colada.
- d) Compensada.
- e) Serrada.
- **3.** Dentre as características físicas da madeira, a umidade é a mais relevante e deve ser sempre verificada se está dentro dos padrões normativos antes da construção. Você comprou uma quantidade de peças, entretanto em uma delas verificou-se que estava com a umidade maior que a esperada, em torno de 28%, e a sugerida pela norma a 20°C é de 12%.

Fonte: ABNT. NBR 7190 – **Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

Qual a variação necessária no teor de umidade da madeira para que ela possa ser usada na obra sem que ocorram defeitos futuros?

- a) 3%.
- b) 18%.
- c) 40%.
- d) 10%.
- e) 16%.

Seção 1.2

Propriedades do material

Diálogo aberto

Na seção anterior, estudamos os conceitos das estruturas de madeira, sua história, os principais tipos de madeira e suas características físicas. Nesta seção, conheceremos as principais propriedades da madeira que interferem no projeto de uma estrutura, tais como: densidade, resistência, rigidez e umidade, e aquelas que devem ser asseguradas para um bom êxito do nosso projeto, como: durabilidade e resistência ao fogo.

Além disso, aprenderemos um pouco sobre as amostras de madeira e a maneira como fazer os ensaios para obter os valores representativos destas proriedades, além dos passos a serem seguidos para chegar aos resultados com êxito.

É importante se lembrar de que a madeira é um elemento amplamente usado nas estruturas, sendo um dos mais flexíveis, de fácil manuseio e definição de formas e dimensões, razão pela qual sempre o encontraremos em algum projeto.

Para contextualizarmos a importância desta seção, imaginaremos um caso prático: você já observou os pilares que seguram o píer nas praias ou nos rios para os barcos atracarem? Essas construções são geralmente feitas de madeira e passam a maior parte do tempo submersas. Toda a estrutura deve passar por um tratamento para poder ficar ora dentro da água quando a maré sobe, ora fora dela quando a maré desce, além de estar sujeita à umidade todo o tempo.

Além disso, a madeira precisa ter uma boa resistência ao choque para suportar as ondas que batem sobre ela e os barcos quando se aproximam para atracar. Imagina o que aconteceria se ela se desmontasse quando o barco batesse nela?

Com esse caso acima, podemos aprender muitos conceitos e aplicá-los nos mais diversos casos, como a importância da água na estrutura e a resistência de suas peças de acordo com o esforço aplicado nelas.

Lembre-se de que você é o responsável pela elaboração do projeto

arquitetônico de uma residência, razão pela qual fazer um estudo das influências do ambiente em sua estrutura e levantar os esforços que ela sofrerá fará com que você tenha um projeto bem elaborado.

Ainda como responsável por este projeto, você deverá analisar quais propriedades são indispensáveis para a madeira, tendo em vista as peças que deseja projetar. Cada tipo de madeira tem a sua vantagem e seu uso onde há o aproveitamento máximo de suas qualidades com o melhor custo-benefício, motivo pelo qual saber estes dados é fundamental para a elaboração do seu projeto com êxito. Não hesite em conhecer tudo sobre este versátil material, pois isso lhe abrirá muitas portas quando estiver trabalhando.

Não pode faltar

As propriedades da madeira têm sua condição determinada por sua estrutura anatômica, sendo diferenciadas por seu comportamento em três direções: longitudinal, radial e tangencial. As propriedades que veremos a seguir normalmente dependem da direção analisada e se relacionam entre elas.

As madeiras são classificadas geralmente pela sua densidade, fator que associa sua massa com seu volume, e sua resistência determinará suas dimensões no projeto e qual madeira é adequada para certos esforços. Já a rigidez tem relação com a tensão aplicada e com a deformação do material, enquanto a umidade influencia nas outras propriedades, principalmente na resistência e na rigidez.

Densidade

A densidade, ou massa específica, é uma das propriedades mais importantes da madeira, pois serve de referência para sua classificação. Variando de espécie para espécie, ela determina seu uso nos mais diversos meios, como na construção civil, na fabricação de móveis, na indústria de papéis, etc.

Para o cálculo dos elementos da estrutura, sua determinação é fundamental, pois seu peso próprio é estimado em função do valor da densidade da espécie utilizada, podendo ser encontrada em tabelas específicas.

A densidade, chamada pelo termo prático "densidade básica" ($ho_{
m bas}$)

da madeira, segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), é obtida pelo quociente da massa seca (m_s) pelo volume saturado (V_{sat}).

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} (g / cm^3)$$



Exemplificando

Considere uma peça de madeira seca em estufa que pesa 400 g com um volume saturado. Após submersa em água de 520 cm³, aplicando na fórmula, teremos:

$$\rho_{bas} = \frac{400}{520} = 0.77(g / cm^3)$$

Portanto, essa madeira tem uma densidade básica de 0,77 g/cm³.

Para encontrar esses valores de massa seca e saturada, podemos seguir as especificações da NBR 7190 (ABNT, 1997). A massa seca é determinada mantendo-se o corpo de prova em estufa a 103 °C até que a massa do corpo de prova permaneça constante. O volume saturado é determinado em corpo de prova submersos em água até atingirem peso constante.



Assimile

O conceito físico de densidade é a quantidade de massa contida em uma unidade de volume.

Resistência

Segundo a norma de Projetos de Estruturas de Madeira, NBR 7190 (ABNT, 1997), a resistência é a aptidão de a matéria suportar tensões. Um dos elementos anatômicos responsáveis pela determinação da resistência na madeira é a fibra, para as madeiras do tipo dicotiledôneas e a traqueíde, no caso das coníferas.

Quanto maior for a densidade, maior será a quantidade de madeira por volume e, consequentemente, haverá o aumento da resistência. Já a umidade da madeira aumenta a densidade aparente e reduz a resistência mecânica. A madeira também é bem resistente a choques, capacidade do material de absorver rapidamente a energia pela deformação do elemento.

Estude mais adiante na disciplina os aspectos qualitativos das

propriedades mecânicas, dentre as quais as peças tracionadas e comprimidas.



A resistência da madeira varia conforme a orientação das fibras. A direção longitudinal (ou axial), isto é, paralela às fibras, é a que apresenta os maiores valores.

Rigidez

A rigidez, segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), é medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico-linear. Ela está relacionada com a tensão aplicada e a deformação elástica resultante, isto é, quando aplicamos uma força em uma determinada área (tensão), ela sofrerá uma deformação.



Essa deformação é considerada elástica, pois alguns materiais podem voltar ao seu estado original após a retirada da força aplicada. Um exemplo prático é quando puxamos um elástico; se o soltarmos, ele volta ao seu estado original, entretanto isso depende do tempo em que o elástico é segurado e da força aplicada nele.

Para entender melhor esta definição, devemos compreender o comportamento da madeira que apresenta três planos de simetria elástica preferenciais nas direções longitudinal, radial e tangencial. O eixo longitudinal é paralelo à direção da fibra, o eixo radial é normal aos anéis de crescimento e o eixo tangencial é tangente aos anéis de crescimento, o que caracteriza a madeira como um material ortotrópico. Nessas três direções, a madeira apresenta um comportamento diferente quanto ao seu módulo de elasticidade.

Apesar de a madeira ter esse comportamento diferente da rigidez nas três direções, para o cálculo de um projeto de estruturas é desconsiderada a rigidez na direção tangencial. Há uma relação entre os módulos de elasticidade na direção normal ($\boldsymbol{E_{w90}}$) e a direção paralela às fibras ($\boldsymbol{E_{w0}}$).

$$E_{w90} = \frac{1}{20} E_{w0}$$

O módulo de elasticidade interfere nas outras propriedades da madeira. Quanto maior for o seu valor, maior será a resistência da madeira e menor será a sua deformabilidade. Quanto menor for seu valor, as qualidades para construção civil serão piores.



Como a umidade influencia na rigidez da madeira, utilizam-se coeficientes de modificação (\pmb{k}_{mod}) para valores de projeto, a fim de corrigir este problema.

Compreendemos na seção anterior que as propriedades da madeira são determinadas para uma condição ideal, com teor de umidade de 12%. Para aplicarmos em ambientes com outros teores de umidade, as propriedades físicas da madeira devem ser corrigidas. Para determinar o teor de umidade de uma peça, deve-se pesar uma amostra na condição ambiente e depois pesar a mesma amostra após secagem em estufa.

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \cdot 100$$

Onde \emph{m}_{i} é a massa da madeira na condição ambiente e \emph{m}_{s} é a massa da madeira após secagem em estufa.

Principalmente nas propriedades de resistência e rigidez descritas acima, a umidade tem grande interferência, entre as quais está a deformação da estrutura, que varia com a classe de umidade em que ela se enquadra. Em um píer, como o da Figura 1.6, já que há momentos em que a madeira está molhada e em outros seca, ela tem um comportamento diferente em cada situação.

Figura 1.6 | Píer em madeira



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/pier-gm504125404-82982635>. Acesso em: 6 abr. 2017.

Para corrigir essa interferência, a NBR 7190 (ABNT, 1997) criou classes de umidade, conforme Quadro 1.1, cuja finalidade é ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas.

Quadro 1.1 | Classes de umidade

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente <i>U_{amb}</i>	Umidade de equilíbrio da madeira U _{eq}	
1	≤ 65%	12%	
2	65% < U _{amb} ≤ 75%	15%	
3	75% < U _{amb} ≤ 85%	18%	
4	<i>U_{amb}</i> > 85% durante longos períodos	≥ 25%	

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 14).



Supondo que uma amostra tenha massa de 550 g em umidade de equilíbrio com o ambiente e após secagem em estufa apresente uma massa de 466 g, sua umidade de equilíbrio será dada por:

$$H = \frac{550 - 466}{466} \cdot 100 = 18\%$$

Esta madeira, portanto, tem 18% de umidade e está na classe de umidade 3, conforme Quadro 1.1 acima.

Essas classes serão utilizadas no projeto de estrutura e aplicadas também para correção das propriedades de resistência e rigidez, por meio dos coeficientes de modificação ${\it k}_{\rm mod}$, que será estudado nas seções sequintes.

Durabilidade

A durabilidade da madeira é relacionada principalmente ao ataque de organismos xilófagos, como insetos, fungos e perfuradores marinhos. Como estudado na seção anterior, a parte do tronco mais utilizada é o cerne, enquanto o alburno é considerado não durável, pois sofre mais ataques por esses organismos. Assim, os tratamentos são voltados para esta parte durável, prolongando a durabilidade natural e ajudando na sua preservação.

Além disso, deve-se procurar usar espécies que sejam naturalmente

resistentes aos ataques e que aceitem os tratamentos, pois nem todos os tipos de madeira podem ser tratados com eficácia.

Vale salientar que, quando a madeira é tratada previamente, ela requer uma menor intensidade de manutenção. No caso de elementos de madeira expostos às intempéries, como a umidade proveniente da chuva e os raios de Sol, deve-se procurar o uso de elementos construtivos que evitem a sua exposição excessiva.

Resistência ao fogo

Uma característica importante da madeira é não apresentar deformações significativas quando exposta a altas temperaturas, qualidade variável de acordo com as espécies, devendo ser sempre verificada.

Apesar de a madeira ser inflamável, os elementos de madeira demonstram um ótimo desempenho se comparados a outros materiais de construção em condições severas de exposição. E ela tem um melhor desempenho quando comparada, por exemplo, às estruturas de aço, que podem entrar em colapso mesmo não sendo um material inflamável.

Dessa forma, devem ser adequadamente projetadas e construídas. Um aspecto que favorece é a espessura da madeira, pois a peça deve ser robusta, e um dos motivos para isso é que, por ser um mau condutor de calor, sua temperatura interna cresce lentamente, não comprometendo a região central das peças e as mantendo íntegras (Figura 1.7). As peças esbeltas já se comportam de forma diferente, podendo atingir seu núcleo mais rapidamente.

Figura 1.7 | Casa de madeira com alta exposição ao fogo e os pilares ainda suportando a cobertura



Fonte: https://goo.gl/Vb8cw6>. Acesso em: 6 abr. 2017.

Para que as peças de madeira durem mais tempo ou possam ter melhor desempenho quando sujeitas a altas temperaturas, podem-se utilizar alguns tratamentos químicos. Com a aplicação de produtos, tais como os retardadores de fogo, que evitam a propagação de chamas e impedem que o fogo se espalhe para outros ambientes, é possível obter um material mais resistente.

Portanto, alguns dos fatores que influenciam no desempenho da madeira quanto à exposição ao fogo é a escolha da espécie, seu arranjo estrutural e o tamanho das peças e os tratamentos químicos disponíveis no mercado.

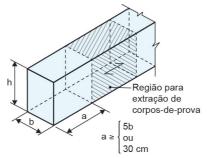
Caracterização

A caracterização das espécies é feita por meio de ensaios, e a maioria se encontra em normas especializadas. Este assunto é importante principalmente quando o arquiteto ou engenheiro precisa enviar amostras para caracterização de seu material, as quais abordaremos nesta disciplina de maneira resumida. No entanto, quem tiver a necessidade de caracterizar seu material, deve procurar as normas referentes ao ensaio com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

As amostras são retiradas para que seja possível determinar a densidade, a resistência, a rigidez e a umidade, entre outras propriedades das espécies. O fundamental é a forma como as amostras são retiradas, pois elas representarão todo o lote a ser investigado. O número mínimo para uma caracterização simplificada é de seis amostras.

As amostras, ou corpos de prova devem ser retiradas aleatoriamente, e nunca duas unidade de uma mesma peça. Também devem ser isentas de defeitos e afastadas da extremidade da peça, conforme Figura 1.8.

Figura 1.8 | Esquema para extração de corpos de prova das peças



Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 47)

Vale salientar que o corpo de prova pode ter uma medida específica, dependendo do ensaio. A maioria dos resultados é apresentada e analisada na forma de valor médio, em um relatório técnico



Reflita

Caso as amostras não sejam retiradas corretamente, você desperdiçará seu material, além do tempo que investiu coletando as amostras. Geralmente o tempo para projeto ou execução é curto, valendo se questionar: você gostaria de ter seu projeto atrasado devido a isso?

Pesquise mais

Na página do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), você poderá pesquisar as informações técnicas sobre madeiras brasileiras e plantadas: http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira/busca>. Acesso em: 25 mar. 2017.

No final da matéria disponível na página do IPT, você encontrará um catálogo das madeiras brasileiras para construção civil. Ele será de grande ajuda nos seus projetos, pois indica as espécies de madeira a serem empregadas em cada grupo de uso na construção civil, como: esquadrias, decorativas, assoalhos, estruturas leves internas, estruturas pesadas internas, entre tantos outros: https://bit.ly/2zojqd9>. Acesso em: 25 mar. 2017.

O site seguinte apresenta dois manuais muito relevantes:

• Uso sustentável da madeira na construção civil.

• Guia para compra de madeira legal, com um apêndice de exemplos de documentos legais na hora de comprar a madeira.

Disponível em: https://bit.ly/2LbzJNo. Acesso em: 25 mar. 2017.

Sem medo de errar

Como responsável por um projeto, você deverá analisar as propriedades da madeira para as peças que deseja projetar. Consideraremos situações possíveis de ocorrer na obra.

Suporemos que a madeira será comprada em alguma madeireira. O primeiro passo é analisar se ela está tratada e qual tratamento foi feito, o qual deve ser eficiente contra os ataques de fungos. Também é necessário verificar se a madeira está seca o suficiente para a umidade e temperatura média anual. Caso não esteja, deve-se buscar uma empresa especializada que possua locais para secagem artificial.

E se houver um segundo caso no qual o proprietário já possui algumas peças de madeira e quer aproveitá-las? Isso é possível, desde que sejam tomadas algumas precauções. Você pode procurar alguém especializado para verificar se a madeira está seca e de qual espécie ela é, mas, se isso não for possível, é preciso que haja a retirada de amostras para obter os dados necessários por meio de ensaios para os futuros cálculos. Com estes dados em mãos, verificaremos se nesta espécie encontraremos a resistência necessária para suportar os esforços previstos.

Outro aspecto importante que aprendemos são as classes de umidade. Conhecendo a umidade da região onde se está trabalhando, encontra-se a umidade em que a madeira deve estar para ser usada na construção. Por exemplo, a umidade de equilíbrio na cidade de São Paulo é em torno de 15,4%, e, caso nossa obra seja realizada em São Paulo, todos os termos relacionados à umidade precisarão de ajustes, pois ela não está na umidade de 12%, a 20°C, como a adotada como padrão das fórmulas. Caso isso não seja verificado, sua construção poderá sofrer danos futuros.

Se você quer garantir uma durabilidade maior para estas peças que está projetando, enfatize sempre em seu projeto a necessidade do uso de tratamentos específicos que prolonguem seu uso, além de

produtos que aumentem sua resistência ao fogo. Devemos fazer o possível para assegurar uma durabilidade mínima, de acordo com a finalidade e o investimento do cliente.

Avançando na prática

Propriedade da madeira: rigidez

Descrição da situação-problema

Você e sua equipe estão projetando a cobertura de uma chácara, o que requer que você coordene todos os trabalhos. Você é então chamado para resolver um problema: a estrutura que está projetando não possui todos dados necessários para seu dimensionamento. Do material que o cliente lhe enviou, somente pode ser retirada uma amostra, pois não há quantidade restante.

O valor fornecido foi apenas do módulo de elasticidade na direção paralela às fibras, de 10.900 Mpa, mas o projetista está precisando do valor do módulo de elasticidade na direção normal. Além disso, existe um outro lote de madeira disponível, com módulo de elasticidade na direção normal (E_{w90}) de 13.094 MPa. Sabendo que, quanto menor for seu valor, as qualidades para construção civil serão piores, qual das madeiras escolherá para este projeto?

Resolução da situação-problema

Como aprendido, há uma relação entre os módulos de elasticidade na direção normal (E_{w90}) e a direção paralela às fibras (E_{w0}).

$$E_{w90} = \frac{1}{20} E_{w0}$$

Como o valor fornecido foi apenas do módulo de elasticidade na direção paralela às fibras ($E_{\rm w0}$) de 10.900 Mpa, precisamos encontrar o valor na direção normal às fibras.

$$E_{w90} = \frac{1}{20} \cdot 10.900 = 545 Mpa$$

Após fornecer o valor ao projetista, deve-se decidir qual dos dois lotes você escolherá. Levando-se em conta apenas o módulo de elasticidade, dentre os valores de 10.900 Mpa e 13.094 MPa, deve-se optar pelo maior valor, pois a madeira terá maior resistência, menor deformabilidade e melhores qualidades para construção civil.

Faça valer a pena

- **1.** A resistência da madeira é uma das propriedades mais importantes, e está relacionada principalmente à densidade e à umidade. Considerando essa afirmação, analise as frases seguintes:
- () Quanto maior for a densidade, maior será a quantidade de madeira por volume e, consequentemente, haverá aumento da resistência.
- () A resistência da madeira aumenta proporcionalmente à umidade.
- () Quanto menor for a densidade, maior será a resistência.
- () A umidade da madeira aumenta a densidade aparente e reduz a resistência mecânica.

Analise as afirmações, considerando (V) para as verdadeiras e (F) para as falsas, e assinale a seguir a alternativa com a sequência correta de indicações (de cima para baixo):

a) V, V, F, V. d) F, V, V, F. b) F, F, F, V. e) V. F, F, V.

c) V. F. V. V.

2. No quadro seguinte, encontramos as umidades máxima, mínima e média de algumas cidades do Brasil, supondo que temos uma madeira que está em equilíbrio com a umidade ambiente.

CIDADES	Umidades de equilíbrio (%)			
CIDADES	Máxima	Mínima	Média	
Belém	21,0	16,6	18,8	
Belo Horizonte	16,1	11,2	13,6	
Curitiba	17,8	15,7	16,7	
Fortaleza	16,6	13,6	15,1	
Goiânia	16,8	9,6	13,2	
Manaus	19,3	14,9	17,1	
Piracicaba	14,6	11,0	12,8	
Porto Alegre	17,4	12,5	14,9	
Recife (Olinda)	17,2	14,6	15,9	
Rio de Janeiro	15,7	14,7	15,2	
Salvador	16,7	15,2	16,0	
São Paulo	17,0	13,9	15,4	

Fonte: Smith (1963, apud GALVÃO, 1975, p. 57).

Utilizando a fórmula a seguir, calcule a umidade de equilíbrio da madeira em uma dada cidade: m - m

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \cdot 100$$

Onde,
$$m_i = 528g \text{ e } ms = 451g$$

Utilizando a umidade de equilíbrio média, em qual cidade essa madeira se encontra?

a) Belém.

d) Manaus.

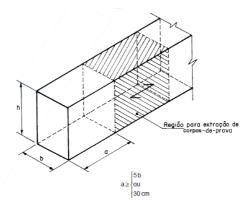
b) Rio de Janeiro.

e) São Paulo.

c) Curitiba.

3. Você recebeu um lote de material para execução de uma ponte. As peças de madeira não foram identificadas e você precisa enviar amostras para um laboratório para que lhe enviem os dados necessários. Observe a figura seguinte que mostra como as amostras devem ser retiradas.

Esquema para extração de corpos-de-prova das peças



Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 47)

Conforme o desenho acima da NBR 7190 (ABNT, 1997), se suas peças têm o lado b=12 cm, qual será o valor do lado "a"?

- a) 52 cm.
- b) 60 cm.
- c) 42 cm.
- d) 30 cm.
- e) 12 cm.

Seção 1.3

Sistemas estruturais para madeira

Diálogo aberto

Na seção anterior, conhecemos as principais propriedades da madeira e suas influências em um projeto de estruturas de madeira. Também aprendemos como retirar amostras para determinar a densidade, a resistência, a rigidez e a umidade, entre outras propriedades das espécies.

Nesta seção, trataremos de alguns conceitos importantes para nosso projeto. Iniciaremos com a definição da tipologia das construções mais utilizadas em projeto e as diferentes ações que atuam sobre elas, isto é, quais cargas agirão quando projetamos uma estrutura. Em seguida, conheceremos quais elementos formam nossa estrutura. Essas definições serão úteis mais à frente na nossa disciplina, pois é em função desse tipo de elemento que serão calculadas e definidas as dimensões.

Outro assunto abordado nesta seção e extremamente relevante para nossos dias são os sistemas alternativos que estão surgindo no mercado, que buscam otimizar o projeto, com execução rápida, alta qualidade e baixo custo.

No final desta seção, trataremos das formas sustentáveis de lidar com a madeira, assunto visto com tanto descaso por muitos, mas que é a resposta para uma construção feita de forma consciente, pensando nas futuras gerações.

Relembrando ainda que a madeira é um elemento amplamente usado nas estruturas e um dos mais flexíveis, de fácil manuseio e definição de formas e dimensões. Como responsável pelo projeto arquitetônico de uma residência, você aprendeu a necessidade de escolher uma madeira previamente tratada, assim como conhecer as principais propriedades a serem levadas em conta para optar pelo tipo de madeira.

Além disso, como projetista desta obra, é necessário estar por dentro das novas tecnologias que estão surgindo no mercado. Uma vez que sistemas alternativos surgem diariamente, quais deles você conhece? É capaz de descrevê-los estruturalmente?

Nesta seção, vamos estudar toda ferramenta necessária para escolha do modelo estrutural com base na necessidade do cliente e as cargas que atuam sobre ela. Aprendemos nas seções anteriores a maneira como escolher a madeira com base em suas propriedades, a interferência do ambiente em que seu projeto será executado e quais os cuidados necessários para ter uma vida útil dentro do esperado, pois conhecer esses dados é fundamental para a elaboração do seu projeto com êxito.

Não pode faltar

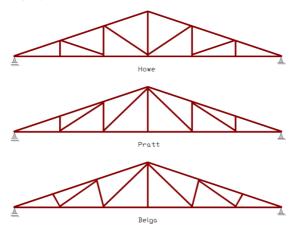
Tipologia das construções

A tipologia de uma construção é o conjunto de características físicas que, em um contexto urbanístico, distingue um edifício dos demais. Quando nos referimos a estruturas de madeira, quais são os tipos que vêm à sua mente? Listaremos a seguir as estruturas mais frequentemente encontradas:

1. Treliças de cobertura

No Brasil, uma das estruturas mais utilizadas são as de treliça para cobertura. Dentre os inúmeros modelos de treliça, os mais usuais são Howe, Pratt e Belga (Figura 1.9).

Figura 1.9 |Treliças para cobertura



Fonte: elaborada pelo autor.

Segundo Pfeil e Pfeil (2003), a treliça do tipo Howe é a mais tradicional para o uso em madeira em função da geometria e dos esforços atuantes para cargas de gravidade: tração no montante e no banzo inferior e compressão na diagonal e no banzo superior (Figura 1.10). Já nos modelos Pratt e Belga, nos montantes e nas diagonais os esforços se invertem.

Figura 1.10 | Nomenclatura das barras da treliça



Fonte: elaborada pelo autor.

As treliças de cobertura, ou tesouras, geralmente estão espaçadas de 2 m a 4 m entre elas si e sustentam as telhas e as vigas de apoio. Quando usadas com as telhas cerâmicas, o vigamento é composto dos seguintes elementos: as terças, vigas que ligam as tesouras; os caibros, que se apoiam nas terças, espaçados entre 40 a 60 cm; e as ripas, que se apoiam nas terças e recebem as telhas. O espaçamento entre as ripas depende do tamanho das telhas. Os telhados que recebem telhas metálicas não precisam de ripas e caibros, apoiandose diretamente nas terças. A inclinação do telhado é dada pelo ângulo entre o banzo superior e inferior.

2. Vigamento para pisos

Os vigamentos para pisos são utilizados para apoio de tábuas corridas de madeira. As vigas, geralmente de seção retangular, são biapoiadas, e o dimensionamento é feito para uma carga estática.

Figura 1.11 | Vigamento para apoio de tábuas corridas



Fonte: arquivo pessoal do autor.



Você sabia que, quando o dimensionamento considera apenas a carga estática, não está considerando a vibração? Nos pisos de madeira geralmente podemos sentir o chão vibrar. Para que isso não ocorra, devemos usar vigas de tamanhos maiores ou espaçadas a pouca distância entre si, quando consideramos a vibração no dimensionamento. Entretanto, isso tornaria a estrutura muito cara. Então qual é a solução? Podemos usar contraventamento entre as vigas, diminuindo esse problema.

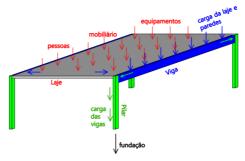
Pórticos

Os pórticos são estruturas destinadas usualmente a galpões, piscinas, estádios, estações rodoviárias, com vãos que variam de 20 a 100 m. Geralmente são estruturas biarticuladas e triarticuladas, sendo estas as mais fáceis e rápidas de serem montadas.

4. Estruturas aporticadas para edificações

As construções feitas neste sistema geralmente são formadas por lajes, vigas e pilares. As lajes (grelhas planas) descarregam suas cargas nas vigas; as vigas, por sua vez, descarregam nos pilares; e os pilares, na fundação, que distribui a carga para o solo (Figura 1.12). As vigas e os pilares formam o pórtico espacial.

Figura 1.12 | Andamento das cargas na estrutura



Fonte: elaborada pelo autor.

O comportamento do pórtico devido às forças horizontais, como o vento, depende da rigidez da ligação viga-pilar. Se esta ligação for rígida, a carga do vento atuará sobre o pórtico, mas, se a ligação for flexível, devem ser utilizados enrijecedores, como o contraventamento.

Ações

Os elementos ou estruturas sujeitam-se a três categorias de ações:

- 1. Vertical: constituído pelo peso próprio e carga acidental.
- 2. Horizontal: vento.
- 3. Por mudança volumétrica: constituído pela retração, fluência e temperatura.

As ações também são classificadas em função da sua permanência sobre a estrutura:

• Ações permanentes: são constantes ou com pequena variação em torno da média. Elas atuam praticamente durante toda a vida útil da construção. São consideradas cargas permanentes: o peso próprio dos elementos da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes; os pesos dos equipamentos fixos; os empuxos de terras não removíveis; e, em situações específicas, os empuxos hidrostáticos.

Exemplificando

O peso próprio é a somatória de todos os componentes que compõem um elemento. Por exemplo, num telhado: o peso próprio da treliça e seus componentes metálicos de união; o peso próprio das terças; o peso próprio das telhas. Se houver equipamentos fixos na estrutura, como placas solares na parte superior e placas de gesso de acabamento na parte inferior, eles também devem ser considerados.

• Ações variáveis: ocorrem durante o uso da edificação. As mais usuais são as cargas acidentais previstas por norma, o vento e a temperatura.

As cargas acidentais previstas para o uso da construção podem ser avaliadas com base nos valores indicados na NBR 6120 (ABNT, 1980), sendo as verticais usuais: pessoas, mobiliário, veículos, vento e chuva, entre outras, que devem ser dispostas nas posições mais desfavoráveis para o elemento. Já a carga atuante do vento pode ser levada em conta sobre uma estrutura parcialmente executada dependendo do método e da sequência da construção. Na construção final, deve ser verificada em função do índice de permeabilidade da construção acabada e de sua altura, respeitando as prescrições da norma NBR 6123 (1988).

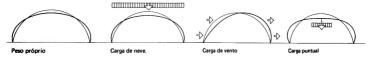


É necessário sempre considerar na avaliação das cargas de um telhado a carga acidental de uma pessoa andando sobre ele para manutenção.

Além das cargas usuais, as estruturas devem ter suas fases construtivas verificadas e incluídas no projeto, como o transporte e o içamento. Essa verificação é fundamental em estruturas executadas em fábrica e montada na obra, como as estruturas de madeira laminada e colada.

Na Figura 1.13 é possível analisar a deformada de algumas ações [a estrutura deformada devido a cargas permanentes e variáveis e cargas horizontais (vento) e verticais].

Figura 1.13 | Deformada de estrutura devido a diferentes cargas



Fonte: Engel (1981, p. 187).

Combinações de ações

O carregamento utilizado no cálculo é definido por uma combinação das ações. Deve-se levar em conta as que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido. Esta combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura.

Elementos estruturais

São elementos que formam as estruturas e são classificados usualmente com base em sua geometria e suas dimensões.

1. Elementos lineares

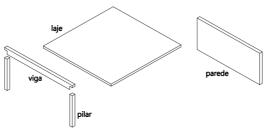
Dentre os mais usuais estão as vigas e os pilares, considerados elementos lineares, do tipo "barra", pois possuem o comprimento longitudinal pelo menos três vezes maior que as dimensões de sua seção transversal (NBR 6118, ABNT 2003).

2. Elementos de superfície

As lajes, as paredes e as cascas são elementos bidimensionais, ou "elementos de superfície", pois possuem a espessura com dimensão muito menor que suas duas outras dimensões.

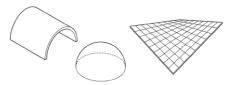
As lajes (ou placas) têm as ações atuantes normais a seu plano. Já as paredes (ou chapas) têm as ações contidas em seu plano (Figura 1.14). As cascas, por sua vez, diferem das lajes e paredes por não possuírem elementos de superfície planos (Figura 1.15).

Figura 1.14 | Elementos estruturais



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 1.15 | Estrutura de casca



Fonte: Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010, p. 34).

Sistemas alternativos – wood frame

Os sistemas construtivos alternativos têm se destacado, pois o mercado busca obras que sejam realizadas em menos tempo, com qualidade igual ou superior àquelas oferecidas pelos sistemas atuais, as quais sejam preferencialmente mais econômicas.

Dentre os que mais se destacam está o sistema wood frame (Figura 1.16). A tecnologia wood frame, nos EUA, é usada em 95% das casas construídas. Segundo Molina e Calil Junior (2010), o wood frame consiste em um sistema construtivo durável, industrializado, com perfis de madeira tratada e reflorestada, formando painéis para paredes, pisos e telhado. Esses painéis são combinados e/ou revestidos com outros materiais, buscando aumentar os confortos acústico e térmico, além de proteger a edificação das intempéries e do fogo.

Figura 1.16 | Esquema isométrico da estrutura em wood frame



Fonte: Ecker e Martins (2014, p. 56).

Molina e Calil Junior (2010) também enfatizam as vantagens da construção de casas de até cinco pavimentos, o máximo permitido pelo sistema *wood frame*. A madeira é empregada principalmente como estrutura da parte interna das paredes e dos pisos, o que proporciona uma estrutura com execução rápida e leve, pois os elementos são feitos na indústria e montados por equipes com mão de obra especializada.

Uma desvantagem do sistema é o custo de produção, tendo em vista a necessidade de mão de obra especializada. Entretanto, esta desvantagem se torna uma vantagem quanto à garantia da construção e da qualidade dos materiais empregados. O sistema ainda está sendo implantado no Brasil, portanto, seu custo de produção pode ser maior do que o de uma casa de alvenaria, e uma vantagem deste sistema no Brasil é a utilização de espécies de áreas reflorestadas. Molina e Calil Junior (2010) destacam que os projetos de *wood frame* utilizam preferencialmente como matéria-prima o pinus e, em uma quantidade menor, o eucalipto, pois ambas apresentam crescimento rápido.

A preferência pelo pinus se dá por sua elevada permeabilidade ao tratamento em autoclave, fundamental para impedir o ataque de organismos xilófagos, pois suas peças não contêm o cerne e seu lenho é totalmente permeável ao tratamento de preservação, o que não ocorre com a maioria das madeiras nativas brasileiras e com o eucalipto, que são folhosas.



É importante desvincular a ideia de sistema industrializado com construção padronizada. O *wood frame* permite construções para qualquer projeto, desde casas populares até as de alto padrão.

Sustentabilidade em estrutura de madeira

O crescimento econômico e o aumento da riqueza e da prosperidade nos permitem investir mais em modificar nossos estilos de vida, o que requer estilos menos dependentes dos recursos finitos da Terra e o investimento na capacidade produtiva e renovável do nosso planeta, principalmente no que se refere à construção civil.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2017), nas suas considerações sobre construções sustentáveis, avalia que os desafios para o setor da construção são diversos. Em síntese, consistem na redução e otimização do consumo de materiais e energia, na redução dos resíduos gerados, na preservação do ambiente natural e na melhoria da qualidade do ambiente construído. Para que isso ocorra, recomenda-se:

- Mudança dos conceitos da arquitetura convencional na direção de projetos flexíveis com possibilidade de readequação para futuras mudanças de uso e atendimento de novas necessidades, reduzindo as demolições.
- Busca de soluções que potencializem o uso racional de energia ou de energias renováveis.
 - Gestão ecológica da água.
 - Diminuição do uso de materiais com alto impacto ambiental.
- Redução dos resíduos da construção com modulação de componentes para diminuir perdas e especificações que permitam a reutilização de materiais.

A madeira empregada nos sistemas alternativos é sustentável. Segundo a Diretriz SINAT n° 005 (2017), a madeira empregada nas estruturas do tipo light *wood frame* deve ser de origem legal, sendo, portanto, proveniente de florestas plantadas ou nativas com manejo florestal aprovado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Decisões como esta promovem uma ação favorável ao meio ambiente.

Além disso, são reduzidos os resíduos da construção civil, pois, segundo Molina e Calil Junior (2010), a concepção em ambiente industrial do *wood frame* diminui significativamente o desperdício, impactante hoje nos sistemas de construção tradicionais. O único elemento executado na obra, em grande parte das casas de *wood frame*, é a fundação.

Molina e Calil Junior (2010) também enfatizam que, no Brasil, a indústria de reflorestamento é uma das mais concorrentes no mundo, pois existe no país uma grande disponibilidade de áreas. Lembrando que, quando mencionamos *light wood frame*, fazemos referência a um sistema de construção fundamentado exclusivamente na utilização de madeiras cultivadas em áreas reflorestadas. Além disso, há no Brasil grandes áreas de pinus de florestas plantadas, especialmente nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, tornando sustentável o sistema *wood frame* quando a demanda é analisada.



Reflita

Você sabia que "a madeira é único material de construção renovável, que demanda baixo consumo energético para produção, e sequestra carbono da atmosfera durante o crescimento da árvore"? (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010 p.145)

Pesquise mais

Veja dois livros com conceitos importantes e ilustrações sobre sistemas estruturais, que enriquecerão seu projeto arquitetônico:

CHING, F. D. K.; ONOUYE, B. S.; ZUBERBUHLER, D. **Sistemas estruturais ilustrados, padrões, sistemas e projeto**. Trad. Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ENGEL, H. Sistemas de estruturas. São Paulo: Hemus, 1981.

Sem medo de errar

O sistema alternativo mais utilizado em madeira é o *wood frame*. Sua estrutura é formada da seguinte tipologia: fundação (não será tratada nesta disciplina), paredes de sustentação, lajes e cobertura.

Descreveremos os componentes que formam cada parte desta estrutura, utilizando o máximo de elementos de madeira possível,

lembrando-se de que toda a madeira utilizada deve ser tratada para evitar o ataque de organismos xilófagos.

1. Paredes de sustentação

As paredes de sustentação são formadas por peças estruturais de madeira maciça serrada, conforme Figura 1.17, e um dos fatores importantes da parede é o nivelamento.





Fonte: https://goo.gl/s4779x. Acesso em: 6 abr. 2017.

Para fechamento externo, podemos utilizar chapas de compensado tratadas quimicamente e/ou chapas cimentícias. Lembre-se de que a madeira não é resistente às intempéries se não forem tratadas para este uso

Para componente de fechamento interno, podemos utilizar chapas de compensado, chapas cimentícias ou *drywall*. Caso seja verificada a necessidade de contraventamento, será nas paredes que estes elementos enrijecedores serão inseridos, o que pode ser feito por meio de peças de madeira (horizontais ou diagonais) ou chapa de compensado, empregadas com função de contraventar a estrutura principal.

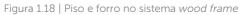
Nas paredes, instalamos os isolantes térmicos e acústicos, que podem ser manta de lã de rocha ou lã de vidro ou placas de

poliestireno expandido (EPS). Como a madeira se movimenta devido à retração e à expansão, é necessário haver a execução de juntas de dilatação, espaços entre os componentes de fechamento.

Para dar acabamento na nossa parede, podemos usar acabamentos de PVC, revestimento de argamassa reforçado com tela, pinturas ou texturas, desde que compatíveis com a madeira.

2. Lajes

Como aprendemos nesta unidade, as lajes em madeira podem ser feitas com utilização de peças de madeira serrada estrutural na forma de vigas, como a Figura 1.18.





Fonte: https://goo.gl/yZkefb>. Acesso em: 7 abr. 2017

Geralmente, antes da colocação das tábuas corridas ou de qualquer outro acabamento, pode-se optar por colocar chapas de compensado para nivelamento do piso, o que colabora com a melhoria na transmissão do ruído. No forro, pode-se usar chapas de gesso para acabamento e, em áreas molhadas, como banheiros e cozinhas, deve-se utilizar chapas cimentícias.

3. Cobertura

Na execução da estrutura do telhado, deve-se usar peças leves de madeira serrada, conforme Figura 1.19. Os elementos usuais que compõem um telhado são: viga, terça, caibro, ripa, sarrafo e cumeeira, com alta resistência natural ao ataque de organismos xilófagos ou tratados quimicamente sob pressão.





Fonte: https://goo.gl/1PS69G>. Acesso em: 6 abr. 2017.

Avançando na prática

Estruturas de casca

Descrição da situação-problema

Em seu escritório, você percebeu que a maioria dos projetos desenvolvidos são de estruturas aporticadas e planas, e notou que, quando olhamos ao redor, podemos encontrar poucas estruturas em formas de casca, vistas principalmente em reservatórios, hangares, em coberturas de grandes vãos, entre outros, e especialmente nas estruturas concebidas pelo arquiteto Oscar Niemeyer.

Ao elaborar um projeto, principalmente uma residência ou um edifício de multipavimentos, este é o tipo de estrutura que vem a

sua mente, pois é o sistema mais ensinado. O sistema laje-vigapilar é o sistema básico das edificações.

Com a sua equipe, você começou a analisar: por que encontramos estruturas aporticadas e planas com muito mais frequência do que estruturas de casca ou vigas curvas? Quais são os desafios do projeto deste tipo de estrutura em madeira?

Resolução da situação-problema

As estruturas aporticadas, formadas por pilares, vigas e lajes, são modelos simples de calcular, encontrando sua base para cálculo nas nossas normas vigentes.

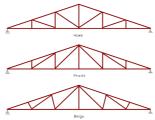
Além disso, sua execução não requer uma mão de obra tão especializada ou maquinários de içamento e montagem que façam isso com precisão. Já os elementos do tipo casca ou os curvos requerem programas complexos de dimensionamento e profissionais capacitados. Felizmente, temos no Brasil empresas especializadas neste tipo de projeto, para que cada dia mais existam em nosso país estruturas inovadoras.

As peças de madeira do tipo curva ou as estruturas do tipo casca, principalmente as que vencem grandes vãos, são raras de ser encontradas no Brasil. Entretanto, temos um mercado em busca de novos desafios e de profissionais que queiram se dedicar a estudar profundamente a madeira e investir nesse mercado.

Faça valer a pena

1. Dentre os três tipos de treliça mais usados na execução de coberturas, algum é indicado para o uso em madeira em função da geometria e dos esforços atuantes para cargas de gravidade: tração no montante e no banzo inferior e compressão na diagonal e no banzo superior.

Treliças para cobertura.



Fonte: elaborada pelo autor.

A qual tipo(ou quais tipos) de treliça se refere o texto?

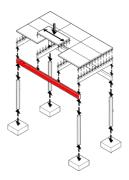
a) Belga. d) Howe.

b) Pratt e Belga. e) Pratt.

c) Howe e Pratt.

2. Na figura seguinte, temos uma estrutura do tipo pórtico para edificações. Neste tipo de estrutura, as cargas provenientes do uso, como pessoas, mobiliários, entre outras, geralmente estão apoiadas nas lajes. Estas, por sua vez, descarregam as cargas nas vigas, que transferem essa carga, adicionada de cargas provenientes de paredes apoiadas sobre elas, para os pilares. Os pilares, então, transferem a carga para a fundação, e esta, para o solo. Analise a estrutura:

Estrutura tipo pórtico



Fonte: adaptada de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010, p. 27).

Qual elemento estrutural é este destacado na estrutura?

a) Fundação. d) Laje.

b) Pilar. e) Viga.

c) Pórtico.

3. "O wood frame para casas consiste em um sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis de madeira reflorestada tratada, formando painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais, com a finalidade de aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e também contra o fogo [...] uma vantagem deste sistema no Brasil é a utilização de espécies de reflorestamento" (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010 p. 144).

Qual espécie de madeira é a mais indicada para o *light wood frame* e por quê?

- a) Eucalipto, devido ao baixo peso.
- b) Pinus, por elevada permeabilidade ao tratamento em autoclave.
- c) Mogno, por sua resistência.
- d) Cerejeira, devido à sua umidade.
- e) Cumaru, por sua resistência ao fogo.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6120 - Cargas para o cálculo de

estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

______. NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

_____. NBR 7190 - Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. NBR 6118 - Projetos de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

CHING, F. D. K.; ONOUYE, B. S.; ZUBERBUHLER, D. **Sistemas estruturais ilustrados,** padrões, sistemas e projeto. Trad. Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ECKER, T. W. P.; MARTINS, V. Comparativo dos sistemas construtivos steel frame e wood frame para habitações de interesse social. 2014. 154 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Pato Branco. Pato Branco, 2014. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4016/1/PB_COECI_2014_2_7.pdf. Acesso em: 17 abr. 2014.

ENGEL, H. Sistemas de estruturas. São Paulo: Hemus, 1981.

GALVÃO, A. P. M. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. **Revista IPEF (atual Scientia Forestalis)**, Piracicaba: Instituto de Pesquisa Florestal – IPEF, ed. 11 p. 53-65, 1975.

IPT. Informações sobre madeiras. Disponível em: http://www.ipt.br/consultas_online/ informações sobre_madeira/busca>. Acesso em: 25 mar. 2017.

_____. Madeiras na construção. Disponível em: http://www.ipt.br/noticia/754.htm. Acesso em: 25 mar. 2017.

MMA. Construção sustentável. 2017. Disponível em: http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentaveis/urban

MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul./dez 2010.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**: dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critérios das normas norte-americana NDS e europeia EUROCODE 5. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PROGRAMA Madeira é legal. Disponível em: http://www.anggulo.com.br/madeira/retro/manuais.htm, Acesso em: 25 mar. 2017.

SNH. **Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos**: Diretriz SINAT Nº 005 – Revisão 02. Sistemas construtivos estruturados em peças leves de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas (Sistemas leves tipo Light Wood Framing). Brasília, 2017.

Propriedades mecânicas e dimensionamento de peças de madeira

Convite ao estudo

Caro aluno.

Nesta unidade, aprenderemos sobre as propriedades mecânicas da madeira. Esta análise nos leva a conhecer com mais profundidade o comportamento da madeira, quando submetida a determinados esforços.

Você participará da elaboração da cobertura de um shopping center, projeto que deve considerar algumas situações específicas e uma delas é que, na época do natal, os shoppings tendem a pendurar enfeites em suas coberturas, descendo-os por longos cabos e, assim, as peças deste telhado devem ser projetadas para este uso também, mesmo que ele aconteça por apenas um mês comparado com o ano todo. Outra situação é a manutenção constante dessa cobertura, em que pessoas se locomovem para verificação das telhas.

Como profissional responsável, você deve conhecer as propriedades mecânicas do material escolhido, as cargas e as forças que atuam na estrutura, como calcular os esforços, as deformações e, finalmente, dimensionar e detalhar essas peças e cada tipo de ligação entre elas.

Portanto, o conhecimento profundo dos materiais e o correto emprego deles, especialmente em sistemas construtivos e estruturais, é essencial para ter êxito quando for elaborar o projeto, pois, quando conhecemos as propriedades mecânicas da madeira e determinamos os tipos de tensões provocadas pelo carregamento atuante, conseguimos realizar os projetos

com as dimensões corretas das peças para esse esforço. Após determinar as dimensões das peças, é hora de pensar na forma como elas serão conectadas, o que é feito por meio das ligações, sabendo-se de os materiais que utilizamos nas estruturas se comportam segundo o uso que fazemos deles. Mas lembre-se de que eles foram projetados para um uso específico, o qual deve ser respeitado.

Seção 2.1

Propriedades mecânicas da madeira

Diálogo aberto

Uma das estruturas mais usuais que presenciamos em madeira no Brasil são os telhados, que nos abrigam das intempéries, mas também dão forma e beleza à estrutura. Eles são formados por um conjunto de elementos por todo o madeiramento e pelas telhas, que podem ser cerâmicas, de fibrocimento ou de novos materiais que estão surgindo.

No estudo do telhado do shopping center, primeiramente precisamos analisar: será que as peças desse telhado resistirão ao peso das telhas, da chuva e das pessoas caminhando pelo telhado com segurança? Cada peça projetada em um telhado está sofrendo diferentes esforços: algumas estão tracionadas, enquanto outras comprimidas e, para que seu projeto tenha sucesso, você precisa dimensioná-lo segundo a norma técnica brasileira. Para desenvolver essa análise, iniciaremos verificando a resistência de uma peça de madeira, quando esta estiver sujeita a forças de tração ou compressão. Além disso, será definida e quantificada a rigidez da madeira.

Com o cálculo da resistência e da rigidez, será possível perceber que existem madeiras com qualidades melhores para cada esforço. Por exemplo, algumas madeiras têm maior resistência à tração do que outras, mas não necessariamente sua resistência à compressão também é alta. Portanto, essa madeira terá seu melhor uso quando estiver sofrendo esforços de tração.

Esperamos que esses conhecimentos possam ser aplicados em seus futuros projetos, possibilitando projetos arrojados, criativos e diferenciados.

Não pode faltar

Cálculo de resistência

As propriedades de resistência e elasticidade são influenciadas principalmente pelas fibras, para as dicotiledôneas, e as traqueídes,

no caso das coníferas, sendo que a direção do esforço em relação às fibras influencia no valor de resistência da madeira. A direção longitudinal coincide com a orientação das fibras e a chamamos de direção paralela às fibras e é nesta direção que encontramos os maiores valores de resistência e rigidez. Em contraste às tensões nas direções paralelas, nas direções radial e tangencial, que também chamamos de perpendiculares às fibras, não se difere uma da outra quanto aos valores de resistência e rigidez. A direção perpendicular apresenta valor muito menor do que na direção paralela (ISAIA, 2010).

Para quantificar a resistência da madeira, utilizamos a equação:

$$f_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_k}{\gamma_w}$$

Onde f_d é a resistência de cálculo; f_k é a resistência característica; γ_w é o coeficiente de ponderação das ações e $k_{\rm mod}$ é o coeficiente de modificação.



Quando vamos calcular uma estrutura, dividimos a resistência do material (f_k) por um coeficiente de ponderação (γ_w). Este coeficiente considera que o material tem um valor inferior de resistência (f_d) do que ele realmente tem. Isso se dá para que o dimensionamento seja feito com segurança, pois leva em conta as imperfeições possíveis do material e de sua execução.

O valor de $\mathbf{f}_{\mathbf{k}}$ é encontrado na Norma Técnica de Projetos de Estruturas de Madeira, NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 90-92). O fator 0 se refere à resistência na direção das fibras e 90 à resistência perpendicular às fibras. O Quadro 2.1 abaixo apresenta os valores de apenas algumas madeiras, enquanto a norma técnica apresenta mais espécies e com um maior número de dados. Esses valores foram encontrados por meio de ensaios padronizados e podem ser utilizados nos cálculos de um projeto.

Quadro 2.1 | Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento

Nome comum (dicotiledôneas)	$ ho_{_{ap}}$ (12%) $_{ m kg/m^3}$	f _{c0} МРа	f_{t0} MPa	f _{t90} МРа
Angelim araroba	688	50,5	69,2	3,1
Cedro doce	500	31,5	71,4	3,0
Eucalipto grandis	640	40,3	70,2	2,6
lpê	1068	76,0	96,8	3,1
Jatobá	1074	93,3	157,5	3,2

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 90-92)

Para calcular a resistência, considera-se que essa propriedade é afetada especialmente por alguns fatores. Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), a classe de carregamento da estrutura, a classe de umidade admitida e o eventual emprego de madeira de segunda qualidade afetam os valores de cálculo das propriedades da madeira. Eles são representados pelos coeficientes de modificação $\pmb{k}_{\rm mod}$, dado pela expressão:

 $k_{\text{mod}} = k_{\text{mod}.1} \cdot k_{\text{mod}.2} \cdot k_{\text{mod}.3}$

O coeficiente $k_{\text{mod},1}$ considera a classe de carregamento e o tipo de material empregado, conforme Quadro 2.2:

Quadro 2.2 | Valores de $k_{\text{mod }1}$

	Tipos de Madeira		
Classes de carregamento	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta	
Permanente	0,6	0,30	
Longa duração	0,7	0,45	
Média duração	0,8	0,65	
Curta duração	0,9	0,90	
Instantânea	1,0	1,10	

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 18)

O coeficiente $k_{\rm mod,2}$ considera a classe de umidade e o tipo de material empregado, conforme Quadro 2.3. As classes de umidade são definidas pelo Quadro 2.4.

Quadro 2.3 | Valores de $k_{mod 2}$

Classes de umidade	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 18).

Quadro 2.4 | Classes de umidade

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente U _{amb}	Umidade de equilíbrio da madeira U _{eq}
1	≤ 65%	12%
2	65% < U _{amb} ≤ 75%	15%
3	75% < U _{amb} ≤ 85%	18%
4	U _{amb} > 85% durante longos períodos	≥ 25%

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 14).

O coeficiente $k_{\rm mod,3}$ considera se a madeira é de primeira ou segunda categoria, sendo assim os valores: as de primeira categoria, $k_{\rm mod,3}=1,0$; as de segunda categoria, $k_{\rm mod,3}=0,8$. A madeira de primeira categoria é aquela isenta de defeitos e submetida a uma classificação mecânica do lote a ser utilizado e apenas o método visual não permite assim classificá-la.

Para verificação da resistência, deve-se fazer uma comparação da tensão atuante com a resistência do material, aplicando-se os coeficientes de norma. Portanto, para que o material suporte a tensão, ele deve atender à equação:

$$\sigma_{c,d} = \frac{P_{c,d}}{A} \le f_{c,d}$$

Onde $\sigma_{c,d}$ é a tensão de compressão de cálculo; $P_{c,d}$ é a força de compressão cálculo; A é área de aplicação da força e $f_{c,d}$ é a resistência de cálculo

Rigidez da madeira

A rigidez da madeira é medida pelo módulo de elasticidade (\mathcal{E}), constante de proporcionalidade intrínseca ao material, e pode ser obtida pela razão entre a tensão (σ) exercida no material e a deformação (ε)

sofrida por ele, quando o material estiver no regime elástico:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Para o cálculo de alguns fatores que dependam da rigidez da madeira, também se leva em conta a classe de carregamento da estrutura, a classe de umidade admitida e o eventual emprego de madeira de segunda qualidade, determinado pelo coeficiente $\mathbf{\textit{k}}_{mod}$. Assim, o valor do módulo de elasticidade paralelamente às fibras é dado por:

$$E_{c0,ef} = k_{\text{mod},1} \cdot k_{\text{mod},2} \cdot k_{\text{mod},3} \cdot E_{c0,m}$$

Onde o valor de $E_{c0,m}$ de algumas espécies é fornecido pelo Quadro 2.5

Quadro 2.5 | Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento

Nome comum (dicotiledôneas)	$ ho_{_{a ho}}$ (12%) $ m kg/m^3$	<i>E</i> ∞ MPa
Angelim araroba	688	12876
Cedro doce	500	8058
Eucalipto <i>grandis</i>	640	12813
lpê	1068	18011
Jatobá	1074	23607

Fonte: Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 90-92)

Sempre que uma estrutura é calculada, verificamo-la em dois estados: no Estado Limite Último (ELU) e no Estado Limite de Serviço (ELS).

O ELU está relacionado ao colapso ou a ruína da estrutura, que faz com que haja a paralisação do seu uso. Nesse estado, verificamos se o material resiste às acões que atuam sobre ele.

O ELS está mais relacionado à durabilidade das estruturas, à sua aparência, à funcionalidade e ao conforto do usuário, o que significa que mesmo que a estrutura esteja dimensionada com segurança no ELU, mas cause desconforto ao usuário, ela será delimitada pelos parâmetros do ELS. Como no caso das flechas de uma laje que deixariam a estrutura fletida com segurança, porém causariam desconforto aos que usassem o ambiente.

Quando é executada uma laje com grande vão, geralmente é feita uma contra-flecha, isto é, coloca-se a região central da laje mais elevada que as laterais e, desta forma, quando a laje estiver carregada, ela se tornará plana. Isto é feito para que haja conforto aos usuários, que estando abaixo dela, não sintam que essa está se envergado em direção a eles.

Pecas tracionadas

Diferente do concreto, as madeiras têm boa resistência à tração. Todavia, existem dois tipos de tração nas peças de madeira: paralelas ou perpendiculares às fibras (Figura 2.1). Dentre as duas, a madeira tem boa resistência à tração na direção das fibras, podendo ser eficientemente utilizada como peça sujeita à tração axial.

Já na tração normal às fibras, a madeira apresenta baixos valores, pois tendem a separar as fibras. Outro ponto crítico para o dimensionamento fica nas emendas ou ligações de extremidade das peças (PFEIL; PFEIL, 2003).

Figura 2.1 | Tração na madeira





Fonte: Ritter (1990, apud ISAIA, 2010, p. 40)

Para o cálculo da resistência da madeira, deve-se determinar se a peça está sendo solicitada à compressão ou à tração, pois o material apresenta coeficientes diferentes para cada caso. O coeficiente de ponderação para a tensão de tração paralelas às fibras tem o valor de $\gamma_{\rm wt}$ = 1,8 , para o Estado Limite Último (ELU) e no Estado Limite de Utilização (ELS), $\gamma_{\rm ut}$ = 1,0 .



Exemplificando

Calcule a resistência de cálculo à tração da madeira Cedro doce no ELU, na direção das fibras, de primeira categoria. A madeira é serrada com umidade relativa do ambiente de 70% e carga permanente.

Resolução:

Dados:

Madeira Cedro doce $f_{to,k} = 71,4MPa$ - (Quadro 2.1).

Tração na direção das fibras: $\gamma_{wt} = 1.8$.

Madeira serrada e carregamento permanente: $\mathbf{\textit{k}}_{mod1} = 0,6$ - (Quadro 2.2).

Com a umidade relativa do ambiente de 70%, encontramos a classe de umidade 2 (Quadro 2.4).

Madeira serrada e classe de umidade 2: $k_{mod2} = 1,0$ - (Quadro 2.3).

Primeira categoria: $k_{\text{mod,3}} = 1,0$

$$k_{\text{mod}} = k_{\text{mod},1} \cdot k_{\text{mod},2} \cdot k_{\text{mod},3} = 0, 6 \cdot 1, 0 \cdot 1, 0$$

$$k_{\text{mod}} = 0, 6$$

Substituindo na equação da resistência de cálculo:

$$f_{t0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t0,k}}{\gamma_w} = 0, 6 \cdot \frac{71,4}{1,8}$$

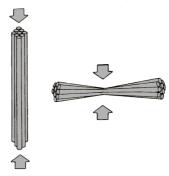
 $f_{t0,d} = 23,8MPa$

O valor de cálculo de 23,8 MPa é apenas 33,3% do valor característico da madeira, de 71,4 MPa.

Peças comprimidas

Quando uma peça tem o esforço de compressão ocorrendo paralelo às fibras, a força é absorvida pelos elementos anatômicos da madeira, conferindo uma grande resistência. Por outro lado, quando essa compressão ocorre na direção normal às fibras, provoca um esmagamento das fibras (ou das traqueídes) e, consequentemente, um valor menor de resistência (ISAIA, 2010), como é possível observar nos exemplos da Figura 2.2.

Figura 2.2 | Comportamento da madeira na compressão



Fonte: Ritter (1990, apud CALIL JUNIOR, 2003, p.39)

A Figura 2.3 apresenta um terceiro caso de compressão, observado na última peça da imagem. A solicitação acontece de forma inclinada em relação às fibras da madeira e, neste caso, adota-se um valor intermediário entre a compressão normal e a compressão paralela.

Figura 2.3 | Compressão na madeira



Assim como na tração, o coeficiente de ponderação varia em função do esforço. Para a tensão de compressão paralela às fibras, tem o valor de $\gamma_{wt} = 1,4$, mas no Estado Limite Último (ELU) e no Estado Limite de Utilização, o valor é $\gamma_{ut} = 1,0$.



Calcule a resistência de cálculo à compressão da madeira Jatobá no ELU, na direção das fibras. O coeficiente $k_{
m mod}$ é de 0,56.

Resolução:

Dados:

Madeira Jatobá $f_{c0,k} = 93,3MPa$ - (Quadro 2.1), compressão na direção das fibras: $\gamma_{wc} = 1,4$.

Substituindo na equação da resistência de cálculo:

$$f_{c0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c0,k}}{\gamma_{wc}} = 0,56 \cdot \frac{93,3}{1,4}$$

 $f_{c0,d} = 37,32MPa$

O valor de cálculo de 37,32 MPa é apenas 40% do valor característico da madeira, de 93,3 MPa.

Pesquise mais

Nesta página, você encontrará um programa de cálculo de estruturas de madeiras de uso livre, desenvolvido pela Universidade de Passo Fundo. Disponível em: <a href="http://www.etools.upf.br/index.php?option=com_content8task=view&id=2<emid=4">http://www.etools.upf.br/index.php?option=com_content8task=view&id=2<emid=4. Acesso em: 25 abr. 2017. Sugerimos um livro bem completo sobre o cálculo de estruturas de madeiras. Caso você se interesse por esta área, vale a pena adquiri-lo para seu acervo pessoal:

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**: dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critérios das normas norte-americana NDS e europeia EUROCODE 5. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. p. 3-15.

Sem medo de errar

No dimensionamento de um telhado, assim como em qualquer outra estrutura, a primeira análise que devemos fazer é: qual é o uso que minha estrutura terá e quais ações atuarão sobre ela?

Temos ações permanentes, como o peso próprio da madeira, as telhas, os materiais de ligação e cargas, ações variáveis, como o vento, a pessoa andando no telhado para manutenção e ainda as ações excepcionais, que devem ser analisadas para cada caso.

No caso do nosso telhado, o primeiro levantamento a ser feito com o cliente é determinar as ações atuantes no telhado, e podemos iniciar definindo qual tipo de telha será usada. Como há uma variedade de telhas cerâmicas, com diferentes pesos e arranjos, assim como a possibilidade de empregar a telha de fibrocimento ou outra telha disponível que não essas, esse é um tópico que se deve atentar e

sempre definir com o cliente.

Outro aspecto relevante é que, caso haja a possibilidade do cliente optar pela troca do tipo de telha no momento da execução, deve-se sempre considerar o caso mais extremo, isto é, a telha mais pesada.

Quanto à chuva, assim como quanto ao vento, deve ser sempre verificado, especialmente se o telhado for em local aberto e sem paredes, pois muitas estruturas sofrem grandes danos quando ventos fortes passam por elas não terem sido dimensionadas nestes casos (Figura 2.4).





Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/vento-danos-gm171326551-21264148. Acesso em: 25 abr. 2017.

Uma outra observação importante e que se refere à segurança de seus usuários é o momento da manutenção das telhas de um telhado. Uma quantidade significativa de acidentes acontece devido à negligência quanto a esse tópico. Em telhados com estruturas de madeira, e especialmente os com telhas, é possível construir uma cobertura onde as pessoas possam circular seguras para manutenção. Um dos problemas recorrentes é visar apenas a economia, esquecendo-se da segurança.

O terceiro tópico a ser analisado neste telhado é quanto às dimensões das peças e o esforço que estas sofrerão. Por exemplo, se a peça está sendo comprimida, a madeira deve ser dimensionada levando-se em conta os coeficientes relativos a esse esforço e assim por diante.

Após o dimensionamento das barras e as definições das ligações, é hora de preparar o desenho para que o telhado possa ser construído por terceiros.

Avançando na prática

Trincas na cobertura de madeira

Descrição da situação-problema

Em uma fazenda, há uma grande cobertura que abriga uma granja e as galinhas passam quase o dia todo ali. O dono da fazenda notou que uma das peças de uma treliça que suporta o telhado está apresentando problemas. A peça tem grandes trincas e fissuras pois está sendo tracionada e o proprietário tem receio de que a cobertura caia sobre seus animais. Então, você foi contratado para analisar o caso e foi orientado que há madeiras na fazenda para reposição e, assim, você, como responsável, já faz um levantamento de todos os fatores que pode observar. Quais dados você poderia definir?

Resolução da situação-problema

O primeiro passo é identificar quais são as madeiras que o fazendeiro tem disponível em sua fazenda e levantar os dados delas. Com esses valores em mãos, você já consegue comparar os valores de tração, escolhendo melhor a madeira.

O segundo passo que você já consegue definir é o k_{mod} :

Para o $\textit{k}_{\text{mod,1}}$, temos as informações de que a madeira será serrada e seu uso é permanente.

Para o $k_{\rm mod,2}$, sabemos da madeira serrada e o local onde a fazenda está localizada, portanto, este dado também está disponível.

Para o $k_{\rm mod,3}$, temos a informação de que a madeira usada para repor a danificada será da própria fazenda e, portanto, sem nenhuma garantia da classificação mecânica do lote a ser utilizado. Assim, a madeira é considerada de segunda categoria.

Com esses dados, você já pode calcular a resistência da madeira

à tração e encontrar o módulo de elasticidade, pois ele também é função do \emph{k}_{mod} .

Faça valer a pena

- **1.** As construções feitas em madeira devem assegurar que seus usuários possam usufruir do local em segurança, independentemente se o tempo está calmo e tranquilo ou se está caindo o maior temporal. Com base neste texto, analise as afirmativas abaixo:
- I. O valor que usamos no cálculo de uma peça é maior do que o valor característico do material.
- II. Usamos valores menores no cálculo devido às imperfeições que as peças podem apresentar.
- III. Quando temos a certeza de que o que está sendo executado é perfeitamente igual ao que foi projetado, o valor característico de uma peça e o valor de cálculo devem ser iguais.

Dentre as frases apresentadas, é correto o que se afirma em:

a) II e III, apenas.

d) Apenas a III.

b) Apenas a I.

e) I, II e III

c) I e III, apenas.

2. Duas pequenas cidades eram próximas, mas havia um rio que as separavam. A ponte mais próxima ficava a 25 km de distância e atrapalhava muito a circulação da população, que trabalhava em uma das cidades e morava na outra. Em um acordo entre as cidades, propôs-se que seria feita uma ponte, projetada em maderia e executada utilizando uma estrutura treliçada. Alguns elementos desta treliça estão sendo comprimidos, enquanto outros estão sendo tracionados.

Considerando o que foi aprendido sobre tração e compressão, assinale a alternativa correta:

- a) Os coeficientes de ponderação não variam em função dos esforços de tração e compressão.
- b) A tração normal às fibras é boa para a madeira, pois tendem a separar as fibras.
- c) Para o cálculo da resistência da madeira, deve-se determinar se a peça está sendo solicitada à compressão ou à tração, pois o material apresenta coeficientes diferentes para cada caso.
- d) A madeira é muito parecida com o concreto, pois não tem boa resistência à tração.
- e) Os valores de compressão e tração são iguais nas madeiras.

3. Quando uma peça tem o esforço de compressão ocorrendo paralelo
às, a força é absorvida pelos elementos anatômicos da
madeira, conferindo uma grande resistência. Por outro lado, quando
esta compressão ocorre na direção às fibras, provoca um
esmagamento das fibras (ou das traqueídes) e, consequentemente, um
valor menor de (ISAIA, 2010).
Quais palavras, respectivamente, completam os espaços na frase?
a) Vigas; normal; umidade.
b) Fibras; normal; umidade.
c) Forças; normal; resistência.
d) Fibras; normal; resistência.
e) Fibras; paralela; resistência.

Seção 2.2

Ligações de peças estruturais

Diálogo aberto

Caro aluno,

Na seção anterior, aprendemos sobre as propriedades mecânicas da madeira, análise que nos levou a conhecer com mais profundidade o comportamento da madeira, quando submetida a determinados esforços. Conhecendo as propriedades mecânicas da madeira e determinando os tipos de tensões provocadas pelo carregamento que atuará, conseguimos elaborar, então, nosso projeto com as dimensões corretas das peças para esse esforço.

Após determinar as dimensões das peças, pensaremos na forma como as peças se conectarão, o que é feito por meio das ligações, assunto desta seção. Assim, conheceremos sobre as ligações utilizadas entre os elementos de madeira e entre a madeira e outros tipos de estruturas.

A palavra ligação significa a união entre dois ou mais elementos ou qualquer elemento que sirva para ligar, e utilizamos as ligações para que as cargas atuantes em uma parte do elemento sejam distribuídas por toda a estrutura. Com base nessa definição, veremos a ligação entre peças de madeira.

Você já observou como as peças de uma estrutura de madeira se conectam? Nas estruturas de concreto armado, o aço e o concreto fazem essa função; nas estruturas metálicas, o metal faz as ligações, seja por chapas e parafusos ou soldas; já nas estruturas de madeira, podemos utilizar o encaixe entre elas e também com diferentes materiais que desempenham este papel, como pinos, chapas metálicas, entre outros.

No projeto de análise da cobertura do shopping que receberá os enfeites de natal, você precisará verificar as ligações, uma parte importante no detalhamento, pois a administradora do shopping quer utilizar a estrutura como um dos elementos decorativos. Essas ligações devem garantir as transferências das cargas entre as peças. Portanto, como as peças deste telhado se conectam? A união de

cada elemento é um dos aspectos mais importantes e também seu ponto fraco, caso não seja feito corretamente. Em seu projeto, é necessário que esteja detalhado caso seja um pino de madeira ou metálico, uma cavilha, ou até mesmo por anéis metálicos, chapas ou entalhes. Assim, o assunto abordado nesta seção é fundamental para garantir que seu projeto terá um bom desempenho com segurança.

Não pode faltar

As peças de madeiras são determinadas pelo tamanho das árvores, e peças de grande porte são difíceis de se encontrar. Portanto, seus tamanhos são limitados. Além disso, existe também o problema do transporte das peças e do seu manuseio. Para que as peças possam ser utilizadas em vãos maiores nos projetos elaborados em madeira, utilizam-se as ligações. Elas também são elementos importantes para dar a forma às estruturas

Estes pontos de conexão da estrutura são delicados e requerem muita atenção no momento da sua verificação e detalhamento. Portanto, os espaçamentos especificados e a pré-furação especificada devem ser seguidos rigorosamente para evitar o fendilhamento da madeira por causa dos elementos de união.



Reflita

Você tem observado como as estruturas são ligadas entre si? Observe tudo ao seu redor e busque conhecer o que há de novo no mercado. As ligações das estruturas são complexas e devem ser sempre estudadas antes de serem detalhadas em um projeto e executada.

Tipos de ligações

As ligações, por conectarem as estruturas, devem transferir as cargas que atuam em um dos elementos para todos com que elas se conectam. As ligações podem unir elementos de madeira entre si ou com outros tipos de materiais (Figura 2.5), formando estruturas mistas

Figura 2.5 | Ligações entre uma estrutura mista de madeira-metálica



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/wooden-beams-with-screws-in-the-structure-gm663209514-120712569. Acesso em: 3 maio 2017.

As ligações das diferentes peças da estrutura também podem ser feitas com o próprio material, isto é, em madeira (Figura 2.6) ou com chapas metálicas.

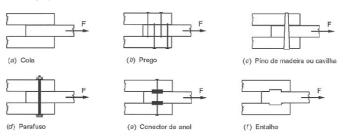
Figura 2.6 | Ligações executadas em madeira



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/o-teto-gm511060126-86508985>. Acesso em: 4 maio 2017.

Os tipos de ligações abordados nesta seção são comuns na obra. Entretanto, as ligações podem também ser feitas com colas, geralmente na fábrica, sob condições controladas, pois as peças devem estar devidamente secas, o que pode ocorrer ao ar livre ou em estufas. Abaixo (Figura 2.7), alguns tipos de ligação usados nas estruturas de madeira:

Figura 2.7 | Ligações executadas em madeira



Fonte: Pfeil e Pfeil (2003)



As madeiras laminadas e coladas são ligadas por meio da colagem das placas. Este tipo de estrutura está sendo cada vez mais utilizado e requer profissionais especializados. O emprego de cola nas ligações deve obedecer a prescrições técnicas provadamente satisfatórias e, portanto, devem ser sempre estudadas detalhadamente antes.

Pinos de madeira e pinos metálicos

As cavilhas são pinos de madeira torneados (Figura 2.8). Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), elas devem ser torneadas e feitas com madeiras duras da classe C60 ou com madeiras moles (com $\rho_{ap} \leq 600 \text{ kg/m}^3$) impregnadas com resinas que aumentem sua resistência. Para que possam ser utilizadas, as madeiras impregnadas devem ter resistências compatíveis com a classe C60 e o emprego de cavilhas estruturais é admitido apenas com os diâmetros de 16 mm, 18 mm e 20 mm

Figura 2.8 | Cavilhas utilizadas nas ligações em madeira



 $Fonte: \verb|\| + | thtp://www.istockphoto.com/br/foto/pinos-de-chumbamento-pins-gm173008221-7329828>. Acesso em: 3 maio 2017.$

Para uso das cavilhas, é necessário que seja feita a pré-furação da peça e o diâmetro do furo deve ter o mesmo diâmetro da cavilha.

Já dentre os pinos metálicos, os mais comuns são os pregos e parafusos (Figura 2.9), sendo que as ligações feitas com eles se comportam de forma semelhante e, por isso, se enquadram na mesma categoria.

Nunca uma estrutura será feita com um único pino e o uso de dois e três pinos são apenas para estruturas isostáticas, pois em sua ligação haverá deformações. Apenas as ligações com quatro ou mais pinos são consideradas rígidas, segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997).

Os pregos são fixados nas peças com impacto e podem ser usados de forma temporária, apenas como suporte de montagem ou como peça definitiva.

Quando a madeira for pregada, é obrigatório a execução da pré-furação, cujo diâmetro não deve exceder o diâmetro do prego utilizado. Além disso, o comprimento que o prego penetrará em qualquer uma das peças ligadas não deve ser menor que a espessura da peça mais delgada. Caso contrário, o prego será considerado não resistente.



Figura 2.9 | Parafusos utilizados nas ligações em madeira

Fonte: https://goo.gl/kMqwRt. Acesso em: 3 maio 2017

Conectores: anéis metálicos e chapas

Os conectores podem ser constituídos por anéis metálicos ou por chapas metálicas com dentes estampados. A segurança desses elementos intermediários de aço deve ser verificada de acordo com

a NBR 8800 (ABNT, 2008).

Os anéis metálicos são utilizados geralmente nas emendas de elementos estruturais e quando há a união de duas ou mais peças. Sua ligação é considerada rígida. Admite-se o emprego de anéis metálicos estruturais apenas com diâmetros internos de 64 mm e 102 mm. Os anéis de 64 mm e 102 mm devem ser acompanhados por parafusos de 12 mm e 19 mm, respectivamente, colocados no centro do anel.

As chapas metálicas podem ser utilizadas tanto para unir os elementos (Figura 2.11), como para restringir seu deslocamento (Figura 2.10).

Figura 2.10 | Chapa metálica utilizadas para ligações em madeira e restrição do deslocamento



Fonte: https://goo.gl/kMqwRt. Acesso em: 3 maio 2017.

Figura 2.11 | Chapas metálicas utilizadas para ligações das vigas de madeira nos pilares



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/close-up-de-vigas-de-teto-gm182353677-11337913. Acesso em: 3 maio 2017.

As chapas metálicas podem unir os elementos tanto no comprimento de sua estrutura, isto é, no alongamento da própria

viga, como na ligação das vigas com os pilares. Elas também ligam as estruturas de uma treliça, como as diagonais com o banzo inferior e superior (Figura 2.12).

Figura 2.12 | Ligação por chapas metálicas na estrutura de um telhado



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/rustic-shelter-gm637690964-113878635>. Acesso em: 4 maio 2017.

Ligações por entalhes e emendas

Segundo Pfeil e Pfeil (2003), os entalhes são ligações em que a transmissão do esforço é feita por apoio nas interfaces. Esses entalhes devem ser executados com grande precisão, a fim de que a face transmissora do carregamento esteja completamente ligada a outra peça e a transferência de carga ocorra de forma homogênea (Figura 2.13).

Para que as peças sejam encaixadas de forma correta, utilizam-se parafusos ou talas laterais, que não são consideradas no cálculo das emendas, servindo apenas de guia.

Figura 2.13 | Ligação por entalhe das diagonais com o pendural



Fonte: https://goo.gl/ddJj3v>. Acesso em: 5 maio 2017.

As emendas de peças longas ocorrem quando são fixadas entre si, geralmente por chapas metálicas, anéis metálicos ou por chapas de madeira nas laterais da peça, fixadas por parafusos (Figura 2.14).

Figura 2.14 | Emenda utilizando chapas de madeira nas laterais do elemento



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/wood-roof-with-beams-gm613531776-105907589>. Acesso em: 5 mai. 2017



Exemplificando

Um dos locais comuns de encontrar as emendas são nos telhados, no banzo inferior, quando se utilizam as tesouras para vencer grandes vãos. Uma das peças do banzo inferior é fixada ao pendural ou pontalete, enquanto que a outra parte está fixada nela, conectadas por um chanfro em suas extremidades e conectadas entre si por anéis metálicos ou chapas metálicas ou de madeira.



MOLITERNO, A. Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira. São Carlos: Blucher, 1981.

Este manual apresenta um texto prático que objetiva auxiliar o engenheiro ou arquiteto, bem como os estudantes dessas áreas, no projeto e no cálculo de tais estruturas. A obra mostra detalhadamente as ligações em telhados de madeira

Sem medo de errar

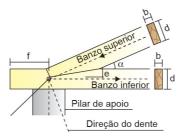
Após o dimensionamento das peças de um telhado, isto é, após verificação dos Estados Limites, quando a resistência das peças é suficiente para o esforço atuante, com segurança, e se, quando

utilizadas, trazem conforto para o usuário, então devem ser detalhadas cada ligação para execução na obra.

A execução adequada das ligações entre os elementos formadores da tesoura do telhado garantem o bom funcionamento da estrutura. A escolha da ligação também é um aspecto importante, além do tipo de madeira e da escolha de uma mão de obra capacitada.

Podemos citar como exemplo a conexão na extremidade da tesoura do banzo superior com o banzo inferior (Figura 2.15):

Figura 2.15 | Ligação do banzo inferior e superior

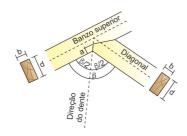


Fonte: Campos, Pereira e Chahud (2007)

A união correta desses elementos, como é possível observar na Figura 2.15, depende de alguns detalhes: o ângulo de encaixe do banzo superior e inferior deve estar executado com perfeição. Além disso, a escolha da madeira correta para suportar a carga no ponto é outro item a ser levado em conta. Um aspecto fundamental é a verificação de todos os detalhes na obra.

Vamos analisar mais uma ligação, a do banzo superior com a diagonal. Segundo Campos et al (2007), a ligação Banzo Superior-Diagonal (Figura 2.16) é feita por meio de dente simples entalhado na diagonal e uma cavidade feita no banzo superior da tesoura proporcionando um encaixe perfeito.

Figura 2.16 | Ligação do banzo superior e diagonal



Fonte: Campos et al (2007)

Além desses encaixes, temos ligações feitas com parafusos, pregos, placas metálicas, entre outros. A união dos elementos, seja por qual método o projetista opte, deve seguir as especificações técnicas determinadas pela norma vigente do país.

As ligações, emendas e encaixes devem ser feitas de modo preciso, para que as cargas fluam por toda a estrutura, conforme projetado.

Avançando na prática

Problemas das ligações

Descrição da situação-problema

Na área de lazer de um condomínio, projetou-se um quiosque aberto com telhado de madeira aparente. O projeto contava com detalhes de encaixe das peças em ângulos específicos, de acordo com o projeto. Além disso, o uso de pregos e parafusos conectavam a estrutura.

Entretanto, alguns problemas surgiram assim que a estrutura ficou pronta e foi feita a vistoria. As peças apresentavam fendilhamento. O projeto foi verificado e a madeira usada estava correta, inclusive com todos os dados anexos de ensaio das peças fornecidos pela empresa contratada pela entrega do material. Quais seriam os possíveis problemas para o fendilhamento das peças?

Resolução da situação-problema

A madeira, quando perfurada, pode apresentar problemas de fendilhamento. Os cuidados necessários para que esse problema não ocorra é fazer o pré-furo, quando necessário, escolher a madeira correta para o projeto e contratar uma mão de obra capacitada.

Na primeira análise, podemos observar que no caso avaliado a madeira era a correta, conforme a especificação do projeto e a entrega da empresa. Então podemos descartar algumas possibilidades, como a umidade. Quando a madeira não está devidamente seca, o momento da secagem provoca o fendilhamento da peça.

Na segunda análise, uma das causas é a falta do pré-furo antes

da colocação dos pregos. A seção da madeira fica enfraquecida com a execução do furo, pois ele diminui a sua seção. Nisto se inclui a mão de obra especializada, ou seja, profissionais que saibam como executar utilizando pregos.

Na terceira análise, pode ocorrer ainda a dobra do prego ao martelar. Portanto, não basta ter um projeto bem pensado e detalhado corretamente, é necessária também uma verificação minuciosa das empresas que prestam serviço, verificando se seus profissionais possuem capacidade na execução.

Faça valer a pena

1. Nas estruturas de madeira, há o amplo uso de pregos e parafusos para conexão das peças. A figura abaixo é um exemplo de uma ligação feita com parafusos:



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/luz-no-teto-gm178529406-22901609>. Acesso em: 7 maio 2017.

Analise as afirmações abaixo sobre as especificações das peças de madeira quando conectadas por pinos de madeira ou metálicos:

- I. As estruturas podem ser feitas com um único pino.
- II. O uso de dois e três pinos são apenas para estruturas isostáticas, pois em sua ligação ocorrerá deformações.
- III. As ligações com quatro ou mais pinos são consideradas rígidas.

Assinale a alternativa correta quanto ao uso de pinos nas estruturas:

- a) Apenas a I está correta.
- b) Apenas a I e a III estão corretas.
- c) Apenas a II e a III estão corretas.
- d) Apenas a I e a II estão corretas.
- e) Apenas a III está correta.
- **2.** As ligações, por conectarem as estruturas, devem transferir as cargas que atuam em um dos elementos para todos com que ela se conecta. As ligações podem conectar elementos de madeira entre si ou com outros tipos de materiais, formando estruturas mistas.

Assinale a alternativa com os tipos de ligações usadas nas estruturas:

- a) Pinos, conectores e ligações por emenda e entalhe.
- b) Pinos, entalhe e solda.
- c) Conectores, solda e entalhe.
- d) Chumbamento, solda e entalhe.
- e) Chumbamento, pinos, conectores e ligações por emendas e entalhe.
- **3.** Leia as seguintes asserções, considerando o que foi estudado sobre as ligações por entalhes:
- I Os entalhes devem ser executados com grande precisão.

A fim de que:

II - A face transmissora do carregamento esteja completamente ligada a outra peça e a transferência de carga ocorra de forma homogênea.

Analise as asserções e em seguida marque a alternativa correta:

- a) As asserções I e II são proposições falsas.
- b) A asserção I é uma proposição verdadeira e a asserção II é uma proposição falsa.
- c) As asserções I e II são proposições verdadeiras, mas a II não é uma justificativa da I.
- d) A asserção I é uma proposição falsa e a asserção II é uma proposição verdadeira.
- e) As asserções I e II são proposições verdadeiras e a II é uma justificativa da I.

Seção 2.3

Dimensionamento de peças em madeira

Diálogo aberto

Caro aluno,

Na seção anterior, conhecemos as ligações utilizadas entre os elementos de madeira e entre a madeira e outros tipos de estruturas e sua principal função é que as cargas atuantes em uma parte do elemento sejam distribuídas por toda a estrutura. Assim, como projetista na elaboração da cobertura de um shopping center, você deve conhecer cada etapa de concepção do projeto.

Você e sua equipe já determinaram os esforços atuantes na sua cobertura e as ligações entre as peças, mas qual é o tamanho ideal das peças? Após dimensionar cada uma, é necessário que você as adapte às dimensões padrões do mercado da madeira para que encontre o material mais facilmente e que seja de fácil mobilidade e sem desperdício de material. Seu projeto deve ser legível e com peças de tamanho padrão.

Nesta seção, veremos as medidas padrões disponíveis no mercado, o comportamento de vigas sujeitas à flexão e as treliças, os modelos mais utilizados em madeira. Ao final, um projeto em madeira será apresentado.

Dedicando-se ao estudo deste livro, você será capaz de coordenar um projeto de madeira, que será de grande valia para sua vida profissional.

Bons estudos!

Não pode faltar

As madeiras utilizadas na construção civil são classificadas segundo o seu uso, que pode ser temporário ou definitivo. As peças de construção civil pesada são os elementos de grande porte, normalmente que formam a estrutura, como vigas, pranchas e tábuas, e as de construção civil leves são as fáceis de serem manejadas e apenas complementam a estrutura, como o fechamento, as ripas e os

caibros. São consideradas da construção civil pesada externa as peças aplicadas em estacas marítimas, pontes, dormentes ferroviários, obras submersas, postes e torres. As da construção civil pesada interna abrangem as peças serradas para vigas, caibros, pranchas e tábuas empregadas nas coberturas.

Na construção leve externa e interna ficam as peças de madeira serrada na forma de tábuas e pontaletes para uso temporário, tais como andaimes, escoras e peças para fôrmas. As ripas e os caibros usados na estrutura de cobertura também se enquadram nessa categoria. Há, ainda, outras classificações, como decorativa, em que se encontram os painéis, lambris, as de esquadrias e as de assoalhos. Para todas essas categorias, exige-se uma padronização para as medidas das peças de madeira.

Dimensões padrões da madeira

A falta da padronização das peças de madeira é um problema frequente na área da construção civil no Brasil (OLIVEIRA et al., 2008). Apenas nos grandes centros o padrão é mais elevado e exige-se medidas comerciais. As peças destinadas à exportação também são rigidamente inspecionadas, pois o mercado é mais exigente. Após a escolha da madeira para o uso, recomenda-se determinar qual a espécie e suas dimensões.

As dimensões adotadas pelo mercado são comerciais e nem sempre seguem a norma técnica. Entretanto, a NBR 7203 (ABNT, 1982) apresenta as dimensões dos principais produtos de madeira serrada (Quadro 2.6).

Quadro 2.6 | Dimensões dos principais produtos de madeira serrada

Produtos	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (m)
Pranchão	Maior que 70	Maior que 200	Variável
Prancha	40 – 70	Maior que 200	Variável
Viga	Maior que 40	110 - 200	Variável
Vigota	40 – 80	80 – 110	Variável
Caibro	40 – 80	50 – 80	Variável
Tábua	10 - 40	Maior que 100	Variável
Sarrafo	20 – 40	20 – 100	Variável
Ripa	Maior que 20	Maior que 100	Variável
Dormente	160 – 170	220 – 240	2,00 - 5,60 / 2,80 - 5,60

Pontalete	75	75	Variável
Bloco	Variável	Variável	Variável

Fonte: NBR 7203 (ABNT, 1982, p. 1)

O grande problema de não seguir um tamanho padronizado é o desperdício decorrente do corte das peças inadequadas para ajuste do tamanho. Assim, os projetistas devem optar em seus projetos por medidas padrões.

Vigas

As vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante e elementos lineares são aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal, sendo também denominadas barras. (NBR 6118, ABNT, 2014). Na flexão, os esforços que predominam são a força cortante e o momento fletor.

Figura 2.17 | Vigas de madeira



 $Fonte: \\ \label{eq:fonte: fonte: fo$

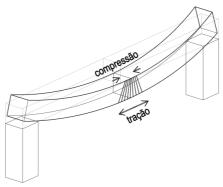
As vigas, geralmente, recebem a carga das lajes e das paredes e distribuem as cargas para os pilares.



Como a madeira é um material resistente tanto à tração quanto à compressão, ela resiste bem também a flexão simples, já que na flexão

ocorrem tração e compressão simultaneamente.

Figura 2.18 | Flexão de viga



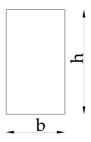
Fonte: elaborada pelo autor.

Na tração, as partículas da madeira tendem a se separar, provocando fissuras, enquanto na compressão tendem a se unir, provocando o esmagamento. Quanto mais carregada a viga for, maior será sua deformação, isto é, as seções que antes estavam verticais e paralelas, tendem-se a girar. Se ela for carregada com uma carga maior do que pode suportar, a compressão excessiva esmagará a viga e a tração provocará a formação de trincas, até que a peça entre em colapso.

Para calcular uma viga de madeira, deve-se determinar primeiro o tipo de madeira que trabalhará e, em seguida, levantar as cargas da laje (reações de apoio) e as cargas das paredes. Após o prédimensionamento, verificar se a peça resiste às tensões atuantes.

A seção geralmente usada nas peças de madeira são as retangulares, cuja altura (h) é maior que a largura (b).

Figura 2.19 | Seção retangular de uma viga



Fonte: elaborada pelo autor.

Como as vigas de madeira disponíveis no mercado têm limites de comprimento, largura e altura, para vencer grandes vãos com as vigas de madeira, é necessário que haja a composição de seções utilizando estas peças comerciais ou a madeira laminada e colada.

Um dos problemas das vigas de madeira é sua ligação com os pilares. Para que esta ligação seja a mais rígida possível (e o giro em relação ao pilar seja menor), ela pode ser feita com a utilização de chapas em metal ou madeira e parafusos.

Vigas em treliça

As treliças são sistemas muito econômicos quando se avalia o consumo de material, além de ser modelos estruturais que vencem grandes vãos. A maior dificuldade é sua execução e montagem, que requer uma mão de obra especializada. Elas são amplamente usadas em pontes e coberturas, pois são estruturas mais leves do que as vigas.

A treliça é formada por barras, nas quais suas uniões são feitas pelos nós. Sua estrutura é formada por barras sujeitas à compressão ou tração, o que torna este tipo de modelo mais simples de calcular.



Figura 2.20 | Ponte com estrutura treliçada

Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/passarela-no-parque-3-gm172228984-2783031>. Acesso em: 14 mai. 2017.

As cargas da treliça são sempre aplicadas nos nós. Quando essas cargas estão fora dos nós, provocam a flexão das barras, tornando seu cálculo mais complexo. As diagonais também não podem ser muito

inclinadas, ficando entre 30° e 60°. Fora deste limite, a estrutura se torna antieconômica e as seções dos elementos da treliça de madeira são geralmente retangulares ou quadradas.



Exemplificando

A maioria das pontes de madeira são feitas com estruturas treliçadas, cujo sistema permite maior rigidez com peso baixo na estrutura final e as treliças são pré-fabricadas e apenas montadas no local da obra, o que facilita o transporte.

Desenvolvimento de um projeto estrutural de madeira

Para desenvolver o projeto estrutural de madeira, primeiramente é necessária a determinação do modelo estrutural. Se for uma cobertura, definir qual modelo de treliça se adapta melhor. Se for um pórtico, conhecer a planta do projeto.

Após a definição do modelo, deve-se determinar os carregamentos atuantes. Além do peso próprio do material, no caso de coberturas, definir o tipo de telha e o seu peso. Levar em conta também o peso de pessoas para manutenção, a ação do vento e da chuva.

Nas vigas, calcular as áreas de influência das lajes que atuarão nas peças de madeira (Figura 2.21), além de verificar se há paredes sobre a viga ou alguma outra viga apoiada naquela a ser calculada (Figura 2.22).



Figura 2.21 | Vigotas de madeira apoiadas em viga

 $Fonte: < http://www.istockphoto.com/br/foto/m\%C3\%B3veis-\%C3\%A9tnica-sala-de-estar-gm138027105-19058227>. Acesso \ em: 14 \ mai. 2017.$

Figura 2.22 | Viga apoiada em viga



Fonte: https://goo.gl/sux8af>. Acesso em: maio 2017

Tanto para o modelo de treliça quanto a viga, determinar os esforços nas barras. Na treliça, o cálculo será feito levando-se em conta a compressão e tração; na viga, a flexão.



Reflita

Você já observou como os projetos que possuem grandes vãos, como pontes e coberturas de ginásios, são feitos com estruturas tipo treliça? Além de serem mais leves, economizam material e o custo da obra é reduzido.

Após obtenção dos esforços, dimencionam-se as barras. Para esforços altos, pode-se utilizar mais do que uma peça para se formar uma seção composta (Figura 2.23). No dimensionamento, verifica-se os elementos no Estado Limite Último e no Estado Limite de Serviço.

Figura 2.23 | Seção composta de vigas de madeira



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/roofing-gm666976576-121647817>. Acesso em: 14 maio 2017.

Após dimensionamento, calcula-se e detalha-se as ligações entre as peças.

O projeto final será composto dos materiais adotados, o esquema estático do projeto, detalhamento das peças e ligações.



REBELLO, Y. C. P. Estruturas de aço, concreto e madeira. Atendimento da expectativa dimensional. São Paulo: Zigurate, 2005.

Neste livro, encontram-se exemplos de cálculo de alguns elementos de madeira, como vigas e pilares.

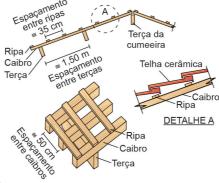
Sem medo de errar

Em um telhado, o tamanho ideal de cada peça irá variar com o local onde se encontra. As ripas, que recebem as telhas, usualmente têm seção de 1,5 cm por 5,0 cm ou 1,0 cm por 5,0 cm. A distância entre as ripas é função do tamanho da telha escolhida e pode variar bastante. As telhas usuais ficam em torno de 35 cm.

Os caibros, que apoiam as ripas, são utilizados com seções de 5,0 cm por 6,0 cm ou 6,0 cm por 6,0 cm. A distância entre os caibros fica entre 40 cm e 60 cm.

As terças, que apoiam os caibros e descarregam nas tesouras, têm seção de 6,0 cm por 12,0 cm ou 6,0 cm por 16,0 cm. A distância entre as terças fica em torno de 1,50 cm, no caso de telhas cerâmicas.

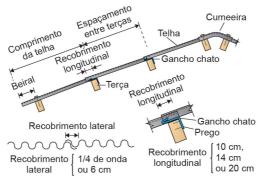
Figura 2.24 | Trama para um telhado de telhas cerâmicas



Fonte: Logsdon (2012, p.17).

Vale salientar que telhados com telha de fibrocimento possuem outro modelo de estrutura (Figura 2.25) e que as distâncias devem ser calculadas de acordo com a telha, visando sempre a segurança no momento da manutenção.

Figura 2.25 | Trama para um telhado de telhas de fibrocimento



Fonte: Logsdon (2012, p.18).

Um fator importante nos telhados é se atentar para a inclinação ideal das telhas, dado fornecido pelo fabricante. A inclinação deve ser rigorosamente seguida para que não haja infiltrações no telhado em chuvas pesadas e com vento.

Os outros elementos do telhado, como a tesoura, devem ser calculados em função do vão do local.

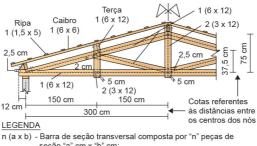
As cargas adotadas para o carregamento permanente da tesoura são:

- 1. Peso próprio da treliça.
- 2. Peso próprio das terças.
- 3. Peso próprio das telhas.
- 4. Peso próprio das peças metálicas de união para a treliça.
- 5. Peso próprio do contraventamento.
- 6. Peso extra decorrente dos enfeites utilizados no shopping, sendo considerado o peso maior que o enfeite pode ter.

As cargas adotadas para o carregamento acidental na tesoura são:

1. Carregamento devido ao vento.

Figura 2.26 | Exemplo de detalhamento de uma tesoura



- seção "a" cm x "b" cm;
- Pregos de número comercial 20 x 42;
- Parafusos de 1/2" de diâmetro e 18 cm de comprimento, e
 - - Linhas de eixo da treliça.

Fonte: Langston (2012, p. 22).

Lembre-se de contratar uma mão de obra especializada, pois a estrutura de um telhado requer muitos recortes na madeira com precisão.

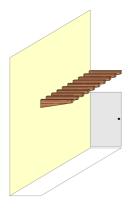
Avançando na prática

Vigas em balanço

Descrição da situação-problema

Um cliente solicitou seu auxílio para modificar a área externa de sua casa e você sugeriu a construção de um pergolado em madeira. O espaço disponível para o projeto fica na lateral da casa e o pergolado terá em torno de 1,00 m de largura (Figura 2.27).

Figura 2.27 | Croqui do pergolado na lateral da casa



Fonte: elaborado pelo autor.

Os desafios do projeto se encontram em como fixar o pergolado, pois ele deverá ser colocado na parede da casa.

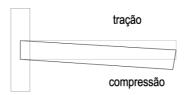
Resolução da situação-problema

Um elemento de madeira como o pergolado, neste caso fixado em apenas uma das extremidades, deve ser colocado engastado na parede e este engaste deve garantir que a madeira não gire sobre seu eixo, nem que haja deslocamentos horizontais, nem verticais.

As peças podem ser fixadas utilizando-se chapas metálicas chumbadas na parede. Vale salientar que a madeira deve ser de baixa densidade e as peças com pequenas dimensões. Outra possibilidade é a fixação de uma peça de madeira na parede e o pergolado fixado em uma das extremidades nesta peça.

As vigas em balanço possuem as tensões invertidas em relação às vigas sujeitas à flexão (Figura 2.28).

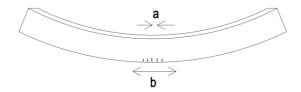
Figura 2.28 | Viga em balanço



Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. O desenho abaixo apresenta o comportamento de uma viga após carregamento. A viga está flexionada e, em sua face superior, os elementos se unem, enquanto, na face inferior, eles se afastam, criando inclusive pequenas fissuras.



Fonte: elaborada pelo autor.

Quais esforços estão ocorrendo nas letras "a" e "b"?

- a) a cisalhamento; b compressão.
- b) a tração; b compressão.
- c) a flexão: b cisalhamento.
- d) a compressão: b tração.
- d, a compressão, b tração.
- e) a compressão; b torção.

2. Analise as afirmações abaixo:

- I As vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante.
- II Elementos lineares são aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal.
- III Na flexão, os esforços que predominam são a força cortante e o momento fletor.

É correto o que se lê em:

- a) I, apenas. d) III, apenas.
- b) l e ll, apenas. e) ll e lll, apenas.
- c) I, II e III.

3. Analise as afirmações abaixo:

- I A tração e a compressão ocorrem simultaneamente.
- II A peça pode estar comprimida ou tracionada.
- III Amplamente utilizada em pontes e coberturas.
- IV Sua seção é geralmente retangular.
- V A ligação entre as peças é chamada de "nó".

E associe aos elementos apresentados:

- a Vigas sujeitas à flexão.
- b Vigas em treliça.

Assinale a alternativa que contém a associação correta:

- a) I-b ; II-b ; III-a ; IV-a ; V-a.
- b) I-a ; II-b ; III-a ; IV-a ; V-b.
- c) I-b ; II-a ; III-b ; IV-a ; V-a.
- d) I-b; II-b; III-a; IV-a; V-b.
- e) I-a; II-b; III-b; IV-a; V-b.

Referências

ABNT. NBR 7203 – Madeira beneficiada e serrada . Rio de Janeiro: ABNT, 1982.
NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto armado. Río de Janeiro: ABNT
2014.
NBR 7190 – Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
NBR 8800 – Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

CALIL JUNIOR, C.; BRITO, L. D. Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento. Substituir por: São Carlos: EESC-USP, 2010.

CAMPOS, R. B. A.; PEREIRA, S. S. R.; CHAHUD, E. Sambladuras em telhados com estrutura de madeira tipo howe em Belo Horizonte. **Revista Madeira Arquitetura e Engenharia**, n. 21, ano 8, jul./dez. 2007.

CALIL JUNIOR, C. LAHR, FF. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de Madeira**. Barueri: Manole, 2003.

FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA O ENSINO DE ESTRUTURAS. Disponível em: http://www.etools.upf.br/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=4. Acesso em: 25 abr. 2017.

ISAIA, G. C. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: IBRACON, 2010, v. 1.

LOGSDON, V. B. Apostila de estruturas de madeira para coberturas. 2012. Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Engenharia Florestal, Cuiabá.

OLIVEIRA, V. M. et al. Adequação às normas e qualidade da madeira serrada para fins estruturais comercializada no Distrito Federal. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, jul./ set. 2008.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**: dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critérios das normas norte-americana NDS e europeia EUROCODE 5. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2003.

REBELLO, Y. C. P. **Estruturas de aço, concreto e madeira**. Atendimento da expectativa dimensional. São Paulo: Zigurate, 2005.

Estrutura de aço: utilização e classificação

Convite ao estudo

Caro aluno.

Seja bem-vindo à terceira unidade de ensino da disciplina Sistemas Estruturais II. Nesta unidade, iniciaremos o nosso estudo das estruturas metálicas. Mundo afora podemos ver as estruturas metálicas sendo usadas nas mais diferentes construções: prédios, pontes, galpões, reservatórios, passarelas, entre outros. Dentre algumas estruturas famosas, podemos citar a *Eiffel Tower*, em Paris, França; as Torres Petronas, em Kuala Lumpur, Malásia; a *London Eye*, em Londres, Inglaterra; e a *Singapore Flyer*, em Singapura.

Quando pensamos em estruturas metálicas, inúmeras possibilidades vêm à nossa mente, mas para que seu projeto se torne real, você deverá se dedicar inicialmente ao estudo do material, pois ele lhe direcionará para a escolha correta da tipologia da estrutura. Conhecer e empregar a tecnologia do aço como elemento e produto do sistema de construção requer empenho, e para que este uso do material alcance seu melhor desempenho, você deve se dedicar a aprender a classificação, as características e propriedades físicas do aço. Consequentemente, o seu projeto arquitetônico será tão economicamente viável, quanto belo.

Como situação prática profissional, uma empresa de projetos, que atua em estruturas complexas de forma criativa, preocupada com a arquitetura dos seus projetos no contexto urbano, lhe entregou um novo desafio: projetar uma passarela em estrutura metálica na cidade. Como responsável por esse projeto, você deverá conhecer as propriedades do aço, os

tratamentos para melhor durabilidade e determinar o design desta estrutura para um melhor custo-benefício.

Este trabalho contemplará um estudo profundo do material, para analisar as vantagens do aço em relação a outros materiais, como o concreto, conhecer os perfis disponíveis no mercado, para compor a estrutura, saber os tipos de ligações entre os elementos estruturais e verificar como podemos vencer grandes vãos com este tipo de estrutura.

Ao final desta unidade, você terá as ferramentas necessárias para seu projeto!

Bom estudo!

Seção 3.1

Propriedades do aço

Diálogo aberto

Caro aluno.

Seja bem-vindo a mais uma unidade de ensino. Nesta seção, trataremos das características necessárias do aço para o desenvolvimento de um projeto em estrutura metálica, os problemas relacionados à fadiga do material devido às ações repetidas, assim como a corrosão, um dos problemas usuais nos aços não tratados. Além disso, serão apresentadas as normas técnicas brasileiras vigentes que direcionam o cálculo e as definições do projeto estrutural e, no final da seção, as vantagens e as desvantagens da estrutura metálica.

Quantas estruturas metálicas você tem visto em sua cidade? Pontes, edifícios de múltiplos andares, torres, shopping centers, coberturas de ginásios, prédios industriais, entre outros.

No seu desafio profissional de projetar uma passarela, seu chefe lhe pediu para verificar se essa estrutura é vantajosa em relação ao concreto armado. Para isso, você deve conhecer as características do aço e sua classificação e principalmente suas vantagens e desvantagens. Como arquiteto responsável por essa passarela, ao final desta seção você terá as informações necessárias para avaliar seu projeto e apresentar a solução ao seu chefe.

Bom estudo!

Não pode faltar

As estruturas metálicas são muito versáteis, permitindo ao projetista uma ousadia maior do que a tida nos projetos de concreto armado, devido à alta resistência do aço. Elas são amplamente usadas mundo afora (Figura 3.1), principalmente nos países desenvolvidos, pois apresenta uma boa padronização técnica e velocidade de execução.

Figura 3.1 | Torre Eiffel



Fonte: acervo do autor

Existem vários tipos de estruturas metálicas, sendo que cada uma apresenta características técnicas, estruturais e estéticas que correspondem a determinados tipos de utilização. Dentre as inúmeras aplicações das estruturas metálicas, pode-se citar:

- Residências, edifícios industriais e comerciais.
- Telhados e coberturas.
- Mezaninos e escadas.
- Hangares, pontes rolantes e equipamentos de transporte.
- Passarelas, pontes e viadutos.
- Reservatórios
- Torres, guindastes e postes.
- Indústria naval

Características e classificação de aços estruturais

Para o dimensionamento de peças estruturais, além da determinação da estabilidade global e dos esforços internos solicitantes, é necessário definir algumas características geométricas da seção plana transversal que será calculada.

Como características geométricas principais, tem-se:

- Área.
- Centro de gravidade.

- Momentos de inércia.
- Produto de inércia.
- Raio de giração.
- Momento resistente elástico.
- Momento resistente plástico.

Além das características geométricas, suas características físicas são de fundamental importância, especificamente no campo de estruturas metálicas, cujo projeto e execução nelas se baseiam. Não são exclusivas dos aços, servem a todos os metais. Quando ensaiamos uma barra metálica ao esforço de tração crescente, em um ensaio de resistência, ela apresentará uma deformação progressiva em sua extensão, ou seja, um aumento de comprimento. Por meio da análise desse alongamento, pode-se chegar a alguns conceitos e propriedades dos aços.

As características físicas dos aços estruturais são:

1. Curva tensão-deformação.

A tensão (σ) no gráfico é determinada dividindo-se a carga aplicada (F) em uma determinada área (A).

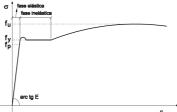
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

E a deformação (ε) é a leitura no extensômetro, isto é, o quanto o material alongou-se – a diferença do comprimento final (L_f) menos o comprimento inicial (L_i) dividido pelo comprimento inicial (L_i).

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_i}{L_i}$$

Existem dois tipos de curvas tensão-deformação, conforme é possível analisar nas Figuras 3.2 e 3.3:

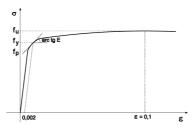
Figura 3.2 | Diagrama tensão-deformação com patamar: chapas laminadas a quente



Fonte: elaborada pelo autor.

A fase elástica se caracteriza por uma reta, em que a tensão é proporcional à deformação e o módulo de elasticidade (E) é constante. A fase inelástica se caracteriza pela não proporção da tensão e deformação e, mesmo sem o aumento da força aplicada, a peça continua a se deformar.

Figura 3.3 | Diagrama tensão-deformação com patamar: chapas laminadas a frio



Fonte: elaborada pelo autor.

Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é a inclinação da curva tensãodeformação, encontrado na tangente da curva, sendo constante na fase elástica, enquanto que na inelástica é variável. No aço, o módulo de elasticidade adotado de forma geral no cálculo é de E = 200.000 MPa, mas pode variar em função do tipo de aço.

Coeficiente de Poisson

Quando tracionamos uma peça, ao mesmo tempo que ela se alongará, sua seção transversal diminuirá. O Coeficiente de Poisson (v) relaciona estas deformações. Para o aço, admite-se v = 0,3.

4. Peso específico

O peso específico (peso por unidade de volume) do aço é $\gamma = 78.5$ kN/m³.

5. Coeficiente de dilatação térmica

O coeficiente de dilatação térmica (aumento de volume ocasionado pelo aumento da temperatura) do aço é β = 1,2 . 10^{-6} °C⁻¹.

Ductibilidade

É a capacidade do material de deformar-se plasticamente sob a ação de cargas antes de se romper.

Essa propriedade é importante, pois é o aviso prévio da ruptura do material, antes do colapso da estrutura. A observação dos elementos para verificar se estão muito deformados ou apresentando trincas, acaba se tornando uma forma de prevenir os acidentes, pois dará tempo do local ser evacuado até a análise de especialistas.

Após deformação, o material se torna mais frágil, o oposto à ductilidade, e esse é o momento em que podem se romper bruscamente, sem aviso prévio (um dos principais fatores responsáveis por diversos tipos de acidentes). Os aços podem ter características de elementos frágeis em baixas temperaturas ambientes.



Resumo das características gerais do aço:

Módulo de elasticidade (E)	200.000 MPa
Coeficiente de Poisson (v)	0,3
Peso específico (γ)	78,5 kN/m³
Coeficiente de dilatação térmica	1,2 · 10 ⁻⁶ °C ⁻¹

As estruturas de aço são classificadas em função da sua composição química, sendo o aço dividido em: aço carbono; aço de baixa liga e alta resistência mecânica; aço de baixa liga e alta resistência mecânica resistente à corrosão atmosférica; aço de baixa liga temperado e autorrevenidos.

Esses aços são os mais frequentes para uso estrutural. Na NBR 8800 (ABNT, 2008), estão listadas suas características em formas de tabelas.

Fadiga e corrosão

Os elementos estruturais de engenharia em serviço estão submetidos constantemente a carregamentos que se repetem no tempo, também denominados carregamentos cíclicos. O processo cíclico altera a estrutura, causando uma alteração permanente e localizada, com a geração e a propagação de trincas, e é denominado

fadiga. Diz-se que o processo é progressivo, pois se verifica durante certo período de tempo ou uso do material.

A fratura por fadiga sempre se inicia com uma pequena trinca, que se encontra na superfície do material, visto que aí a concentração de tensões é máxima. A trinca geralmente ocorre em locais mais frágeis da peça, podem ser riscos, mudanças bruscas de seção, inclusões etc. Além disso, as microtrincas podem estar presentes como decorrências dos processos de soldagem, tratamento térmico ou conformação mecânica.

Assim, em um estágio inicial, que corresponde em média a 90% da vida de um componente, ocorre o crescimento microscópico da trinca, sem alterações visíveis de microestrutura. Como consequência das aplicações repetidas de tensão, a trinca aumenta de tamanho até se tornar aparente, constituindo o segundo estágio do processo. Após este estágio, a taxa de crescimento da trinca aumenta rapidamente, atingindo um valor crítico no qual o componente estrutural não é mais capaz de suportar as cargas aplicadas, conduzindo este à ruptura final, o que caracteriza o terceiro estágio do processo (LAGE, 2008).

Já a corrosão (Figura 3.4) é um fenômeno natural, definida como a "deterioração de um material, usualmente um metal, resultante de reações químicas ou eletroquímicas com seu ambiente" (ASTM, 2012 apud PANNONI, 2015, p.11).

Figura 3.4 | Corrosão em silos



Fonte: https://goo.gl/TBQ35g. Acesso em: 30 maio 2017.

Para que estas reações não ocorram ou não causem danos estruturais, os componentes de aço da estrutura devem ser dimensionados com sobre-espessura para tolerar a corrosão ou devem ser protegidos de maneira que garantam o seu desempenho na estrutura.

Há também a corrosão atmosférica, fenômeno que ocorre na presença simultânea de água e oxigênio. Esse tipo de corrosão modifica o período de vida útil da estrutura se não houver uma manutenção adequada e constante. Para solução desse problema, diversos tipos de produtos estão disponíveis no mercado, variando em função do fator técnico e econômico.

A corrosão maior ocorre quando a umidade relativa do ar estiver superior a 80% e em temperaturas acima de 0 graus Celsius. Um fator influenciador é se há poluentes no ar que possam modificar esses dados. Outro fator que interfere drasticamente na corrosão é se a estrutura metálica está localizada em áreas externas, sujeita a intempéries, o que afeta a sua durabilidade. Já em ambientes internos, isto é, dentro de uma edificação, os efeitos decorrentes das intempéries são reduzidos ou até mesmo inexistentes.



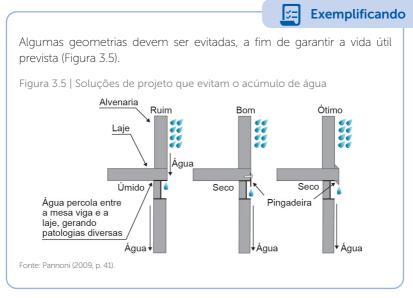
Reflita

Você já viu algumas estruturas de aço cobertas por um concreto jateado?

Elementos de aço revestidos por concreto, por acabamentos ou com proteções contra o fogo não precisam de proteção contra a corrosão, pois dificilmente são atingidos. Uma das exceções é se o ambiente está sujeito a altas umidades, então, consequentemente, precisará de uma proteção. Portanto, a análise do ambiente onde haverá a construção e o uso da estrutura são fundamentais para definição da proteção química escolhida para proteger contra a corrosão.

Em relação aos aços resistentes à corrosão, podemos optar pelos inoxidáveis, visto que o uso deste material tem aumentado exponencialmente nos últimos anos. A maioria do seu emprego ocorre na arquitetura, pois a qualidade estética está aliada à alta resistência ao impacto, corrosão, abrasão e sua grande durabilidade. O aspecto visual é de grande importância na escolha e emprego do material e os fornecedores devem ter os cuidados específicos na fabricação das peças e componentes. Por outro lado, o arquiteto deverá fornecer

um bom detalhamento de projeto para que a execução seja bem feita. (FERRAZ, 2003)



Normas para estruturas de aço

As principais normas utilizadas para cálculo das estruturas metálicas são listadas abaixo:

- ABNT NBR 8800/2008: Projeto de Estruturas de Aço e de Estrutura Mista de Aço e Concreto de Edifícios.
- ABNT NBR 14323/1999: Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio Procedimento.
- ABNT NBR 14762/2001: Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio Procedimento.
- ABNT NBR 6355/2012: Perfis estruturais de aço formados a frio Padronização.

Vantagens e desvantagens da utilização do aço

As vantagens das estruturas metálicas são:

- 1. Fabricação das estruturas com precisão milimétrica, o que possibilita um alto controle de qualidade do produto acabado.
 - 2. Maior leveza na estrutura, em relação ao peso/resistência.
- 3. Garantia das dimensões e propriedades dos materiais, pela produção ser controlada em fábrica.

- 4. Material resistente a vibração e a choques.
- 5. Facilidade em reforços, manutenção e troca de elementos.
- 6. Possibilidade de maior rapidez na execução e montagem quando comparadas ao sistema tradicional em concreto e alvenaria.
- 7. Maior liberdade na criação do projeto arquitetônico devido aos vãos maiores
- 8. Em caso de necessidade, possibilita a desmontagem das estruturas e sua posterior montagem em outro local.
- 9. Possibilidade de reaproveitamento dos materiais em estoque, ou mesmo, sobras de obra.
 - 10. Retorno do capital investido em um prazo menor.

Como desvantagens, é possível citar:

- 1. Limitação de execução em fábrica, em função do transporte até o local de sua montagem final.
- 2. Necessidade de tratamento superficial das peças contra oxidação, devido ao contato com o ar atmosférico.
- 3. Necessidade de mão de obra e equipamentos especializados para sua fabricação e montagem.
 - 4. Limitação de fornecimento de perfis estruturais.

Pesquise mais

O site da ABCEM tem estudos e pesquisas sobre a produção, o mercado e suprimentos do setor, além de trabalhar na imagem da construção metálica no país. No site encontram-se cursos na área da construção metálica. Disponível em: http://www.abcem.org.br/>. Acesso em: 16 ago. 2017.

Este site do Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) possui um banco de dados de fotos de obras em estruturas metálicas, comerciais, industriais e residenciais. Disponível em: https://goo.gl/aXdN99>. Acesso em: 16 ago. 2017.

Sem medo de errar

Neste projeto, para apresentar as vantagens do aço em relação ao concreto armado, é necessário saber as características físicas do aço, dentre elas a curva de tensão-deformação, o módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, peso específico, coeficiente de dilatação térmica e a ductibilidade, pois são nelas que os projetos se baseiam.

A estrutura metálica é mais leve do que a de concreto armado. Como consequência, a sua fundação também ficará mais barata, pois a carga será menor. Outro aspecto importante é a flexibilidade dos arranjos estruturais, permitindo mais liberdade aos projetos arquitetônicos. Os vãos podem ser maiores com uma estrutura de menor altura da seção transversal da viga.

Figura 3.6 | Ponte de Notre Dame, Paris, em estrutura metálica



Fonte: acervo do autor.

Além disso, a precisão dos elementos é milimétrica, oferecendo um alto padrão da estrutura e, apesar da mão de obra especializada, sua execução é mais rápida pelo mesmo motivo. Consequentemente, o retorno financeiro da obra será mais rápido, pois seu uso será antecipado em relação a uma obra de concreto armado. Sua manutenção é outra vantagem se comparada à construção de concreto, pois quando tratada quimicamente, sua vida útil aumenta. A manutenção do concreto é mais complexa. No entanto, em relação ao reforço e à ampliação, requer muito menos trabalho e transtorno e quanto à sustentabilidade, suas peças podem ser reaproveitadas, pois são 100% recicláveis.

Portanto, a estrutura metálica possui inúmeras vantagens e em vários casos seu custo benefício é melhor do que o concreto.

Avançando na prática

Corrosão

Descrição da situação-problema

Uma marquise, localizada na fachada frontal de um hotel de luxo, é o local de espera dos hóspedes na entrada e saída. Após anos de uso, começou a apresentar problemas: além da parede estar com marcas de ferrugem escorrida, a peça está com uma grande corrosão e perda do material no local de ligação com a parede da fachada. Sabendo-se disso, você foi contratatado para analisar o problema e apresentar soluções.

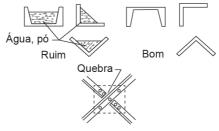
Resolução da situação-problema

Locais onde a água pode ficar acumulada aumentam a tendência à corrosão e, portanto, devem ser evitadas. Um outro problema que causa a corrosão é o depósito de produtos que possam acelerar esse processo.

Assim, uma marquise tem a tendência a acumular água no encontro com a parede, até por causa de sua inclinação, que geralmente está com queda neste ponto crítico.

Como solução para o acúmulo de água nos projetos de marquise, deve-se: evitar seções abertas onde a água possa escorrer ou se acumular entre os elementos de aço; eliminar os locais onde a água ou a sujeira possam ficar acumuladas e projetar a drenagem e captação da água para fora da estrutura, conforme recomenda a NBR 8800 (Figura 3.7).

Figura 3.7 | Posições para evitar o acúmulo de água e sujeira



Fonte: ABNT (2008, p. 167).

Tomando-se esses cuidados, esta estrutura terá uma grande durabilidade

Faça valer a pena

- **1.** Abaixo estão listadas as características físicas do aço:
- 1 Ductibilidade
- 2 Módulo de elasticidade
- 3 Coeficiente de Poisson
- 4. Peso específico.
- A. É a inclinação da curva tensão-deformação. Na fase elástica, é constante e, na inelástica, é variável, encontrado na tangente da curva.
- B. Do aço é v = 0,3.
- C. Do aço é $\gamma = 78,5 \, kN \, / \, m^3$.
- D. É a capacidade do material de deformar-se plasticamente sob a ação de cargas antes de se romper.

Associe, relacionando as características físicas do aço com sua respectiva definição.

- a) 1 A; 2 B; 3 D; 4 C. d) 1 A: 2 D: 3 B: 4 C. b) 1 D; 2 A; 3 B; 4 C. e) 1 D; 2 A; 3 C; 4 B.
- c) 1 C: 2 A: 3 B: 4 D.
- **2.** Ductibilidade é a capacidade do material de _____ plasticamente sob a ação de cargas antes de se _____. Esta propriedade é importante pois é o aviso prévio da ruptura do material, antes do _____ da estrutura. A observação dos elementos para verificar se estão muito deformados ou apresentando trincas acaba se tornando uma forma de prevenir os _____, pois dará tempo do local ser evacuado até a análise de especialistas.

Construa a frase sobre a ductibilidade do aço, preenchendo as lacunas, respectivamente:

- a) Deformar-se; romper; assentamento; acidentes.
- b) Expandir-se; romper; colapso; acidentes.
- c) Deformar-se; esticar; colapso; acidentes.
- d) Deformar-se; romper; colapso; acidentes.
- e) Expandir-se; esticar; colapso; acidentes.
- **3.** Este problema que ocorre nas estruturas metálicas e é definido por uma "deterioração de um material, usualmente um metal, resultante de reações químicas ou eletroquímicas com seu ambiente." (ASTM, 2012 apud PANNONI, 2015, p. 11)



Fonte: https://goo.gl/TBQ.35g. Acesso em: 30 maio 2017.

Para que estas reações não ocorram ou não causem danos estruturais, os componentes de aço da estrutura devem ser dimensionados com sobre-espessura ou devem ser protegidos, a fim de garantir o seu desempenho. Baseado na figura acima e nas definições dadas, assinale a afirmativa que corresponde a este problema nas estruturas metálicas:

- a) Alongamento.
- b) Fissuração.
- c) Corrosão.
- d) Trincas.
- e) Fadiga.

Seção 3.2

Peças confeccionadas em aço

Diálogo aberto

Caro aluno,

Na seção anterior, conhecemos as características do aço para o desenvolvimento de um projeto em estrutura metálica, os problemas relacionados à fadiga do material devido às ações repetidas, assim como a corrosão, um dos problemas usuais nos aços não tratados. Além disso, foram apresentadas as normas técnicas brasileiras vigentes que direcionam o cálculo e definições do projeto estrutural e as vantagens e desvantagens da estrutura metálica. Os produtos utilizados na construção civil são provenientes dos perfis laminados a quente, dos perfis conformados a frio ou dos perfis soldados.

Como responsável pelo projeto da passarela em estrutura metálica na cidade, você deve conhecer as propriedades do aço, os tratamentos para melhor durabilidade e determinar o design desta estrutura para um melhor custo-benefício. Como parte deste trabalho, seu chefe lhe pediu um esboço dos perfis das colunas e vigas e quais seções aproximadas escolhidas. Para isso, você deve saber o uso dos perfis laminados a quente e frio.

Ao final da unidade, você terá as ferramentas necessárias para esse desafio!

Bom estudo!

Não pode faltar

Chapas de aço

O ferro passa por processos de redução e refino para se tornar aço e, em seguida, a etapa é a laminação, que dá origem às chapas de aço grossas ou finas e outros elementos em aço. Por isso, há muitas aplicações para as chapas de aço, já que elas estão associadas à produção do aço.



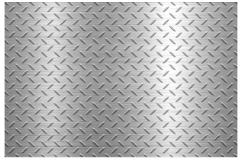
Para calcular uma estrutura, o importante é saber os limites de escoamento e ruptura do aço usado, as espessuras e, no caso das laminadas a frio, se são adequadas ao dobramento.

Na construção civil, elas podem ser chapas utilizadas na laminação a quente, conformação a frio, chapas xadrez e chapas galvanizadas.

As chapas laminadas a quente são utilizadas mais para a produção de perfis, implementos rodoviários, entre outros. Os conformados a frio são usados principalmente na produção de painéis, luminárias, eletrodomésticos.

A chapa xadrez tem estrias na sua parte superior (Figura 3.8), utilizadas como piso e galvanizadas em função da proteção contra a corrosão. Um outro uso para as chapas galvanizadas é em coberturas e fechamentos e normalmente são onduladas. Sua espessura varia de acordo com a fabricação e o uso, e as empresas que as fabricam possuem catálogos de caracterização do material. É importante salientar o uso dos catálogos, pois informam o comprimento máximo a ser usado para vencer um vão e como se faz as emendas das peças.

Figura 3.8 | Chapa de aço galvanizada utilizada como piso



Fonte: https://goo.gl/Dd6m9e. Acesso em: 10 jun. 2017.

Para o uso estrutural, existem três grandes grupos de perfis (CARVALHO et al., 2006):

- 1. Perfis laminados a quente: perfis laminados a quente, em usinas siderúrgicas.
- 2. Perfis soldados: perfis obtidos por soldagem de chapas (tiras de chapas).

3. Perfis conformados a frio: obtidos a partir de dobragem a frio.

Os grupos 1 e 2 tem seus procedimentos de dimensionamento estabelecidos pela norma brasileira *Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificios*, NBR 8800 (ABNT, 2008) e são considerados perfis pesados, enquanto o grupo 3, pela norma *Projetos de estruturas de concreto armado*, NBR 14762 (ABNT, 2001), são considerados perfis leves.

Essa definição de perfil leve e pesado ocorre devido à espessura, pois os perfis laminados a frio são feitos com chapas finas, e os pesados, com chapas mais grossas.

Perfis laminados a quente

As seções mais utilizadas dos perfis laminados a quente são as seções em I, U, L e H, e podem ser encontradas em grandes comprimentos. Geralmente, compõem estruturas de grande porte, como vigas e colunas de edifícios, pontes, entre outros.

O metal em barra (Figura 3.9) ou chapa é reaquecido em forno de altas temperaturas para que se torne mais plástico e mais fácil de ser trabalhado.



Figura 3.9 | Matéria-prima para o perfil laminado a quente

Fonte: . Acesso em: 10 jun. 2017.

Figura 3.10 | Metal laminado



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/metarl%C3%BAgica-gm483151700-70716533>. Acesso em: 10 jun. 2017

A laminação a quente elimina os defeitos de solidificação, além de aumentar a resistência mecânica do material.

Perfis soldados

Os perfis soldados são aqueles obtidos por corte, composição e soldagem de chapas de aço, o que permite uma grande variedade de formas

A solda é a união de materiais, formada pela fusão dos elementos que o compõe. Nas estruturas em que se opta pela solda, exige-se que o executor (soldador) seja especializado. O elemento soldado mais utilizado no mercado são os perfis "I", formados pela união de três chapas.

Para que a solda seja eficaz, o material depositado deve ser homogêneo, e é necessário ter um cuidado na execução do encaixe entre o metal depositado e o metal de base.

Além disso, o material que vai ser soldado deve ser perfeitamente soldável, o que depende da liga metálica, assim como no uso de um eletrodo de qualidade. A mão de obra tem que ser especializada, isto é, o emprego de soldadores qualificados.



Você já observou uma estrutura metálica sendo executada. Os elementos que a compõem podem ser soldados ou parafusados. Entretanto, procura-se utilizar a solda na fábrica, onde se pode ter um maior controle e, na obra, usar perfis parafusados.





Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/soldagem-de-a%C3%A7o-enorme-vigas-gm520167248-90873745. Acesso em: 10 jun. 2017.

As soldas são calculadas e têm suas dimensões e tipos indicados por meio de símbolos. É importante que se detalhe o maior número de vistas e cortes no desenho, mostrando o local a ser soldado, pois o soldador desconhece o carregamento a que a estrutura estará sujeita.

Perfis conformados a frio

Os perfis conformados a frio são cada dia mais viáveis na construção civil, em vista da rapidez e economia exigidas pelo mercado (SILVA; SILVA, 2008). Por serem compostos por chapas finas (Figura 3.12), suas peças possuem leveza, facilidade de fabricação, de manuseio e transporte, o que torna mais fácil e reduz o custo da montagem. Outra vantagem é não precisar de maquinários pesados para içar os elementos, devido ao menor peso, o que também reduz os custos.

Figura 3.12 | Chapas finas para perfil conformado a frio



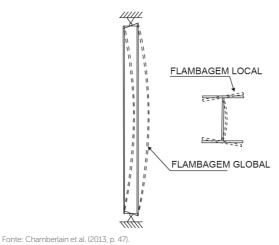
 $\label{lem:policy} Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/rolinhos-de-folha-de-metal-gm476912803-35453268>. Acesso em: 9 jun. 2017.$

Todavia, esses tipos de perfil são indicados principalmente para cargas e vão médios, onde o perfil laminado a quente se torna antieconômico devido à espessura e ao peso das chapas. Um dos problemas que ocorrem devido à pouca espessura da chapa é a flambagem local.



Flambagem (Figura 3.13) é a perda de estabilidade por bifurcação do equilíbrio, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2003). Ela ocorre quando a seção transversal é pequena em relação ao seu comprimento e a peça é sujeita a uma força axial de compressão.

Figura 3.13 | Flambagem global e local



113

Podemos observar que em algumas obras pode-se optar por utilizar os perfis laminados a quente, para as estruturas principais, e as peças secundárias por perfis laminados a frio. Outra possibilidade desse uso ocorre nas treliças, em que os banzos são feitos com chapas dobradas e os montantes e as diagonais, com perfil laminado (SANTOS, 1977).

Um cuidado que se deve tomar com as chapas a frio, por serem mais finas, é contra a corrosão. Assim, é necessária uma proteção, podendo ser por meio de pinturas ou galvanização.

Os perfis são obtidos a partir da dobragem a frio de chapas em temperatura ambiente. A espessura das chapas dobradas deve ter espessura a partir de 0,4 mm e com limite de até 8,00 mm, estabelecido por norma. Apesar disso, pode-se fazer perfis com até 19,0 mm (CARVALHO et al, 2006).

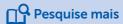
Os perfis podem ser produzidos de duas maneiras: em prensas dobradeiras ou em perfiladeiras. A dobradeira é uma prensa formada por uma mesa com o formato final com a dobra do perfil e uma ferramenta de punção, que pressionará a chapa contra esta mesa para que ocorra a dobra.

Já as perfiladeiras (Figura 3.14) são um conjunto de cilindros com tamanhos diferentes que, pela passagem contínua do perfil, impõem a dobra na chapa.



Figura 3.14 | Máquina perfiladeira

 $\label{lem:combined} Fonte: < http://www.istockphoto.com/br/foto/tubo-extrusion-m%C3%A1quina-gm502245822-81792405>. Acesso em: 10 jun. 2017.$



NBR 8800 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios (ABNT, 2008).

Esta é a norma para o projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Essa norma, com base no método dos estados-limites, estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no projeto à temperatura ambiente de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações. Você pode encontrá-la na biblioteca virtual

Sem medo de errar

Em um projeto de passarela em estrutura metálica de uma cidade, normalmente, o vão a vencer é grande, pois geralmente esta obra de arte é projetada para rodovias ou ruas de grande movimento.



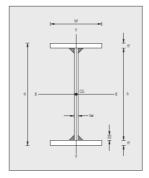
Figura 3.15 | Passarela em estrutura metálica, em Salvador, Bahia

Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/pedestrian-bridge-over-city-highway-in-salvador-da-bahiagm619531954-108063747 Acesso em: 10 jun. 2017.

Os perfis laminados a quente são formados por chapas mais espessas que os conformados a frio. Portanto, as vigas para vencer o grande vão devem ser executadas com os perfis laminados a quente.

As vigas principais podem ser executadas em perfil "I" (Figura 3.16) laminado ou estruturas treliçadas, dependendo do vão a ser vencido. Para o cálculo, é preciso considerar o peso próprio da estrutura, o vento, as pessoas que circulam e a vibração do elemento.

Figura 3.16 | Perfil I



Fonte: Fonseca e Pinheiro (2005, p. 275).

Já os corrimãos e as peças da estrutura da cobertura podem ser executados com os perfis conformados a frio, pois são mais leves e atendem à resistência necessária. Deve-se atentar para a proteção dos perfis contra a corrosão, utilizando peças galvanizadas ou pintura especializada contra as intempéries.

Quanto ao piso, uma opção amplamente utilizada são as chapas metálicas xadrez, pois possuem ranhuras na sua superfície, facilitando a aderência dos pedestres.

Avançando na prática

Mezanino

Descrição da situação-problema

O dono de um café gostaria de ampliar o espaço do local, pois os clientes aumentaram nos últimos anos. Ele procurou seu escritório de projetos para saber se a edificação onde se encontra o café é capaz de suportar as vigas metálicas. Após uma análise sua, você verificou que a edificação contém essa capacidade.

Entretanto, ele está em dúvida de qual tipo de piso utilizar: tábuas de madeira, uma laje de concreto armado revestida com piso cerâmico ou chapas de aço.

Ele pede que você o explique as vantagens da chapa metálica, pois é o material sobre o qual ele teve menos informações.

Resolução da situação-problema

Você pode sugerir a ele a chapa xadrez, que devido às estrias na sua parte superior, ela é amplamente utilizada como piso e, por ser galvanizada, possui uma proteção contra a corrosão. Algumas vantagens podem ser apresentadas, como o baixo peso próprio das chapas com alto desempenho, fator que faz com que as chapas acabem aliviando a fundação quando comparadas à laje de concreto.

Como ele está ampliando o café, o uso da chapa metálica também é vantajoso em relação às tabuas de madeira, devido à alta resistência superficial e durabilidade em relação à umidade.

Além disso, esteticamente fica moderno e acaba sendo parte da decoração local.

Faça valer a pena

- **1.** Observe os tipos de perfis:
- 1. Perfis laminados a quente.
- 2. Perfis soldados.
- 3. Perfis conformados a frio.

Os perfis também são classificados em:

- a. Leve.
- b Pesado

Esta definição de perfil leve e pesado ocorre devido à espessura de sua chapa.

Relacione os tipos de perfil com a espessura da chapa.

- a) 1-b: 2-b: 3-a.
- d) 1-a; 2-b; 3-a.
- b) 1-a: 2-a: 3-b.

e) 1-b; 2-a; 3-a.

- c) 1-b: 2-a: 3-b.
- **2.** Sobre o processo de fabricação dos perfis metálicos, analise as afirmativas abaixo:
- () Para a conformação a frio, o metal em barra ou chapa é reaquecido em forno de altas temperaturas para que se torne mais plástico e mais fácil de ser trabalhado.
- () Os perfis soldados são aqueles obtidos pelo corte, composição e soldagem de chapas de aço, o que permite uma grande variedade de formas.

- () Os perfis laminados a quente são obtidos a partir da dobragem a frio de chapas em temperatura ambiente.
- () Os perfis conformados a frio podem ser produzidos de duas maneiras: em prensas dobradeiras ou em perfiladeiras.

Verifique as afirmações acima, classificando-as em verdadeiras (V) ou falsas (F):

a) V, F, V, F. d) F, V, F, V. b) F, F, F, V. e) V, V, F, F.

c) V, V, V, F.

3. Os perfis conformados a frio são cada dia mais viáveis na construção civil, em vista da rapidez e economia exigidas pelo mercado (SILVA; SILVA, 2008).

Por serem compostos por chapas finas, suas peças possuem leveza, facilidade de fabricação, de manuseio e transporte, o que torna mais fácil e reduz o custo da montagem. Outra vantagem é não precisar de maquinários pesados para se içar os elementos, devido ao menor peso, o que também reduz os custos. Entretanto, a mesma característica que o torna leve, também produz um problema para as peças conformadas a frio.

Qual é o problema decorrente da espessura fina da chapa?

- a) Galvanização.
- b) Enrijecimento.
- c) Peso próprio.
- d) Alta resistência.
- e) Flambagem local.

Seção 3.3

Sistemas estruturais para aço

Diálogo aberto

Caro aluno.

Na seção anterior, aprendemos os tipos de produção de aço, feitos a partir das chapas, assim como os produtos utilizados na construção civil provenientes dos perfis laminados a quente, dos perfis conformados a frio ou dos perfis soldados, amplamente usados, especialmente na área de construção.

Nesta seção, aprenderemos sobre as tipologias das construções e os elementos estruturais mais usados nas estruturas de aço. Veremos sobre os sistemas alternativos, principalmente os que possuem um sistema de construção padronizado, como o *light steel frame*. Trataremos também de um assunto atual e fundamental, a sustentabilidade da estrutura metálica.

Como profissional responsável pela passarela metálica que está projetando, você já comparou sua estrutura com uma estrutura de concreto e esboçou os elementos que usará neste projeto. Nesta etapa, você deverá pensar em economia e sustentabilidade, então como você atravessará este grande vão da ponte de forma econômica? Quais elementos estruturais utilizará? Conhecer os principais modelos utilizados e como eles se comportam estruturalmente requer tempo e pesquisa. As obras também podem ser premiadas por sua preocupação com a sustentabilidade e cuidado com o meio ambiente.

Ao final desta seção você terá as ferramentas necessárias para responder a esses desafios.

Bons estudos!

Não pode faltar

Tipologia das construções

A tipologia de uma construção é o conjunto de características físicas que, em um contexto urbanístico, distinguem um edifício dos demais.

Quando falamos de estruturas metálicas, quais tipos de estruturas vêm a sua mente? Os tipos mais comuns são as treliças, os vigamentos para pisos, os pórticos e as estruturas aporticadas.

As treliças são amplamente usadas nas estruturas metálicas e se destinam geralmente a coberturas, pontes, passarelas, vigas para apoio de lajes. Este tipo de estrutura é leve e mais fácil de ser manuseada quando comprada com a peça maciça.

Os vigamentos para pisos são utilizados para apoio de chapas metálicas. As vigas, geralmente de seção I são biapoiadas.

Os pórticos são estruturas destinadas usualmente a galpões, piscinas, estádios, estações rodoviárias, com vãos que variam de 20 a 100 m. Geralmente, são estruturas biarticuladas e triarticuladas. As triarticuladas são mais fáceis e rápidas de serem montadas.

As construções feitas com estruturas aporticadas, geralmente, são formadas por lajes, vigas e pilares. As lajes (grelhas planas) descarregam suas cargas nas vigas; as vigas, por sua vez, descarregam nos pilares; e os pilares, na fundação, que distribui a carga para o solo.



Exemplificando

Os edifícios feitos com estruturas metálicas são, geralmente, projetados na tipologia de estrutura aporticada. Além disso, possui um contraventamento (Figura 3.16) para resistir ao vento, devido à altura da edificação.

Figura 3.17 | Contraventamento em edifício



Fonte: acervo do autor

Elementos estruturais

Os elementos estruturais básicos que geralmente se repetem nas estruturas são as lajes, vigas e pilares, além das fundações.

As lajes encontradas de estruturas metálicas mais comuns são o steel deck e a chapa metálica.

O steel deck (Figura 3.18) é uma laje composta por uma telha metálica galvanizada, com ranhuras na sua superfície superior, concretada com uma capa de concreto, que se conecta a esta telha devido às ranhuras.

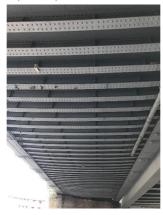
Figura 3.18 | Laje do tipo steel deck



Fonte: acervo do autor.

Já a chapa metálica deve ser de uma espessura suficiente para suportar a carga sobre ela, sem deformar. Geralmente, é composta por vigas metálicas próximas umas das outras, e a chapa metálica está fixada nelas (Figura 3.19).

Figura 3.19 | Laje formada por chapa metálica

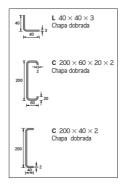


Fonte: acervo do autor.

As vigas e pilares são perfis metálicos com medidas padronizadas já de fábrica. Suas formas usuais são os perfis I, C, U, H, T e L. Quando está designado, por exemplo, I100, significa que é um perfil I com altura de 100 mm.

As empresas fornecedoras dos materiais possuem tabelas que descrevem todas as medidas padrões da peça (Figura 3.20), como espessura da chapa, altura, largura, tamanho da alma etc.

Figura 3.20 | Exemplo de perfis em chapa dobrada



Fonte: Fonseca e Pinheiro (2005, p.3),

Outro elemento estrutural muito utilizado em material metálico são as telhas galvanizadas. Geralmente, possuem forma trapezoidal e podem ser formadas por um sanduíche de telha com EPS ou poliestireno (Figura 3.21) em seu interior.

Figura 3.21 | Telha termoacústica de poliestireno



Fonte: Dias (2011, p. 16).

Sistemas alternativos: Steel Frame

O termo steel frame vem do inglês: steel significa aço e frame, a estrutura que o compõe. Ele tem sido amplamente usado em países como Estados Unidos, Japão, Inglaterra e Austrália há mais de 40 anos, mas foi na década de 90 que seu uso foi intensificado com o desenvolvimento da cadeia produtiva, preços mais competitivos

e formação de associações (TREBILCOCK, 1994 apud KAMINSKI JUNIOR, 2006).

O sistema construtivo em *steel frame* é conhecido mundialmente por ser um sistema industrializado que possibilita construção a seco, isto é, dispensa o uso de cimento preparado na obra, com grande rapidez na execução. A sua característica principal é sua estrutura formada por perfis de aço galvanizado formados a frio que compõem painéis estruturais e não estruturais, vigas, tesouras e demais componentes (CASTRO, 2012 apud ECKER; MARTINS, 2014).

O steel frame, também chamado de light steel frame, é uma estrutura em aço leve (Figura 3.22). O termo light, leve em português, caracteriza uma edificação com peso reduzido, e esta característica é pelo uso do aço galvanizado como elemento principal da estrutura, o que produz elementos de baixo peso.

Figura 3.22 | Casa em light steel frame



Fonte: < https://pixabay.com/pt/edif%C3%ADcio-da-casa-constru%C3%A7%C3%A3o-2348345/>. Acesso em: 20 jun. 2017.



A principal característica da construção de *steel frame* é a distribuição das cargas pela estrutura (Figura 3.23). Subdividida em pequenos elementos estruturais que suportam uma pequena quantidade de carga, seus elementos podem ser esbeltos e de baixo peso, caracterizada por uma estrutura leve e fácil de manipular e montar.

Figura 3.23 | Distribuição das cargas na estrutura de steel frame

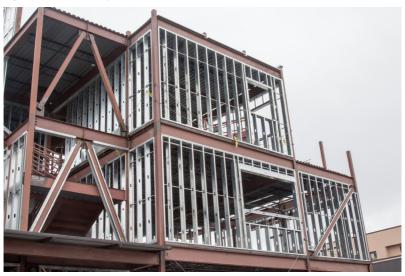


Fonte: https://pixabay.com/pt/edif%C3%ADcio-da-casa-constru%C3%A7%C3%A3o-2348346/, Acesso em: 20 jun. 2017.

Segundo Saint-Gobain (2011 apud ECKER; MARTINS, 2014), os principais beneficios e vantagens no uso do sistema *steel frame* (Figura 3.23) em edificações são:

- Os elementos são produzidos com tecnologia avançada e altamente padronizados, com alto controle de qualidade na seleção da matéria-prima, na produção e no acabamento.
 - O aço permite uma grande precisão na dimensão das peças.
- Devido à resistência do aço, sua estrutura é de alto desempenho.
- Como as peças são galvanizadas, isso garante uma maior durabilidade da estrutura.
 - Fácil montagem, manuseio e transporte.
- Obra mais limpa e pouco desperdício de material, além da reciclagem do aço que sobra.
- Os materiais são pré-preparados de fábrica, facilitando as instalações hidráulicas e elétricas.
- Desempenho térmico e acústico melhores, alcançados pelo material de fechamento e isolamento.

Figura 3.24 | Construção em steel frame



Fonte: https://goo.gl/RJVyTa. Acesso em: 20 jun. 2017

Sustentabilidade em estrutura metálica

A indústria da construção é um dos principais responsáveis pela escassez dos recursos naturais do mundo. Além disso, a produção de resíduos de obras provoca grande impacto no ambiente.

Segundo Comunicação da Comunhão Européia 97 (COM 97-539) apud Gervásio (2008), há três aspectos principais que afetam a indústria da construção civil quanto à sustentabilidade.

O primeiro apresenta os dados de que, de todos os materiais extraídos da crosta terrestre, em média 50% são modificados para material e produto de construção.

O segundo aspecto se refere à eficiência energética, isto é, o quanto a construção utiliza a energia de forma eficiente para obter um resultado, procurando afetar ao mínimo a produção de energia no mundo. O processo de construção, sua operação e, assim como, a demolição de edifícios (Figura 3.25) totalizam aproximadamente 40% da produção de energia, além de contribuir com a emissão de gases com efeito estufa com quase a mesma percentagem.

O terceiro se refere à gestão de desperdícios consequentes da construção ou demolição. Na União Européia, este item constitui a maior fonte de resíduos sólidos por peso.



Temos que, em média, 50% dos materiais extraídos da crosta terrestre são modificados para uso como material e produto de construção. Como profissionais da área, será que não podemos optar por materiais que terão menor impacto na natureza? A extração dos materiais não afeta apenas o solo, mas também a retirada de inúmeros animais e seres vivos que viviam na região. Podemos fazer a diferença com escolhas sustentáveis.

Figura 3.25 | Resíduos de construção provenientes de demolição



Fonte: <goo.gl/sDbGCH>. Acesso em: 20 jun. 2017.

A indústria do aço contribui para a construção sustentável, devido ao seu potencial de reciclagem. Atualmente, o aço é produzido a partir de matéria-prima em alto-forno ou a partir de sucata (Figura 3.26) em forno elétrico de arco. Do total do aço produzido, 60% é feito em alto forno, que pode utilizar de 25% a 35% de aço reciclado. Na produção em forno elétrico de arco utiliza-se aproximadamente 95% de aço reciclado e sua produção é mais fácil e mais rápida. Como consequência, requer menos energia e, ainda, produz menos resíduos e emite menor quantidade de partículas poluentes (GERVASIO, 2008).

Figura 3.26 | Sucata de aço para reciclagem



Fonte: https://goo.gl/bWf4Do> Acesso em: 20 jun. 2017.

Outra vantagem é a facilidade da desmontagem e reaproveitamento das peças da estrutura, normalmente conectadas por parafusos ou soldas



O livro *Micura Light Steel Framing*, das autoras: Heloisa Pomaro e Luana Carregari, busca difundir o conhecimento do *light steel frame* em âmbito nacional.

POMARO, H.; CARREGARI, L. **Micura light steel framing**: tecnologia, industrialização e sustentabilidade. São Paulo: Editora C4, 2015.

Sem medo de errar

Quando uma passarela possui um grande vão, pode se optar por alguns modelos estruturais para vencer essa distância. A primeira opção é uma estrutura treliça em forma de arco (Figura 3.27), em que a via de passagem da passarela é sustentada por cabos ou elementos estruturais que trabalham sob tração.

Figura 3.27 | Ponte em arco com estrutura treliçada



Fonte: https://pixabay.com/pt/ponte-cruzamento-estrutura-de-a%C3%A7o-1070179/. Acesso em: 20 jun. 2017.

Uma segunda opção é a estrutura em arco mais usual, em que o peso da via se apoia diretamente no arco no centro e nas laterais, as peças que a recebem trabalham a compressão e descarregam no arco (Figura 3.28).

Figura 3.28 | Ponte em arco



Fonte: https://pixabay.com/pt/ponte-metal-andaime-esc%C3%B3cia-2406071/. Acesso em: 20 jun. 2017.

A terceira opção é a estrutura treliçada (Figura 3.29), uma das mais utilizadas para passarelas.

Figura 3.29 | Ponte de estrutura treliçada



Fonte: https://goo.gl/ctnRe3. Acesso em: 19 jun. 2017.

Devido à facilidade de reciclagem do material residual das estruturas metálicas, seu uso é o que menos gera resíduos. Além disso, a peça da estrutura já vem furada e numerada, apenas para montagem no local, produzindo peças com alta qualidade de acabamento e sem desperdício.

Avançando na prática

Light steel frame

Descrição da situação-problema

A construtora em que você trabalha está buscando uma nova tecnologia mais sustentável para suas construções. Como arquiteto responsável, você é chamado para mostrar os benefícios do *light steel frame*, para que a empresa possa decidir investir nesta tecnologia.

Resolução da situação-problema

No seu levantamento de dados e pesquisas sobre o *light steel* frame, você encontra as seguintes vantagens do modelo estrutural:

• Estrutura mais leve, o que favorece a fundação e a torna mais barata

- A distribuição das cargas é mais homogênea pela estrutura, devido às barras verticais que sustentam as paredes.
 - Maior flexibilidade e adaptabilidade.
 - Maior facilidade de manutenção e reforma.
- Bom isolamento térmico devido à colocação da lã de vidro entre as placas de gesso ou cimentícia que revestem as paredes.
 - Canteiro de obras limpo e organizado.
 - Pouca geração de resíduos.
 - Prazo de execução menor e retorno do investimento mais rápido.
- Instalações elétricas e hidráulicas executadas de forma mais simples e sem geração de entulho.

1. Quais são as tipologias das construções executadas nas estruturas

Faça valer a pena

metálicas mais usuais? Analise a	as afirmativas a seguir e marque (V) para
verdadeiro e (F) para falso:	
() Treliças.	
() Vigamentos para pisos.	
() Traves de sustentação.	
() Pórticos.	
() Estruturas aporticadas.	
Assinale a alternativa correta qua	nto à tipologia das construções metálicas:
a) F, V, F, V, V.	d) F, V, F, V, F.
b) F, F, V, F, V.	e) V, V, F, V, V.
c) V F V F V	

2. O termo *steel frame* vem do inglês: *steel* significa aço e frame, a estrutura que o compõe. Ele tem sido amplamente usado em países como Estados Unidos, Japão, Inglaterra e Austrália há mais de 40 anos, mas foi na década de 90 que seu uso foi intensificado com o desenvolvimento da cadeia produtiva, preços mais competitivos e formação de associações (KAMINSKI JUNIOR, 2006 apud TREBILCOCK, 1994). Uma das características principais do *steel frame* alivia sua fundação. Qual característica é esta?

Assinale a alternativa que melhor define essa característica:

- a) Leveza dos perfis e consequentemente da estrutura.
- b) Facilidade de manutenção.
- c) Alta qualidade do material.
- d) Alta densidade dos elementos estruturais.
- e) Possibilidade de vencer grandes vãos.

3. A indústria da construção é um dos principais responsáveis pela escassez dos recursos naturais do mundo. Além disso, a produção de resíduos de obras provoca grande impacto no ambiente. A indústria do aço contribui para a construção sustentável, devido ao seu potencial de reciclagem. Além da reciclagem, que outro aspecto faz da estrutura metálica um material sustentável?

Assinale a alternativa correta quanto à sustentabilidade das estruturas de aço:

- a) O baixo peso dos elementos estruturais.
- b) A facilidade da desmontagem e o reaproveitamento das peças da estrutura.
- c) A alta quantidade de resíduos de obra.
- d) A reciclagem do papel das peças de montagem.
- e) A correta manutenção das estruturas.

Referências

ABNT. **NBR 8800:** projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABNT. **NBR 6118**: projetos de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT. **NBR 6355**: perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABNT. **NBR 14762**: dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ABNT. **NBR 14323**: dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas açoconcreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

CARVALHO, P. R. M. et al. **Curso básico de perfis de aço formados a frio**. Porto Alegre: [s.n.], 2006.

CHAMBERLAIN, Z. FICANHA, R. FABEANE, R. **Projeto e Cálculo de Estruturas de Aço**: Edifício Industrial Detalhado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

DIAS, A. S. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço**. Dissertação de mestrado. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

ECKER, T. W. P.; MARTINS, V. **Comparativo dos sistemas construtivos steel frame e wood frame para habitações de interesse social.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica do Paraná, Pato Branco, 2014.

FERRAZ, H. O aço na construção civil. **Revista Eletrônica de Ciências**, n. 22, out./nov./ dez. 2003.

FONSECA, A. C.; PINHEIRO, B. **Estruturas metálicas**: cálculos, detalhes, exercícios e projetos. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

GERVÁSIO, H. M. Asustentabilidade do aço e das estruturas metálicas In: CONSTRUMETAL, 3., 2008. São Paulo. Anais... São Paulo, 2008.

KAMINSKI JUNIOR, J. **Construção de** *light steel frame*. Téchne (em negrito), São Paulo, 112, 2006.

LAGE, C. M. **Fadiga em estruturas metálicas tubulares soldadas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

PANNONI, F. D. **Projeto e durabilidade**. Série Manual de Construção em Aço. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2009.

PANNONI, F. D. **Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em Situação de Corrosão e Incêndio**. 6. ed. São Paulo: Gerdau, 2015.

POMARO, H.; CARREGARI, L. Micura light steel framing: tecnologia, industrialização e sustentabilidade. São Paulo: Editora C4, 2015.

SANTOS, A. F. Estrutura metálica: projeto e detalhes para fabricação. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.

SILVA, E. L.; SILVA, V. P. Dimensionamento de perfis formados a frio conforme NBR 14762 e NBR 6355. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2008.

Dimensionamento e detalhamento de elementos de aço

Convite ao estudo

Caro(a) aluno(a)!

Seja bem-vindo(a) à quarta unidade de ensino da disciplina Sistemas Estruturais II. Nesta unidade, iniciaremos o nosso estudo dos projetos de estruturas em aço.

Podemos ver um crescimento do uso das estruturas metálicas nos mais diversos setores da construção civil. Além da praticidade de montagem, a estrutura é uma das mais sustentáveis. Existem diversos arranjos geométricos possíveis para um projeto de estrutura metálica, desde modelos de treliças planas a espaciais, até modelos mistos com outros tipos de estruturas, como o concreto.

O aprofundamento do profissional no estudo dos modelos é um diferencial no mercado. Além disso, definir as ligações detalhadamente e os locais adequados de contraventamento garantem a segurança do seu projeto. O cálculo das peças comprimidas e tracionadas, assim como as fletidas, resultam em um dos pontos importantes do projeto, pois desse resultado derivam todos os detalhamentos.

Como desafio profissional, você foi a um cliente, dono de uma fazenda eólica em Pernambuco, que deseja fazer um galpão. O grande desafio desta obra é a construção de galpões em locais onde os ventos causem esforços em sua estrutura. As aberturas para entrada e saída dos veículos, dos materiais ou dos animais também permitem que o vento entre e cause forças de sucção ou sobrepressão interna. Os ventos naquela região,

segundo a NBR 6123:1988, estão em torno de 35 m/s e fazem toda a diferença no momento de se projetar sua estrutura. Como responsável desta obra, você deve averiguar o local, o que será armazenado e qual modelo estrutural melhor atende a esse projeto.

Este trabalho contemplará um estudo de inúmeras variáveis para que seu projeto tenha o desempenho esperado. O uso do ambiente, quais materiais serão armazenados, com qual material será feita a cobertura e se haverá ponte rolante para movimentação dos produtos são alguns exemplos que devem ser levados em conta.

Ao final desta unidade, você terá as ferramentas necessárias para seu projeto.

Bom estudo!

Seção 4.1

Ações e segurança nas estruturas

Diálogo aberto

Caro(a) aluno(a), seja bem-vindo(a) a mais uma unidade de ensino. Nesta seção, iremos aprender sobre as ações e a segurança nas estruturas de aço.

Quando visitamos uma fazenda, geralmente, não pensamos como suas construções foram feitas, tampouco em quais ações foram levadas em conta no dimensionamento de cada edificação. Mas cada tipo de construção requer um estudo aprofundado.

Em locais como fazendas, as construções são distantes uma das outras, e a ação do vento atua de forma mais significante, pois não há obstáculos para impedir sua força. Já em locais com muitos edifícios, a massa construída forma como se fosse uma barreira contra o vento.

Além do vento, há o uso das construções: será para armazenamento? Abrigo dos animais? Colocação dos maquinários? Moradia dos funcionários? Todas essas variáveis devem ser levadas em conta.

Em seu desafio profissional, na fazenda eólica de Pernambuco, o dono da fazenda quer um galpão com telha sanduíche de EPS para proteção do calor e vai utilizar este local para armazenar o maquinário da fazenda, como tratores e máquinas agrícolas. Quais ações devem ser levadas em conta?

No final da seção, dedicando-se ao estudo, você será capaz de responder a este desafio.

Rom estudo!

Não pode faltar

Ações e combinações

Devemos levar em conta, na análise de uma estrutura, todas as ações que podem interferir na segurança da edificação. Como em um edifício de salas para escritório (Figura 4.1), pessoas, móveis,

equipamentos, o peso próprio dos elementos estruturais e, ainda, o vento atuando nas laterais externas.





Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/fluminated-office-buildings-at-canary-wharf-london-at-night-gm593339504-101844003. Acesso em: 7 jul 2017.

Em geral, os elementos ou as estruturas metálicas estão sujeitos a quatro categorias de ações:

1. Vertical: constituído pelo peso próprio e pela carga acidental

O peso próprio, classificado como uma ação permanente direta (ABNT, 1980), pois ocorre com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção, é o somatório dos componentes estrutura, assim como o peso dos elementos construtivos fixos e das instalações permanentes (revestimentos, pisos etc.).

As cargas acidentais previstas para o uso da construção podem ser avaliadas com base nos valores indicados na NBR 6120 (ABNT, 1980), sendo as verticais usuais pessoas, mobiliário, veículos, entre outras, devendo ser dispostas nas posições mais desfavoráveis para o elemento.

2. Lateral: vento

Já a carga atuante do vento, classificada como uma ação variável direta, considerando a construção final, deve ser verificada em função

do índice de permeabilidade da construção acabada e de sua altura, respeitando as prescrições da norma NBR 6123 (ABNT, 1988).

3. Carregamento por mudança volumétrica: constituído pela temperatura

A mudança volumétrica dos materiais devido à temperatura não deve prejudicar a utilização da estrutura, principalmente em estruturas mistas, como na utilização do concreto, na qual a fluência e a retração são significativas.

4. Manuseio: constituído pelo transporte e içamento

Além das verificações usuais, as estruturas em que todas as fases construtivas não tenham sua segurança garantida pela verificação da obra pronta devem ter, incluídas no projeto, as verificações das fases construtivas mais significativas, como o transporte e o içamento e sua influência na fase final. A verificação de cada uma dessas fases deve ser feita considerando a parte da estrutura já executada e as estruturas provisórias auxiliares, com os respectivos pesos próprios, e considerando as cargas acidentais de execução.



As estruturas são feitas considerando uma vida útil, que, geralmente, é de 50 anos para as mais usuais. Quanto maior a vida útil, maiores e mais resistentes serão seus elementos.

Combinações de ações

O carregamento utilizado no cálculo é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido. Esta combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura.



Reflita

Quando se considera a simultaneidade de ações, podemos imaginar situações nas quais uma sala está cheia de pessoas e, ao mesmo tempo, está tendo uma tempestade com fortes rajadas de vento do lado de

fora do edifício. Essa combinação de duas ações ocorrendo ao mesmo tempo, e ainda considerando o peso próprio da estrutura, é uma das situações que podem ocorrer em uma edificação.

A verificação da segurança em relação aos Estados Limites Últimos e aos Estados Limites de Serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e combinações de serviço, respectivamente.

Combinações últimas

As combinações últimas são classificadas em normais, especiais ou de construção e excepcionais, conforme NBR 8681 (ABNT, 2003).

Para a combinação normal, devem estar incluídas as ações permanentes e a ação variável principal com seus valores característicos e as demais ações variáveis, consideradas como secundárias, com seus valores reduzidos de combinação.

Já para a combinação especial ou de construção, devem estar presentes as ações permanentes e a ação variável especial, quando existir, com seus valores característicos e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos de combinação.

Nas combinações últimas excepcionais, quando existirem, a ação excepcional deve ser considerada com seu valor representativo, e as demais ações variáveis devem ser consideradas com valores correspondentes a uma grande probabilidade de atuação simultânea com a ação variável excepcional.

Combinações de serviço

As combinações de serviço são classificadas de acordo com sua permanência na estrutura: quase permanentes, frequentes e raras.

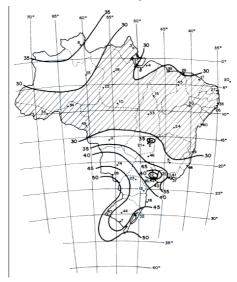
As quase permanentes podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de deformações excessivas. As frequentes se repetem, muitas vezes, durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. As raras ocorrem algumas vezes durante o

período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de formação de fissuras.

Vento

A avaliação da ação do vento é fundamental nas estruturas, especialmente as muito leves ou esbeltas e altas. O mapa a seguir (Figura 4.2) apresenta as diferentes velocidades nominais do vento nas diversas regiões do Brasil, de acordo com sua incidência e intensidade.

Figura 4.2 | Isopletas da velocidade básica V_0



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988, p. 6).

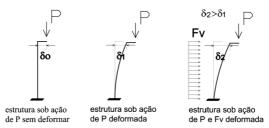
Uma das tipologias mais utilizadas em aço são os galpões, e essas estruturas estão sujeitas à sobrepressão e à sucção do vento. Os pórticos, que formam a estrutura das fachadas junto à cobertura, devem resistir a essas ações e devem ser calculados levando-se em conta esses efeitos. Nos pórticos, são colocadas barras, geralmente em forma de "X", que trabalham como contraventamento. Esse sistema fornecerá uma estabilidade ao conjunto, assim como distribui as cargas do vento com igualdade entre os pilares.

Instabilidade

As estruturas estão sujeitas às ações gravitacionais, mas, além

disso, às ações laterais do vento. Em estruturas de grande altura, ou as que possuem a relação da altura e das outras dimensões grandes, o efeito combinado da ação vertical com o vento (Figura 4.3) se torna mais acentuada e pode causar uma instabilidade no edifício.

Figura 4.3 | Ação combinada do vento e do carregamento



Fonte: elaborada pelo autor.

Quando não consideramos a deformação na estrutura por ela ser desprezível, teremos uma deformação δ_0 , e o diagrama de momento fletor é chamado de primeira ordem e a análise é linear. O efeito de primeira ordem são os deslocamentos e esforços internos solicitantes, obtidos com a análise do equilíbrio da estrutura, levandose em conta a configuração inicial geométrica.

Quando se considera a deformação da estrutura, teremos a deformação δ_1 quando só atua a força P, e a deformação δ_2 quando atua a força P e a força do vento (Fv). O diagrama de momento fletor é chamado de segunda ordem, e a análise é não-linear. A análise de segunda ordem e a não-linearidade consideram a estrutura já deformada, isto é, soma-se aos efeitos de primeira ordem.

A estabilidade individual de cada elemento também deve ser garantida. Uma análise global e o local da estrutura devem ser avaliados.



Quando uma estrutura está deformada pelo vento e pela carga atuante ao mesmo tempo, deve-se considerar os efeitos de segunda ordem. Um exemplo prático é quando comprimimos uma régua, com uma pequena força. Você verá que ela não se deformará significantemente. Se você a entortar e, então, começar a comprimir, verá que ela estará muito tensionada, podendo até mesmo se romper.

Resistência

As resistências dos materiais são representadas por valores característicos definidos como aqueles que têm uma probabilidade de 5% de não serem atingidos. Isso representa uma segurança significativa nas edificações.

Para o dimensionamento no Estado Limite Último (ELU), que está relacionado ao colapso ou à ruína estrutural, deve-se ponderar as resistências. A resistência de cálculo (f_d) do material é definida por:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

Onde f_{k} é a resistência característica e γ_{m} é o coeficiente de ponderação da resistência.

Os valores dos coeficientes de ponderação das resistências são dados no Quadro 4.1 a seguir.

Quadro 4.1 | Valores do coeficiente de ponderação das resistências γ_m

	Aço estrutural $ \gamma_{a} $		
Combinações	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura ${\gamma}_{a2}$	
Normais	1,10	1,35	
Especiais ou de construção	1,10	1,35	
Excepcionais	1,00	1,15	

Fonte: ABNT NBR 8800 (2008).

No Estado Limite de Serviço, não é necessária a minoração, pois $\gamma_m =$ 1,00 .



No livro Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008, você encontrará a teoria necessária para o cálculo das estruturas metálicas, além de exemplos práticos de como aplicá-las.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

Sem medo de errar

Os galpões (Figura 4.4) são estruturas que requerem alguns tipos de cuidados, por exemplo, o contraventamento. Além disso, o vento que atua interno e externamente deve ser calculado. Internamente porque, quando entra pelas aberturas do galpão, ele poderá fazer uma sobrepressão ou uma sucção, e externamente porque, quando o vento atua na parte superior da cobertura, pode causar os mesmos efeitos.



Figura 4.4 | Galpão de armazenamento em fazenda

Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/red-celeiro-e-animais-pastando-gm484031035-26544265. Acesso em: 9 jul. 2017.

O galpão utilizado para armazenar o maquinário da fazenda, como tratores e máquinas agrícolas, deve ser analisado da forma a seguir.

As ações permanentes serão:

- A telha de EPS (Figura 4.5), com o peso próprio, geralmente, fornecido pelo fabricante do material.
- A estrutura da cobertura, considerando a tesoura e os seus componentes.
 - As instalações fixas na cobertura.

Figura 4.5 | Telhas metálicas com EPS



Fonte: fonte: fonte: fonte: fonte: fonte: fonte: font-18708642-90189043>. Acesso em: 9 jul. 2017.

As ações variáveis são:

- A carga de pessoas para manutenção da cobertura, encontrada na NBR 6120 (ABNT, 1980).
- A carga de vento, dimensionada segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988), calculada para estruturas do tipo galpão, considerando a pressão interna em função da abertura disponível para entrada dos maquinários.
- Caso a estrutura possua uma ponte rolante para içamento ou deslocamento do maquinário, ela é considerada como uma ação variável.
- Se o galpão tiver um mezanino para armazenamento de materiais ou alimentos, deve-se considerar o peso desses elementos, além do peso próprio da laje e a sobrecarga acidental.

Avançando na prática

Estruturas sujeitas ao vento

Descrição da situação-problema

Um edifício, localizado na orla da cidade de Vitória/ES, foi projetado em estrutura de aço. Depois de algum tempo, após a entrega das unidades, o edifício de 20 andares começou a apresentar algumas

trincas nas paredes de alvenaria. Analisando o entorno, nenhum dos prédios vizinhos apresentava patologias semelhantes. Você foi contratado para fazer um laudo para essa obra, portanto, descreva quais seriam as possíveis causas para a trinca.

Resolução da situação-problema

Como profissional responsável pelo laudo das patologias apresentadas no edifício, alguns questionamentos podem ser feitos a respeito do projeto e de sua localização.

Como o edifício está localizado no litoral, é importante a análise dos ventos da região. Quando eles atuam em uma das laterais do edifício, e este não é rígido o suficiente, os elementos irão se deformar. A parede de alvenaria, que se deforma de forma diferente do aço, irá se desprender da estrutura principal, formando trincas.

Outra análise que pode ser feita é se as ações consideradas no projeto foram corretas. Após as lajes se tornarem rígidas, quando o concreto se cura e as escoras que as suportam são retiradas, as vigas e os pilares do edifício recebem essa carga. Após o início do uso do edifício, as cargas permanentes, como mobiliários, e as cargas acidentais, como as pessoas, irão atuar. Neste momento, se as ações forem consideradas erroneamente, problemas futuros irão ocorrer.

Faça valer a pena

1. Preencha as lacunas, respectivamente, com as palavras corretas sobre
as combinações:
O carregamento utilizado no cálculo é definido pela combinação das
, que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem
sobre a estrutura, durante um período preestabelecido
Essa combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser
determinados os efeitos mais para a estrutura.
Assinale a alternativa correta que contém as palavras que preenchem as
lacunas:
a) ações; simultaneamente; desfavoráveis.
b) estruturas: simultaneamente: favoráveis.

. . .

c) ações; uma de cada vez; desfavoráveis.
d) ações; simultaneamente; favoráveis.
e) estruturas: uma de cada vez: desfavoráveis.

2. Uma torre edificada no centro de uma grande metrópole possui 50 andares. O local foi executado para ser um hotel de luxo e está sempre na sua capacidade máxima de uso. Entretanto, não são só as cargas permanentes, como peso próprio e mobiliários, nem somente as cargas acidentais, referentes às pessoas. Neste caso específico, uma combinação é de extrema importância que seja considerada no cálculo.

Qual efeito é relevante e o que ele pode causar?

- a) O efeito combinado da ação vertical com a mudança volumétrica, o qual pode causar um inchaço no edifício.
- b) O efeito combinado da ação horizontal com o vento, o qual pode causar uma estabilidade no edifício.
- c) O efeito combinado da ação vertical com o vento se torna mais acentuada, o que pode causar uma instabilidade no edifício.
- d) O efeito combinado da ação vertical com o vento não causa nenhum problema ao edifício.
- e) O efeito combinado da ação horizontal com o vento não causa nenhum problema ao edifício.
- **3.** Para o dimensionamento no Estado Limite Último (ELU), que está relacionado ao colapso ou à ruína estrutural, deve-se ponderar as resistências. A resistência de cálculo (f_a) do material é definida por:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

Onde f_k é a resistência característica e γ_m é o coeficiente de ponderação da resistência.

Os valores dos coeficientes de ponderação das resistências são dados na tabela a seguir:

	Aço estrutural $\gamma_a^{}$		
Combinações	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura ${\gamma}_{a2}$	
Normais	1,10	1,35	
Especiais ou de construção	1,10	1,35	
Excepcionais	1,00	1,15	

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Qual é o valor da resistência de cálculo do aço, se a resistência característica é de 400 MPa e o aço estrutural deve ser verificado quanto ao escoamento, em uma combinação normal?

Assinale a alternativa correta com o valor de cálculo da resistência do aço.

- a) 296,3 MPa.
- b) 440 MPa.
- c) 540 MPa.
- d) 400 MPa.
- e) 363,6 MPa.

Seção 4.2

Perfis compostos e simples

Diálogo aberto

Caro(a) aluno(a)!

Na seção anterior, vimos sobre as ações e a segurança nas estruturas de aço. Foram apresentadas as ações e as combinações necessárias que devem ser estabelecidas para o projeto, assim como a atuação da força do vento nas estruturas metálicas. Mostrou-se quando a estrutura se torna instável e como garantir para que isso não ocorra. Ao final, foi apresentada a resistência do aço e a forma de calculá-la, para que sua estrutura seja projetada com segurança.

Nesta seção, iremos conhecer quais são as dimensões padrões das peças de aço, para que seu projeto seja feito com medidas que possam ser facilmente encontradas no mercado. Também veremos quando utilizar um perfil simples e quando formar uma peça composta, de forma a atingir a resistência necessária para atender ao dimensionamento estabelecido. Ao final da seção, serão definidas as ligações e os contraventamentos que unem os elementos, que é um tópico importante nas estruturas, pois é a forma utilizada para que ocorra a transferência das cargas de um elemento para outro.

Como desafio profissional e aplicação desta teoria, você está na fazenda eólica, em Pernambuco, projetando um galpão. Os ventos naquela região, segundo a NBR 6123:1988, estão em torno de 35 m/s e fazem toda a diferença no momento de projetar sua estrutura.

Toda a estrutura do galpão deve ser metálica, pois o dono da fazenda tem urgência na execução desse novo projeto. Quais são as dimensões padrões do aço e quais são as mais utilizadas nas vigas e nos pilares de galpões? Como serão as conexões entre as peças?

Ao final desta seção, você terá as ferramentas necessárias para responder a todas essas perguntas, informando ao seu cliente as dimensões padrões para que a compra do material seja feita de forma mais eficiente. Além disso, você saberá quais são os principais tipos de ligações entre as peças metálicas, finalizando seu projeto com êxito.

Bom estudo!

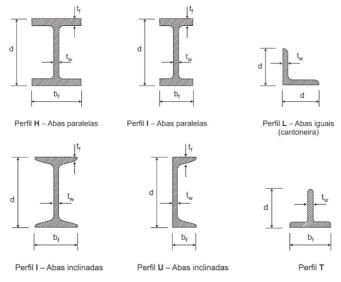
Não pode faltar

Dimensões padrões do aço

As peças de aço possuem dimensões padrões que facilitam o projeto e a execução da obra. Os modelos também são padronizados e facilitam a escolha no dimensionamento, pois possuem tabelas dos fabricantes com suas características de resistência e outros dados relevantes (Figura 4.6).

Essa padronização é encontrada mais nos perfis laminados a quente, enquanto os perfis dobrados a frio podem ser produzidos com uma grande variedade de perfis, com ou sem simetria.

Figura 4.6 | Exemplo de tipos padrões de perfis laminados de aço



Fonte: Salgado (2014, p. 138).

Onde d é a altura ou diâmetro externo; $b_{\!f}$ é a largura da aba; $t_{\!f}$ é a espessura da aba; $t_{\!w}$ é espessura da mesa.

Perfis simples

Os perfis simples (Figura 4.7) são, na maioria, elementos laminados a quente. Quanto maior a sua altura, a resistência do seu aço e a espessura de sua chapa, mais carga suporta. Disponíveis no comprimento padrão de 12 m, são encontrados com a designação de suas dimensões externas nominais, geralmente altura em mm,



Exemplificando

Se temos um perfil com a nomenclatura W 150 x 13.0, significa que possui uma altura de 150 mm e uma massa de 13,0 kg/m.

Figura 4.7 | Perfil simples "I"

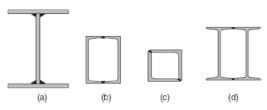


Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/vigas-met%C3%A1licas-gm515190622-88435739. Acesso em: 17 jul. 2017.

Perfis compostos

Para formar um perfil composto (Figura 4.8), são unidos dois ou mais perfis simples laminados ou pela associação de chapas. Os perfis compostos são formados para que suportem mais carga ou sofram menos deformações que os perfis simples, pois há um aumento do seu momento de inércia. O tipo de arranjo entre as peças definirá o comportamento do conjunto após o carregamento.

Figura 4.8 | Perfil composto



Fonte: Pfeil e Pfeil (2014).

Em geral, a ligação entre eles é soldada. Na figura (a), temos o exemplo de um perfil "I" formado por três chapas. Já em (b), (c) e (d), vemos a união de perfis simples, formando, então, um perfil composto.

Ligações contraventamentos

As estruturas metálicas são formadas pela união de peças, unidas entre si por meio das ligações. Elas, geralmente, são feitas por soldas ou por conectores, tais como os parafusos.

Como as peças metálicas são fabricadas com tamanho padrão vindo da fábrica, para facilidade do transporte, quando há necessidade de aumento dos elementos para que possam vencer vãos maiores, é necessário que se utilizem as ligações.

Outra situação para utilização das ligações é para a união de elementos, de forma que as cargas sejam transferidas entre eles e chequem à fundação.

Os conectores, tais como os parafusos, são inseridos em furos pré-executados que atravessam as peças que estão se unindo (Figura 4.9).



Figura 4.9 | Chapa de enrijecimento da ligação por meio de parafusos

Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/estrutura-moderna-ponte-em-detalhe-gm483044748-70380393 Acesso em: 17 jul. 2017.



Você já observou como as estruturas metálicas são executadas com rapidez e segurança? Devido à pré-execução dos furos dos parafusos e da definição do local de cada peça, quando elas chegam na obra, são apenas montadas. Além da mão de obra ser mais especializada (Figura 4.10), para que a obra seja executada com segurança, o material utilizado vem de fábrica com alto controle de qualidade.

Figura 4.10 | Montagem de estrutura metálica



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/men-at-work-gm144279106-3885192. Acesso em: 18 jul. 2017

Já a solda (Figura 4.11) funde as partes em contato com a utilização de eletrodos e, atualmente, é feita mais em fábrica, devido ao rígido controle de qualidade, tais como prumo, alinhamento e qualidade da própria solda. Além disso, a solda na obra requer o uso de andaimes, equipamentos especiais, trabalho em altura, suportes, entre outros. A facilidade da solda ocorre, principalmente, na união de peças mais complexas, nas quais o uso de parafusos se torna difícil.

Figura 4.11 | Solda de elemento metálico



 $Fonte: \verb|\| www.istock| photo.com/br/foto/soldas-colunas-de-metal-gm483954197-36619666>. Acesso em: 17 jul. 2017.$

Existem também peças especiais, as quais recebem vários elementos ao mesmo tempo (Figura 4.12), transferindo as cargas para os elementos inferiores.

Figura 4.12 | Elemento de ligação que recebe vários elementos



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/ponte-de-quadro-gm178371072-21025995>. Acesso em: 17 jul. 2017.

Outro exemplo de ligação são as peças rotuladas (Figura 4.13), as quais permitem que o elemento gire, mas não se desloque horizontalmente nem verticalmente. Todas essas ligações devem ser previamente consideradas no cálculo.

Figura 4.13 | Ligações rotuladas



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/chattanooga-quadro-gm146759462-6898206> Acesso em: 17 jul. 2017.

Para que seja assegurada a rigidez de um edifício metálico devido à ação do vento, no projeto e no cálculo de uma estrutura devem ser previstos elementos de contraventamento (Figura 4.14) verticais nas colunas e horizontais nos panos de lajes.



Os elementos de ligação servem para transferir a carga de um elemento a outro, de forma a conduzi-la para a fundação.

Figura 4.14 | Contraventamento em "X" de estrutura metálica



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/industrial-edif%C3%ADcio-est%C3%A1-em-constru%C3%A7%C3%A3o-qm534193498-94747687. Acesso em: 19 jul. 2017.

Os contraventamentos também contribuem para que, durante a montagem, a estrutura não sofra deformações. Os elementos trazem rigidez e maior estabilidade no momento em que as peças estão sendo instaladas (Figura 4.15).

Figura 4.15 | Ligações parafusadas e contraventamento em "X" de estrutura metálica



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/steel-construction-dark-color-tone-for-solid-strong-metal-background-am595740188-102126709>. Acesso em: 19 jul. 2017.

Importante salientar que, na colocação, os contraventamentos devem ser distribuídos levando-se em conta as passagens futuras, por exemplo, a colocação de equipamentos externos em que há a necessidade de manutenção. A mudança dos locais pré-definidos dos elementos para contraventar a estrutura não é simples, e requer que sejam recalculados caso haja mudanças no momento da montagem. Nem sempre as mudanças são viáveis, portanto, a pré-análise de todo o edifício pronto, levando-se em conta a logística de uso, é fundamental.

Pesquise mais

O Instituto do Aço visa representar as empresas brasileiras nos desafios da construção metálica no Brasil. O site a seguir apresenta vários materiais de pesquisa para este tipo de construção, além de informar sobre o mercado nacional.

Disponível em: http://www.acobrasil.org.br/site2015/publicacoes.asp. Acesso em: 27 ago. 2017.

Sem medo de errar

As dimensões padrões do aço são definidas em função de sua forma, e possuem inúmeras possibilidades. Entretanto, as dimensões são encontradas em tabelas dos fabricantes e são as mesmas em todos. Assim, após dimensionamento, verifica-se nas tabelas os perfis que atendem ao projeto.

As vigas e os pilares devem ser executados com perfis laminados a quente, pois, geralmente, recebem as maiores cargas. Os perfis mais utilizados para eles são as seções I ou compostas, por exemplo, com a união de cantoneiras, formando elementos treliçados. As vigas de cobertura podem ter seções especiais, nas quais sua seção varia longitudinalmente de acordo com os esforços.





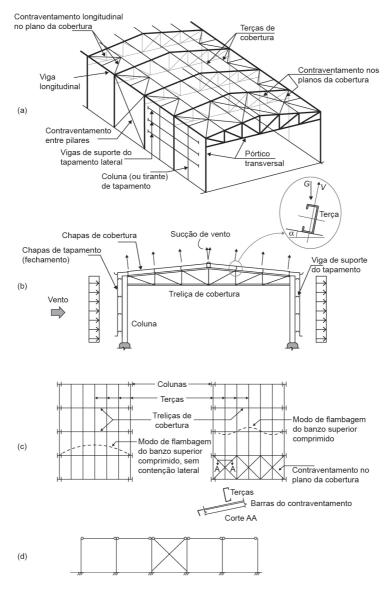
Fonte: <http://www.istockphoto.com/br/foto/estrutura-de-a%C3%A7o-gm541120470-96741657>. Acesso em: 19 jul. 2017.

A união das peças, geralmente, é feita por parafusos, com os furos vindos da fábrica e apenas montados na obra. Importante salientar que os parafusos não são colocados aleatoriamente, e cada um deles deve ser verificado. Dependendo da força atuante, os parafusos mal dimensionados podem ser cortados ou rasgarem a peça de aço que estão conectando.

Os parafusos são os mais usuais devido à facilidade de execução. A solda também é utilizada, mas, normalmente, para elementos nos quais o uso do parafuso se torna difícil de executar.

Segue um exemplo dos principais elementos de um galpão, dando ênfase às vigas e aos pilares e aos elementos de contraventamento.

Figura 4.17 | Exemplo de elementos de um galpão



Fonte: Pfeil e Pfeil (2014).

Avançando na prática

Contraventamento de edifício

Descrição da situação-problema

Um edifício foi executado para ser a sede de uma empresa multinacional. Durante a execução, foi necessário colocar sacadas para acomodação de equipamentos nas laterais do edifício, modificando a planta original e os projetos complementares. Entretanto, este local possuía uma linha com os elementos de contraventamento. Quais soluções adotar?

Resolução da situação-problema

Lembrando que, na colocação, os contraventamentos devem ser distribuídos levando-se em conta as passagens futuras, por exemplo, a colocação de equipamentos externos em que há a necessidade de manutenção.

A mudança dos locais pré-definidos dos elementos para contraventar a estrutura não é simples, e requer que sejam recalculados caso haja mudanças no momento da montagem. Nem sempre as mudanças são viáveis.

Neste caso, deve-se calcular a estrutura novamente para verificar se o novo local dos elementos de contraventamento será suficientes. Quando colocamos os elementos de contraventamento, leva-se em conta a rigidez do conjunto quando o vento atuar, e nem sempre a mudança será satisfatória.

A solução ideal é reunir a equipe de projeto e, juntos, repensar a melhor solução, de forma que o edifício esteja seguro, mesmo após as modificações.

Faça valer a pena

1. Os perfis simples são, na maioria, elementos laminados a quente. Disponíveis no comprimento padrão de 12 m, são encontrados com a designação de suas dimensões externas nominais, geralmente, altura em mm, seguida da massa do perfil em kg/m.



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/vigas-met%C3%A1licas-gm515190622-88435739. Acesso em: 17 jul. 2017.

Quais são as características que determinam que um elemento suporta mais carga do que outro?

- a) Quanto maior sua largura e o peso de sua chapa, mais carga suporta.
- b) Quanto menor a resistência do seu aço e a espessura de sua chapa, mais carga suporta.
- c) Quanto menor sua altura, a resistência do seu aço e a espessura de sua chapa, mais carga suporta.
- d) Quanto maior sua altura, a resistência do seu aço e a espessura de sua chapa, mais carga suporta.
- e) Quanto maior seu comprimento, a leveza do seu aço e a espessura de sua chapa, mais carga suporta.
- **2.** Os elementos de contraventamento são fundamentais para uma estrutura metálica, especialmente para edifícios altos. Quando o vento incide em um dos lados da construção, ele empurra toda a estrutura, gerando uma deformação significativa. O uso desses elementos transfere a carga entre os pilares, para que aumente a rigidez total para suportar essa carga.

Em quais locais e de qual forma devem ser colocados os elementos de contraventamento?

- a) Elementos de contraventamento verticais nas colunas e horizontais nos panos de lajes.
- b) Elementos de contraventamento verticais nas colunas e nos panos de lajes.
- c) Elementos de contraventamento verticais nas vigas e horizontais nos panos de lajes.
- d) Elementos de contraventamento horizontais nas colunas e verticais nos

panos de lajes.

- e) Elementos de contraventamento horizontais nas colunas e nos panos de lajes.
- **3.** A solda ______ as partes em contato com a utilização de eletrodos e, atualmente, é feita mais em _____, devido ao rígido controle de qualidade, tais como prumo, alinhamento e qualidade da própria solda. Além disso, a solda na obra requer o uso de andaimes, equipamentos especiais, trabalho em altura, suportes, entre outros. A facilidade da solda ocorre, principalmente, na união de peças mais ______, em que o uso de parafusos se torna difícil.

Assinale a alternativa correta que apresenta as palavras que preenchem as lacunas:

- a) funde; obra; complexas.
- b) funde; fábrica; fáceis.
- c) funde; fábrica; complexas.
- d) parafusa; fábrica; complexas.
- e) parafusa; fábrica; fáceis.

Seção 4.3

Dimensionamento de peças metálicas

Diálogo aberto

Caro(a) aluno(a), bem-vindo(a) à nossa última seção!

Lembrando que, na seção anterior, conhecemos as dimensões padrões das peças de aço, para que seu projeto fosse feito com medidas que pudessem ser facilmente encontradas no mercado. Também vimos quando utilizar um perfil simples e quando formar uma peça composta, de forma a atingir a resistência necessária para atender ao dimensionamento estabelecido. Ao final da seção, foram definidas as ligações e os contraventamentos que unem os elementos, que é um tópico importante nas estruturas, pois é a forma utilizada para que ocorra a transferência das cargas de um elemento para outro.

Já nesta seção, iremos identificar a que tipo de esforço nossas peças estão sujeitas: compressão, tração ou flexão. Será a combinação de diferentes esforços? Também aprenderemos sobre quais parâmetros são necessários para o dimensionamento de uma estrutura metálica e como executar um projeto estrutural.

Em seu desafio profissional, na fazenda eólica de Pernambuco, o dono do galpão quer um profissional comprometido com a segurança.

Muitas pessoas na região deste fazendeiro fazem a execução da estrutura metálica, mas não entregam a ART de responsabilidade. O dono da fazenda quer todas as peças dimensionadas de acordo com a norma e com segurança. Ele está curioso para saber como suas construções ficam de pé, e pede a você que lhe explique: será que estão sofrendo compressão? Será que estão sendo tracionadas? Além disso, ele lhe pede um projeto completo com detalhamento de cada elemento e sua ligação, pois quer arquivar o projeto para modificações futuras. Quais normas são utilizadas no dimensionamento das estruturas metálicas?

Ao final desta seção, você encontrará as repostas para seu projeto. Bom estudo!

Não pode faltar

Peças comprimidas e peças tracionadas

As peças comprimidas (Figura 4.18) são elementos estruturais sujeitos a solicitações de compressão axial, isto é, a compressão atua no eixo da peça.

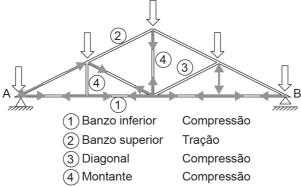
Figura 4.18 | Compressão de uma chapa de aço



Fonte: Silva e Silva (2008, p. 24).

Estas peças comprimidas, geralmente, são empregadas na forma de banzos, diagonais e montantes nas treliças (Figura 4.19), barras de torres e pilares em gerais.

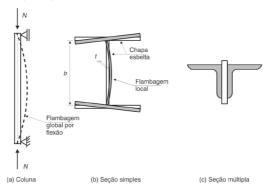
Figura 4.19 | Tipos de esforços de uma treliça



Fonte: Salgado (2014, p. 135).

O critério de dimensionamento é caracterizado pela instabilidade ou flambagem das chapas que formam o perfil das peças. A instabilidade pode ocorrer na barra como um todo, isto é, quando a coluna toda flete, chamada de flambagem global (caso (a) da Figura 4.20), ou dos elementos que constituem a seção transversal, isto é, quando a chapa sofre uma deformação formando ondulações locais, chamada de flambagem local (caso (b) da Figura 4.20).

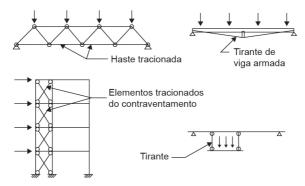
Figura 4.20 | Peças sujeitas à compressão e aos seus comportamentos



Fonte: Pfeil e Pfeil (2014).

As peças tracionadas (Figura 4.21) são elementos estruturais sujeitos às solicitações de tração axial, isto é, a tração atua no eixo da peça.

Figura 4.21 | Peças sujeitas à tração



Fonte: Pfeil e Pfeil (2014).

Estas peças tracionadas, geralmente, são empregadas na forma de tirantes (Figura 4.22) ou pendurais, contraventamento de torres, travejamento de vigas ou colunas, tirantes de vigas armadas e barras tracionadas de treliças.

Figura 4.22 | Peças sujeitas à tração



Fonte: Pfeil e Pfeil (2014).



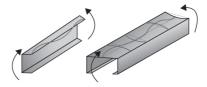
Reflita

As ligações de peças tracionadas são pontos críticos, pois, se a peça não estiver corretamente conectada à outra, ela pode romper. Elas podem ser feitas por meio de roscas e porcas (barras rosqueadas), soldagem ou parafusos.

Peças fletidas e esforços combinados

As peças submetidas à flexão simples (Figura 4.23) são elementos sujeitos a solicitações de momento fletor, podendo atuar ou não à força cortante, considerando ações estáticas.

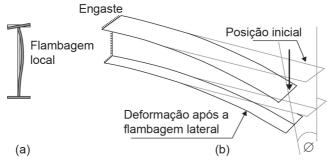
Figura 4.23 | Flexão de uma chapa de aço



Fonte: Silva e Silva (2008, p. 24).

A resistência à flexão das vigas pode ser afetada pela flambagem local e pela flambagem lateral (Figura 4.24).

Figura 4.24 | Flambagem local e flambagem lateral em vigas



Fonte: Pfeil e Pfeil (2014).

Estas peças flexionadas, normalmente, são empregadas na forma de vigas, vigas para pisos e terças da treliça.

Figura 4.25 | Vigas para piso de ponte



Fonte: http://www.istockphoto.com/br/foto/iron-bridge-of-steel-gm620366538-108232025>. Acesso em: 28 jul. 2017.



No dimensionamento, as peças são verificadas quanto ao Estado Limite Último, em relação ao momento fletor e à força cortante.

No Estado Limite de Serviço, a viga deve ser verificada quanto à flecha e à vibração excessiva.

Segundo Fakury, Silva e Caldas (2016), sob atuação do momento fletor, o colapso pode ocorrer por plastificação total da seção transversal por flambagem da viga, ou por flambagem local dos elementos parcial ou totalmente comprimidos da seção transversal.

Sob atuação da força cortante, o colapso pode ocorrer por escoamento, flambagem ou ruptura dos elementos da seção transversal, que tem a função de resistir a esse esforço.

Cálculo e dimensionamento de estrutura metálica

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), no cálculo e dimensionamento das estruturas metálicas, inicialmente, são verificados os esforços resistentes de cálculo com os esforços solicitantes de cálculo e, por meio dos valores obtidos, dimensiona-se a estrutura.

No dimensionamento das barras sujeitas à compressão, deve ser atendida a seguinte condição:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd}$$

Onde:

 $N_{c,Sd}$ é a força axial de compressão solicitante de cálculo;

 $N_{c,Rd}$ é a força axial de compressão resistente de cálculo.



Quando uma peça está sujeita à compressão, ela poderá romper por esmagamento da peça, ou pela flambagem, ou instabilidade local ou global no seu elemento.

Uma das soluções para que não haja o esmagamento do elemento comprimido é o aumento da espessura da chapa que compõe o perfil, tornando-a mais resistente. Outra solução é a mudança do tipo de perfil ou o aumento da altura.

No dimensionamento das barras sujeitas à tração, deve ser atendida a seguinte condição:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd}$$

Onde:

 $N_{t,sd}$ é a força axial de tração solicitante de cálculo;

 $\emph{N}_{\textit{t,Rd}}$ é a força axial de tração resistente de cálculo.

No dimensionamento das barras submetidas ao momento fletor e à força cortante, devem ser atendidas as seguintes condições:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$
 \in
 $V_{Sd} \leq V_{Rd}$

Onde:

 $M_{\rm Sd}$ é o momento fletor solicitante de cálculo.

 $V_{{\scriptscriptstyle Sd}}$ é a força cortante solicitante de cálculo.

 M_{Rd} é o momento fletor resistente de cálculo.

 $V_{\!\scriptscriptstyle Rd}$ é a força cortante resistente de cálculo.

Portanto, o momento fletor resistente de cálculo deve ser igual ou superior ao máximo momento solicitante de cálculo, para que esta estrutura seja dimensionada com segurança.

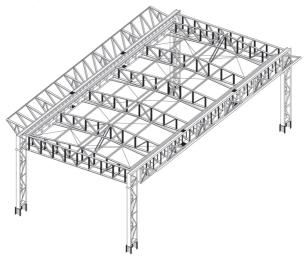
Ainda segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), na flexão simples de um perfil, devem ser considerados, conforme o caso, os estados-limites últimos de:

- Flambagem Local da Mesa (FLM).
- Flambagem Local da Alma (FLA).
- Flambagem Lateral com Torção (FLT).

Projeto estrutural metálico

O projeto estrutural metálico deve conter as informações mais claras possíveis para sua execução. A planta, os cortes, a perspectiva (Figura 4.26) e a locação da estrutura no terreno devem ser detalhados.

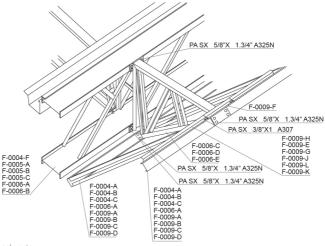
Figura 4.26 | Perspectiva



Fonte: elaborada pelo autor.

Outro ponto a ser destacado é o detalhamento das ligações. Todo o encaixe da estrutura deve ser detalhado de forma que o executor possa ver como ele deve fazer.

Figura 4.27 | Detalhamento das ligações



Fonte: elaborada pelo autor.

Para facilitar a compra dos materiais, deve-se detalhar todas as peças que serão utilizadas, descrevendo seu local de uso e, inclusive, os parafusos e/ou soldas.

Quadro 4.2 | Detalhamento de peças e parafusos, com suas quantidades

Conjunto	Qtd	Descrição	Peso Unitário	Peso Total
F-0001-A	1	TESOURAS	160,88	
F-0001-B	1	TESOURAS	155,30	
F-0002-A	2	TESOURAS	158,24	
F-0002-B	2	VIGAS	418,80	
F-0003-A	1	VIGAS	320,05	
F-0003-B	2	VIGAS	189,09	

Resumo Parafusos			
Item	Qtd	Descrição	
1	22	Parafuso 5/8"x1,1/2"	
2	234	Parafuso 3/8"x1,3/4"	
3	24	Parafuso 3/8"x1"	
4	180	Porca sextavada 7/8"	
5	26	Porca sextavada 3/4"	

Fonte: elaborado pelo autor.



Nos links a seguir, do site do Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), você encontrará vários manuais de diversas estruturas em aço, com destaque para o *steel framing* e pontes.

Disponível em: http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/publicacoes-revista-pontes-de-aco.php>. Acesso em: 27 ago. 2017.

Sem medo de errar

Como o proprietário estava inseguro quanto ao funcionamento do procedimento de cálculo, você explicou a ele como as normas funcionam.

As normas brasileiras definem os princípios gerais que regem o projeto das estruturas de aço nas edificações e em outras estruturas. Elas podem ser encontradas no site da ABNT. Entre as principais estão:

- ABNT NBR 8800:2008 Projeto de Estruturas de Aço e de Estrutura Mista de Aço e Concreto de Edifícios .
- ABNT NBR 14323:1999 Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio Procedimento.

- ABNT NBR 14762:2010 Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio Procedimento.
- ABNT NBR 6355:2012 Perfis estruturais de aço formados a frio Padronização.

Nestas normas se encontram os procedimentos necessários para as verificações básicas das estruturas metálicas.

Quando se lida com casos que não estão citados na norma, procuram-se trabalhos acadêmicos ou estudos que deem suporte ao procedimento que se irá adotar, para que se tenha um respaldo técnico sobre o assunto.

Passeando pela propriedade do fazendeiro, você começa a lhe mostrar algumas estruturas. Vocês passam pela estrebaria, então, você mostra a cobertura do galpão e explica que os banzos, diagonais e montantes nas treliças que seguram o telhado estão sofrendo esforços de compressão. Além dessas peças, todos os pilares que estão ao redor da estrutura e que recebem a carga destas treliças estão sofrendo compressão.

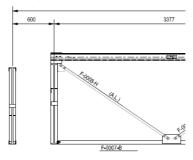
Vocês saem da estrebaria e avistam uma torre de telefonia. Devido ao vento, a torre possui tirantes que a seguram. Você explica que esses cabos do tirante estão tracionados. Além disso, o contraventamento da torre também está sofrendo esse esforço.

Ao fim do passeio, vocês passam por um abrigo no qual ficam os tratores. Nele, há um mezanino, que guarda as ferramentas da fazenda. Você explica que as vigas que seguram a laje de piso estão flexionadas.

O proprietário fica contente com a aula que você lhe proporciona e isso lhe traz muita segurança e confiança em seu trabalho.

Além disso, o proprietário lhe pede o projeto completo com suas ligações, lembrando que este sempre deve ser apresentado com o maior número de detalhes possíveis sobre a sua execução, dentre os quais se encontram a planta, os cortes, a perspectiva e locação da estrutura do terreno.

Figura 4.28 | Exemplo de uma parte do corte de uma estrutura metálica

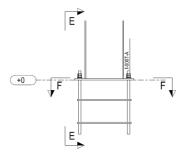


Fonte: elaborada pelo autor.

Neste exemplo de corte, no qual apenas parte da estrutura está sendo mostrada, você está apresentando ao proprietário detalhes da nomenclatura dos elementos, além das distâncias necessárias para sua locação.

Outro ponto fundamental é o detalhamento das ligações. Todo o encaixe da estrutura deve ser detalhado de forma clara, para que o executor possa não ter dúvidas quando for montar o projeto na obra.

Figura 4.29 | Detalhe de ligação da base com a fundação



Fonte: elaborada pelo autor.

Neste exemplo, destacam-se os chumbadores, os quais serão usados para fixar a estrutura na base. Além dos detalhes referentes ao projeto que contém cada parte da execução, você entregou junto a cada folha os materiais em forma de tabela, necessário para que eles sejam comprados sem que haja equívocos.

Com a explicação das normas e a entrega do projeto com todas as especificações necessárias, o proprietário se sente seguro e confiante neste novo galpão que fará parte de sua propriedade.

Avançando na prática

Dimensionamento de estrutura metálica

Descrição da situação-problema

Você é responsável pelo projeto de uma ponte que será executada em estrutura metálica, para a travessia de um rio. Houve um problema nos cálculos da estrutura e o resultado obtido em uma das peças comprimidas foi:

$$N_{c,Sd} \geq N_{c,Rd}$$

Sabendo que, no dimensionamento das barras sujeitas à compressão, deve ser atendida a seguinte condição:

$$N_{c.Sd} \leq N_{c.Rd}$$

Qual é a implicação da condição encontrada no cálculo? Qual solução deve ser tomada para que a condição correta seja atendida?

Resolução da situação-problema

A implicação da condição encontrada no cálculo significa que a peça irá romper por compressão. Esta força que atua na peça é maior do que a peça poderá suportar, e o projeto não poderá avançar, a não ser que esse problema seja solucionado.

Então, quais são as soluções para a correção desse problema?

Quando uma peça está sujeita à compressão, ela poderá romper por esmagamento da peça, ou pela flambagem, ou pela instabilidade local ou global no seu elemento.

Uma das soluções para que não haja o esmagamento do elemento comprimido é o aumento da espessura da chapa que compõe o perfil, tornando-a mais resistente. Outra solução é a mudança do tipo de perfil, ou o aumento da altura.

Para a flambagem global, a solução é a mesma que para o esmagamento. Mas para a flambagem local, caso o problema seja nas abas da peça, pode-se enrijecer com o uso de elementos enrijecedores o local do perfil que está flambando, ou também aumentar a espessura da chapa. No caso da alma do elemento, para que a peça de torne mais rígida, também deve-se aumentar a espessura.

O aumento da espessura da chapa é uma solução para quase todos os casos, entretanto, ela custa muito caro. Caso seja necessário fazer isso, por exemplo, em um prédio inteiro, deve-se buscar as soluções mais econômicas.

Faça valer a pena

1. Os pilares recebem as cargas das vigas e descarregam nos elementos de fundação. Eles são elementos que estão sujeitos à compressão. Quais são os critérios de dimensionamento para sua verificação?

Assinale a alternativa correta que contém os critérios de dimensionamento para compressão.

- a) Tração das chapas.
- b) Estabilidade das chapas.
- c) Instabilidade ou flambagem das chapas.
- d) Rasgamento dos furos.
- e) Borda comprimida e alma tracionada.
- **2.** As estruturas metálicas estão sujeitas a ações que produzem esforços em suas peças. Relacione os esforços com o respectivo local em que ocorrem:
- 1- Peças comprimidas.
- 2- Peças tracionadas.
- 3- Peças fletidas.
- a- São empregadas na forma de vigas, vigas para pisos e terças da treliça.
- b- São empregadas na forma de banzos, diagonais e montantes nas treliças, barras de torres e pilares em gerais.
- c- São empregadas na forma de tirantes ou pendurais, contraventamento de torres, travejamento de vigas ou colunas, tirantes de vigas armadas e barras tracionadas de treliças.

Assinale a alternativa correta que relaciona as colunas dos esforços com seu respectivo uso:

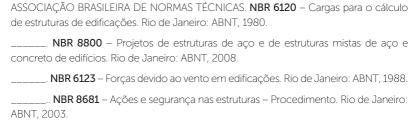
- a) 1-c; 2-a; 3-b.
- b) 1-a; 2-b; 3-c.
- c) 1-b; 2-a; 3-c.
- d) 1-a; 2-c; 3-b.
- e) 1-b; 2-c; 3-a.

3. O projeto estrutural metálico é uma parte importante para a execução e deve conter as informações mais claras possíveis. Quais informações importantes devem conter no projeto?

Assinale a alternativa correta que contém as informações que devem conter em um projeto de estruturas metálicas.

- a) Plantas, cortes, perspectiva, locação da estrutura no terreno, detalhamento das ligações e lista de materiais.
- b) Locação da estrutura no terreno, detalhamento das ligações e lista de materiais.
- c) Planta baixa e cortes.
- d) Detalhamento das ligações e cálculo da estrutura.
- e) Plantas, cortes, perspectiva e cálculo da estrutura.

Referências



FAKURY, R. H.; SILVA, A. L. R. C.; CALDAS, R. B. **Dimensionamento básico de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

SALGADO, Júlio César Pereira. Estruturas na construção civil. São Paulo: Érica, 2014.

SILVA, E. L.; SILVA, V. P. Dimensionamento de perfis formados a frio conforme NBR 14762 e NBR 6355. Rio de Janeiro: IBS/ CBCA, 2008.



