

KLS

Sistemas Estruturais I

Sistemas Estruturais I

Nicole Schwantes Cezario

© 2019 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 e de Educação Básica

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Danielly Nunes Andrade Noé

Grasiele Aparecida Lourenço

Isabel Cristina Chagas Barbin

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Daniela Delgado

Bárbara Nardi Melo

José Renato Carpi

Editorial

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Cezario, Nicole Schwantes

C425s Sistemas estruturais I / Nicole Schwantes Cezario. –
Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019.
192 p.

ISBN 978-85-522-1444-1

1. Concreto armado. 2. Concreto pré-fabricado.
3. Elementos estruturais de concreto. I. Cezario, Nicole
Schwantes. II. Título.

CDD 624

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2019

Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza

CEP: 86041-100 — Londrina — PR

e-mail: editora.educacional@kroton.com.br

Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1	
Estrutura e elementos da edificação.....	7
Seção 1.1	
Introdução aos sistemas estruturais.....	9
Seção 1.2	
Forças que atuam nas estruturas.....	22
Seção 1.3	
Introdução à concepção estrutural.....	36
Unidade 2	
Estruturas em concreto armado.....	51
Seção 2.1	
Elementos que compõem o concreto.....	53
Seção 2.2	
Propriedades do concreto armado.....	68
Seção 2.3	
Agressões ao concreto estrutural.....	82
Unidade 3	
Elementos estruturais horizontais em concreto.....	97
Seção 3.1	
Especificações das lajes.....	99
Seção 3.2	
Lajes em concreto armado.....	113
Seção 3.3	
Vigas em concreto armado.....	127
Unidade 4	
Elementos verticais, estruturas pré-fabricadas e fundações em concreto.....	143
Seção 4.1	
Pilares em concreto armado.....	144
Seção 4.2	
Estruturas pré-fabricadas de concreto.....	158
Seção 4.3	
Elementos de fundação em concreto.....	172

Palavra do autor

Caro aluno, seja bem-vindo à disciplina de Sistemas Estruturais I! Nesta disciplina aprenderemos sobre sistemas estruturais, com foco nos executados em concreto armado, que é o método construtivo mais utilizado na atualidade. Mas antes mesmo de trabalharmos o concreto armado propriamente dito, veremos o que são elementos estruturais, desde quando eles são estudados e também como é realizada a distribuição das cargas nas estruturas.

Lembre-se de que você deve compreender conceitos básicos envolvendo as estruturas e os elementos da edificação, bem como conhecer o comportamento estrutural e as características de lajes, vigas, pilares e estruturas pré-moldadas para o desenvolvimento da modelagem dos projetos arquitetônicos. Outro aspecto muito importante é explorar as características dos materiais que você vai aplicar em projetos ou em obras, pois deverá utilizá-los de forma consciente e correta, buscando sempre o melhor custo-benefício para os seus clientes.

Na primeira unidade, aprenderemos sobre a estrutura e os elementos das edificações a partir da introdução aos sistemas estruturais dentro de um panorama histórico, no qual identificaremos aplicações e também a evolução dos materiais utilizados em estruturas. Dando sequência, estudaremos as forças e os esforços que atuam nas estruturas, ilustrando a estrutura como o próprio caminho das forças. Vale destacar que o entendimento da estrutura como o caminho das forças é fundamental para a realização da concepção estrutural. Para finalizar a Unidade 1, estudaremos os diagramas de forças e suas aplicações.

Na segunda unidade, conheceremos mais sobre o concreto armado, material mundialmente utilizado na construção civil, sobre os materiais que compõem o concreto e suas características, assim como as características do concreto no estado fresco e endurecido. A compreensão sobre estas características é fundamental, pois as lajes, vigas, pilares e estruturas pré-fabricadas, em sua grande maioria, são executadas em concreto armado. Outro ponto importante que estudaremos na Unidade 2 são as agressões às quais

o concreto estrutural pode estar submetido ao longo de sua vida útil, em que conheceremos as classes de agressividade do concreto, como ocorre a corrosão da armadura dentro do concreto e também os modos de ruptura do concreto comprimido e a fissuração.

Dando continuidade, na terceira unidade exploraremos o conteúdo de elementos estruturais horizontais em concreto, além de lajes e vigas. Também estudaremos as cargas atuantes nas lajes e os tipos de lajes de concreto existentes, exemplos da distribuição de cargas e da determinação do carregamento em lajes e também a espessura mínima e a altura útil das lajes. Além disso, na terceira unidade veremos a retração do concreto, a verificação de flechas e de fissuras em lajes e o detalhamento das armaduras nestes elementos estruturais. Ademais, trataremos do comportamento das vigas de concreto armado, as aplicações e os estados limites de utilização destes elementos, além do surgimento de fissuras, pré-dimensionamento e detalhamento.

Por fim, na quarta e última unidade encerraremos nossos estudos conhecendo o comportamento, as aplicações e o pré-dimensionamento de pilares utilizados nas edificações. Também estudaremos as estruturas pré-fabricadas, seu processo de produção, vantagens e desvantagens e fundações, seus tipos e suas aplicações.

Além disso, é importante enfatizar que o dimensionamento das estruturas de concreto armado deve sempre atender às recomendações normativas, pois as regras determinam como devem ser calculadas as peças estruturais e que parâmetros devem ser considerados no dimensionamento. Desta forma, caro aluno, dedique-se a conhecer este material tão utilizado na construção civil, pois compreendendo o comportamento dos elementos estruturais você conseguirá projetar edificações em harmonia com o projeto estrutural.

Unidade 1

Estrutura e elementos da edificação

Convite ao estudo

Existem diversos livros e materiais de apoio que tratam de sistemas estruturais ou estruturas em edificações, pela grande importância que seu estudo tem. Ao longo deste material, você encontrará informações importantes para sua formação acadêmica, sendo que começaremos os estudos de Sistemas Estruturais I conhecendo mais sobre a estrutura e os elementos das edificações. Mas, primeiramente você precisa entender o que é estrutura, não é mesmo?

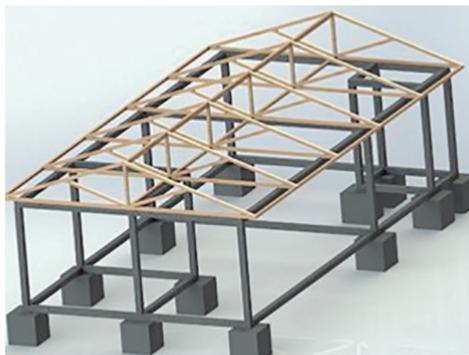
Ao longo desta disciplina você compreenderá conceitos básicos envolvendo as estruturas e os elementos da edificação a partir do estudo de sua evolução ao longo da história das edificações e como as cargas atuam nelas.

É importante que você saiba que a arquitetura e os sistemas estruturais estão ligados desde a antiguidade e que a tecnologia na construção das edificações foi se desenvolvendo cada vez mais ao longo da história. No passado, as construções eram apenas abrigos rudimentares construídos com galhos de árvores e pedras, mas hoje contamos com edificações modernas, diversos partidos arquitetônicos e materiais inovadores.

Neste contexto, considere que você está iniciando sua carreira de arquiteto e conseguiu uma oportunidade em uma grande incorporadora, na qual trabalhará com projetos arquitetônicos e execução de obras. Para passar confiabilidade ao seu gerente e também sempre apresentar soluções eficientes de projeto para os engenheiros estruturais, você precisa entender o que são sistemas estruturais e saber responder diversas perguntas, tais como: quais cargas atuam nas edificações? Como as estruturas se comportam quando estão submetidas a esforços?

Seu primeiro desafio será o projeto de um dos escritórios de vendas de um complexo urbanístico, ilustrado na Figura 1.1.

Figura 1.1 | Sistema estrutural do escritório



Fonte: elaborada pela autora.

Para a elaboração deste escritório de vendas, você precisará realizar vários estudos. Baseando-se nestes estudos, você, como arquiteto, deverá apresentar aos investidores e aos engenheiros estruturais os materiais que recomenda para a construção do escritório, sugerindo componentes duráveis, com boas características e que permitam harmonia entre as estruturas e o projeto arquitetônico.

Além disso, você precisará entender como as cargas são transmitidas nos elementos estruturais e como estes elementos se comportam mediante a aplicação de carga, para que não posicione vigas com vãos que possam levar a curvaturas indesejadas provocadas por flechas.

Com esse conhecimento, você poderá propor aos seus clientes melhores alternativas de projeto e se tornar um profissional competitivo no mercado de trabalho. Lembre-se: o conhecimento é fundamental para a concepção de estruturas em projetos arquitetônicos. Você está preparado? Bons estudos.

Introdução aos sistemas estruturais

Dialógo aberto

A história da arquitetura é bastante antiga e, com ela, ao longo dos anos, foram se projetando e construindo os mais diferentes sistemas estruturais, com os mais diversos materiais. Nesta seção você conhecerá o que são sistemas estruturais por meio de uma retrospectiva histórica da estrutura das edificações, além da aplicação e a evolução dos materiais utilizados em estruturas e algumas analogias entre sistemas estruturais da natureza e das edificações.

Você, por estar iniciando sua carreira como arquiteto, deve conhecer tanto as aplicações como a evolução dos materiais para sempre indicar aos seus clientes soluções inovadoras e econômicas.

Relembrando que você acabou de ser contratado para trabalhar em uma grande incorporadora, na qual o seu primeiro desafio será o projeto de um escritório de vendas para o complexo urbanístico que a incorporadora está projetando e, futuramente, vai também executar esta obra.

Na primeira reunião, você, seu gerente e o investidor discutiram aspectos importantes para a concepção do projeto, qual era a necessidade de área do local, quantas salas seriam necessárias no escritório e como elas deveriam ser dispostas no ambiente.

Após esta reunião, você e o seu gerente observaram que o investidor gosta de edificações mais rústicas. Por esse motivo, seu chefe solicitou que você fizesse um estudo sobre estas estruturas, elaborando uma lista dos possíveis materiais a serem utilizados na construção do escritório e suas características, visando atender à necessidade do investidor.

Sua tarefa então será elaborar uma lista dos materiais mais utilizados nas construções ao longo dos anos e suas características. Seu gerente pediu ainda que você relacionasse esses materiais com monumentos arquitetônicos e construções marcantes, para ficar mais claro ao investidor a aplicação dos mais diferentes materiais de construção. Quais possíveis materiais podem ser considerados para esta construção? Quais são os pontos mais relevantes a serem considerados?

Após o levantamento destas informações, você deverá montar uma apresentação para mostrar os resultados ao investidor em uma segunda reunião. Lembre-se de que você deve estar preparado para esta reunião, com total conhecimento dos materiais de construção utilizados ao longo dos anos, suas aplicações, vantagens e desvantagens. Ao final da reunião, você

poderá recomendar ao investidor, com a sua opinião profissional, o material que considera mais eficiente e adequado para ser utilizado na construção do escritório de vendas do complexo urbanístico.

Tenha em mente que sua escolha deve levar em consideração a disponibilidade do material de construção escolhido e a facilidade de sua execução. Não se esqueça de mostrar ao investidor que os materiais evoluíram ao longo dos anos, apontando suas melhorias em relação aos utilizados no passado. Preparado? Então vamos trabalhar!

Não pode faltar

Nesta unidade aprenderemos sobre as estruturas, logo, é fundamental conceituarmos o que são. Estrutura é um conjunto ou um sistema de elementos que atuam para desempenhar uma função específica. Se analisarmos bem, temos diversas estruturas ao nosso redor o tempo todo, até as plantas têm uma definida. Com as edificações não é diferente, pois elas contêm um conjunto de elementos (lajes, vigas, pilares e fundação) que atuam juntamente na sustentação das cargas (FAY, 2006).

Uma retrospectiva histórica da estrutura das edificações

As edificações, que no passado eram consideradas apenas abrigos para as pessoas contra as intempéries, hoje atuam para os mais diversos fins. Ao longo dos anos, as edificações foram se desenvolvendo cada vez mais, pois o homem foi adquirindo diferentes necessidades e também foi alcançando mais conhecimento sobre os sistemas estruturais e os materiais empregados nas estruturas (PEREIRA, 2010).

Quando pensarmos em sistemas estruturais, precisamos ter em mente que eles são definidos como os conjuntos de elementos que atuam como suporte e têm como função transmitir as cargas ao solo. Pensando em uma edificação nos dias de hoje, podemos dizer que os elementos estruturais que formam o sistema estrutural da Figura 1.2 são lajes, vigas, pilares e fundação.

Figura 1.2 | Sistemas estruturais de um edifício



Fonte: iStock.

As construções, porém, nem sempre foram desta forma. Entre o histórico dos sistemas estruturais, podemos citar os templos de pedra mais antigos do mundo, localizados na Turquia e construídos cerca de 9.000 anos antes de Cristo. O sistema estrutural do Göbekli Tepe (Figura 1.3) era composto por pilares enormes em forma de “T”, cujas paredes eram apenas pedras assentadas com um material ligante oriundo do pó de pedras.

Figura 1.3 | Göbekli Tepe: templo de pedra construído na Turquia



Fonte: iStock.

Com o passar dos anos, o homem foi adquirindo mais conhecimento e aplicando-o na construção de edificações e templos, como do Stonehenge, ilustrado na Figura 1.4. Este templo foi construído entre 3.100 a 1.100 a. C. apenas com pedras apoiadas em forma de pilares e vigas, e estima-se que cada pedra pesa mais de 20 toneladas. Com a construção do Stonehenge, o homem percebeu que se ele colocasse uma pedra na horizontal em duas pedras na vertical, este conjunto adquiriria maior estabilidade, papel semelhante ao das vigas nas edificações atuais (FAZIO; MOFFETT; WODEHOUSE, 2011).

Figura 1.4 | Stonehenge: templo de pedras construído na Inglaterra



Fonte: iStock.



Refleta

Você parou para pensar que na época em que o Stonehenge foi construído ainda não havia a roda para auxiliar no transporte das pedras? Muito menos guindastes para içá-las? A tecnologia disponível na época não oferecia nada mais do que ferramentas de cobre e bronze para trabalhar as pedras e, mesmo assim, os povos da época organizaram uma força de trabalho humano para o posicionamento das pedras. Você consegue imaginar como eles fizeram isso?

Nesse ínterim, na civilização egípcia, já se desenvolvia o conhecimento para a construção das pirâmides. Os anos foram se passando e começou-se a utilizar a madeira para a sustentação, juntamente com paredes de adobe e coberturas de fibras vegetais. Em alguns casos, as edificações eram elevadas em palafitas às margens de rios e lagos para melhorar as características térmicas (CHING; ONOUYE; ZUBERBUHLER, 2015).



Assimile

O adobe é um antecedente do tijolo de barro utilizado em edificações antigas, composto por solo, água, fibras naturais e palha. Palafitas são constituídas por conjuntos de estacas que sustentam uma edificação construída sobre a água.

Dando continuidade, no século IV a. C. os babilônios e assírios já utilizavam o betume como argamassa de alvenaria de tijolo e pedra e, no século III, os romanos passaram a elaborar concretos com pozolanas provenientes de rochas vulcânicas, semelhante ao concreto que utilizamos nos dias de hoje.

Com esse conhecimento adquirido, outras edificações históricas, como o Parthenon na Grécia antiga e o Coliseu em Roma, foram concebidas. É importante destacar que a construção do Coliseu é considerada uma das maiores construções de todo o Império Romano e foi uma das primeiras a utilizar concreto de cimento natural para grandes obras. Além do concreto, a construção contou com alvenaria de tijolos e revestimento de pedra.

Daí em diante, os materiais começaram a ser mais estudados, buscando sempre atingir melhores características, possibilitando maiores vãos e também elevados desempenhos, como é o exemplo do prédio mais alto da atualidade, o Burj Khalifa, ilustrado na Figura 1.5.

Figura 1.5 | Edifício Burj Khalifa com 828 metros de altura construído em Dubai



Fonte: iStock.

O Burj Khalifa, também chamado de Burj Dubai, foi construído em concreto e aço, como sistema estrutural. O fechamento deste edifício foi executado em vidro e alumínio, mostrando o emprego do estudo dos sistemas estruturais para a construção de grandes obras.

Neste contexto, é de suma importância conhecermos a história da arquitetura e dos sistemas estruturais, para entendermos os materiais utilizados na construção destas edificações e suas características.

Aplicações e evolução dos materiais utilizados em estruturas

A história dos materiais de construção utilizados em estruturas caminha lado a lado com a história do homem que, desde os primórdios, buscava locais para se abrigar e se proteger das intempéries. Primeiramente, o homem pré-histórico se abrigava em locais naturais, como cavernas, mas, com o passar do tempo, o ser humano começou a modelar e adaptar materiais que encontrava na natureza, de acordo com as suas necessidades. Neste caso, pode-se citar a pedra, a madeira e o barro para a construção de edificações e fibras vegetais para as estruturas de cobertura.

No entanto, as exigências do homem foram aumentando no decorrer dos anos e, com isso, elevou-se também a necessidade de maiores desempenhos nos materiais utilizados, pois buscava-se a construção de estruturas mais esbeltas e esteticamente agradáveis. Desta forma, tornou-se necessário conhecer mais a fundo as propriedades dos materiais empregados nas construções, pois procurava-se materiais com uma boa aparência e uma maior resistência e durabilidade.



Exemplificando

Enquanto no passado não havia a preocupação com a resistência dos materiais empregados nas edificações, o homem construía paredes de pedras assentadas com barro. Quando estas exigências começaram a surgir, as construções passaram a contar com uma mistura de cal e barro, que atuava como uma pozolana, semelhante ao concreto utilizado atualmente. Na sequência, buscou-se um material que pudesse manter suas características na construção de maiores vãos com maior suporte de carga, surgindo, então, o concreto armado. Porém, o estudo destes materiais não para por aí: após a descoberta do concreto armado, o aço passou a ser mais estudado, tanto para aplicação como elemento estrutural (sem o concreto), quanto para o concreto protendido, capaz de vencer vãos ainda maiores.

Sistemas estruturais em concreto armado

Buscando maiores desempenhos e durabilidade, o homem chegou ao concreto armado (CA), que é o sistema estrutural mais utilizado nas edificações hoje. É importante que você entenda que a junção do concreto e do aço é benéfica, pois a união de suas propriedades faz com que o desempenho da estrutura seja maior.

Você sabia que a resistência do concreto à compressão é elevadíssima, mas sua resistência à tração é muito baixa? Pois é, a resistência à tração do concreto corresponde, em média, a 10% da sua resistência à compressão. O aço, por sua vez, tem uma elevada resistência à tração, fazendo com que o concreto armado (junção do concreto e do aço) apresente um bom desempenho tanto à compressão, quanto à tração.

Desta forma, é importante que você conheça as características e limitações dos materiais utilizados nas construções, a fim de repassar aos seus clientes a alternativa mais viável e durável. Vale ressaltar que, se seu cliente gostar de ambientes mais rústicos, atualmente existem diversas opções de materiais que remetem à arquitetura rústica, como tijolos à vista, a madeira, papéis de parede, revestimentos, entre outros.



Exemplificando

Os principais materiais utilizados na construção de sistemas estruturais ao longo dos anos são:

- A rocha, usada nas construções até hoje, na forma de pedra britada. Antigamente, era utilizada nas construções por causa de suas características de durabilidade e da possibilidade de ser lapidada, sendo empregada na construção de templos e escul-

turas. Porém, a rocha tem um elevado peso e, por esse motivo, é difícil de manuseá-la.

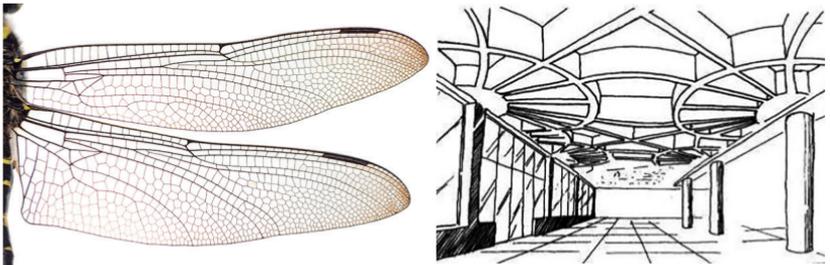
- A madeira, usada nas construções até hoje, pela sua resistência e por ser um material relativamente leve. Antigamente, era utilizada da forma natural para a construção de abrigos, mas hoje já possuímos diversos tratamentos nas madeiras, dependendo da necessidade.
- O concreto, um material durável e adaptável a diversas formas geométricas, que tem uma baixa porosidade e elevada resistência à compressão, mas uma baixa resistência à tração.
- O aço, um material de construção civil mais atual, possui elevada resistência à tração e é usado em estruturas de aço e na confecção do concreto armado. O principal problema deste material está associado à corrosão.

Outro ponto importante de observarmos são as analogias entre os sistemas estruturais da natureza e das edificações. Nós, como seres humanos, somos muito observadores e, por isso, quando os sistemas estruturais foram sendo trabalhados ao longo dos anos, muitos arquitetos famosos se inspiraram em estruturas da natureza para realizarem concepções arquitetônicas, que estudaremos a seguir.

Analogias entre sistemas estruturais da natureza e das edificações

O homem buscou modelos de sistemas estruturais na natureza para seguir de exemplo nas construções. Você já observou a asa de uma libélula? Quanto mais próximo do tronco do inseto, mais a malha da asa diminui e se afunila, reduzindo a quantidade de caminhos e aumentando sua espessura. Neste caso, como analogia nos sistemas estruturais temos as grelhas, que são constituídas por nervuras que se cruzam e estão apoiadas em vigas, que consecutivamente transmitem as cargas aos pilares, conforme ilustrado na Figura 1.6.

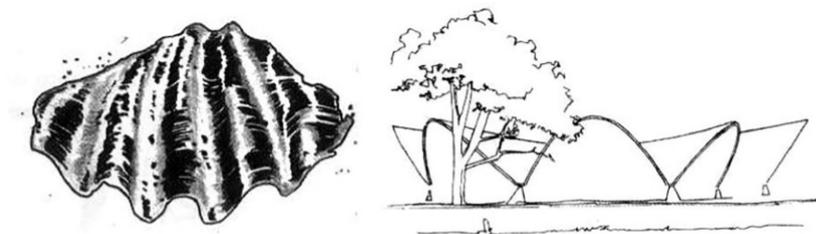
Figura 1.6 | Analogia das asas de uma libélula com grelhas estruturais



Fonte: iStock; Fay (2006, p. 5).

Outra forma muito utilizada em projetos remete a conchas marinhas, conforme ilustra a Figura 1.7. Talvez você não saiba, mas as conchas suportam grandes pressões exercidas pela água. Da mesma forma são as cúpulas, que apresentam pequenas espessuras com esforços predominantes de compressão.

Figura 1.7 | Conchas marítimas e sua analogia em sistemas estruturais



Fonte: Fay (2006, p. 17).

Contudo, as pequenas espessuras e a esbelteza da peça podem causar um efeito conhecido como flambagem. Para combater este problema, nas cúpulas são criadas nervuras que deixam a estrutura mais rígida.



Refleta

Além destes dois exemplos que foram citados de analogias de sistemas da natureza e de edificações, existem muitos mais. Você já parou para pensar se na sua cidade ou no seu estado existem obras que remetem a algum sistema da natureza? Quais são elas?

Além destes dois exemplos, existem muitos mais, entre os quais podemos citar o cogumelo e as lajes cogumelo, a casa do João-de-Barro e a casca de tartarugas com analogia em cúpulas, etc.

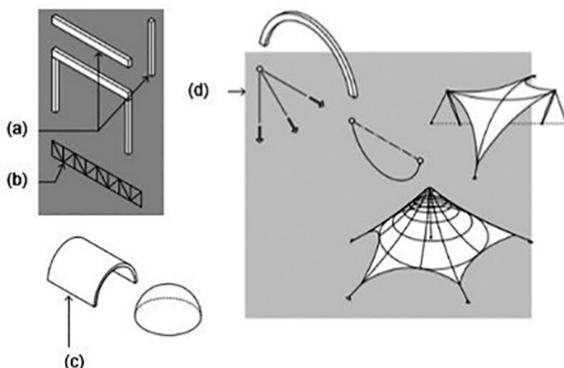
Ainda, é importante conhecer os tipos de sistemas estruturais existentes, pois, dependendo do partido arquitetônico do projeto, você deverá indicar o sistema estrutural mais adequado para cada situação. De acordo com Ching, Onouye e Zuberbuhler (2015), temos os seguintes tipos de estruturas:

- Estruturas de massa ativa, como vigas e pilares, que redirecionam as forças aplicadas sobre elas por meio do volume e da continuidade do material que as compõe.
- Estruturas de vetor ativo, como treliças, que redirecionam as cargas aplicadas a partir dos elementos de tração e compressão.

- Estruturas de superfície ativa, como estruturas em lâmina ou casca, que redirecionam as cargas externas aplicadas ao longo da continuidade de uma superfície.
- Estruturas de forma ativa, como sistemas com arcos e cabos, que redirecionam as forças através da forma de seu material.

A Figura 1.8 ilustra exemplos destes tipos de estrutura.

Figura 1.8 | Exemplo de estruturas de: (a) massa ativa, (b) vetor ativo, (c) superfície ativa e (d) forma ativa.



Fonte: adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2015).

A partir do estudo desta seção, você já conhece o histórico dos sistemas estruturais, os materiais utilizados na construção das estruturas, as analogias entre os sistemas estruturais e a natureza e os tipos de sistemas estruturais existentes na construção civil. Sendo assim, já existem diversas informações que poderão ser repassadas aos investidores na construção do escritório de vendas, não é mesmo?

Sem medo de errar

Como escolher o material para a execução dos sistemas estruturais de uma edificação? Você, como arquiteto, deverá sempre apresentar opções aos seus clientes, apontando os materiais existentes no mercado e suas características.

Neste caso, a incorporadora que o contratou solicitou que você apresente uma lista de materiais para a construção de um escritório de vendas de um complexo urbanístico e também as características destes materiais, mostrando a evolução dos mesmos na confecção de elementos estruturais.

O conhecimento dos materiais utilizados na confecção de elementos estruturais é fundamental, principalmente quando observamos a

evolução dos elementos empregados ao longo do tempo. O homem passou a usar materiais mais modernos pela necessidade de edificações com maiores durabilidades e desempenhos, pois, com o passar dos anos, elas começaram a ser construídas com maiores exigências de vãos e suporte de cargas.

Aliado à necessidade de maiores desempenhos, surgiu a urgência em conhecer mais as propriedades dos materiais utilizados nos sistemas estruturais, com o intuito de prever seu comportamento e também suas características ao longo da vida útil das estruturas. Neste contexto, os principais materiais usados na construção de sistemas estruturais ao longo dos anos, assim como suas características, estão listados na Figura 1.9.

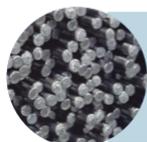
Figura 1.9 | Materiais utilizados na construção ao longo dos anos



Rocha: usada nas construções até hoje, na forma de pedra britada. Antigamente era utilizada nas construções pelas suas características de durabilidade e pela possibilidade de ser lapidada, sendo empregada na construção de templos e esculturas. Porém, possui um elevado peso e por esse motivo é difícil de manuseá-la.



Madeira: também é usada nas construções até hoje, pela sua resistência e por ser um material relativamente leve. Antigamente era utilizada da forma natural para a construção de abrigos, hoje já possuímos diversos tratamentos nas madeiras, dependendo da necessidade.



Aço: material de construção civil atual, tem elevada resistência à tração e é utilizado na confecção do concreto armado. O principal problema deste material está associado à corrosão, que, no concreto armado, é combatida pelo cobrimento do concreto.



Concreto: material durável e adaptável a diversas formas geométricas, tem uma baixa porosidade e elevada resistência à compressão, mas uma baixa resistência à tração. Juntamente com o aço, é o material de construção civil mais utilizado no mundo, tendo o melhor custo-benefício para edificações convencionais.

Fonte: elaborada pela autora.

Tendo este conhecimento, você deverá montar uma apresentação para o investidor, ilustrando, de forma didática, as características de cada material, suas vantagens e desvantagens. Você precisará pesquisar e apresentar monumentos arquitetônicos e construções marcantes com os materiais listados, para que o investidor possa visualizar estes modelos que norteiem sua escolha.

Como sugestão, você poderá buscar imagens da estrutura de madeira utilizada na praça de alimentação do Shopping Iguatemi, em Fortaleza, considerada a maior estrutura de madeira no Brasil. Como exemplos

monumentais de estruturas de aço, temos o Estádio Nacional de Pequim e, para finalizar, podemos citar o Museu do Olho, de Oscar Niemeyer, como uma das estruturas de concreto armado mais famosas no Brasil, conforme exemplificado na Figura 1.10.

Figura 1.10 | Estrutura de aço



Fonte: <https://www.iaks.org/sites/default/files/beijingnationalstadium_1_copyright_arupsport.jpg>. Acesso em: 18 out. 2018.

Vale destacar que, como o investidor apresentou interesse em ambientes mais rústicos, você deverá apresentar a ele materiais que tragam este aspecto e que apresentem bom desempenho, como a utilização de tijolos à vista, papéis de parede em ambientes internos, madeira, entre outros.

Ao final da reunião, você poderá indicar ao investidor a sua opinião pessoal sobre o material mais indicado para a estrutura, enfatizando que o concreto armado vem sendo o material de construção civil mais empregado para sistemas estruturais convencionais, pois é adaptável às mais diversas formas geométricas, encontrado facilmente em concreteiras, mas também pode ser elaborado no próprio canteiro de obras e possui um bom desempenho.

Identificando a inspiração da natureza nas edificações

Descrição da situação-problema

Imagine que seu escritório de arquitetura foi contratado por uma empresa de energia sustentável para a construção de sua nova sede. Seu cliente solicitou que a edificação fosse inspirada na natureza para que servir de construção de referência para a empresa. Ele também pediu que você apresentasse ideias de construções que lembrassem formas naturais. Quais exemplos você poderia dar ao seu cliente?

Resolução da situação-problema

Existem várias edificações no mundo que foram inspiradas na natureza, como:

- Igreja Sagrada Família (Barcelona): interior inspirado em uma floresta, em que as colunas lembram os troncos das árvores, e as ramificações dão sustentação.
- Eastgate (Harare): o sistema de ventilação utilizando espaços permeáveis na superfície foi inspirado na maneira como os cupins constroem seus ninhos. A estrutura gera uma ventilação passiva, em que a parte externa se aquece durante o dia e absorve o calor em sua estrutura, fazendo com que o ar interior fique mais frio e, à noite, o calor que foi absorvido durante o dia é liberado, aquecendo o interior.
- The Gherkin (Grã-Bretanha): arranha-céu em formato de pepino, cujo sistema de ventilação é semelhante ao de anêmonas e esponjas, que se alimentam ao direcionar a água do mar para dentro dos seus corpos.

Faça valer a pena

1. As estruturas são sistemas de elementos que atuam em conjunto para desempenhar uma função específica. No caso das construções, este conjunto de elementos atua como suporte e tem como função transmitir as cargas oriundas da própria estrutura e de sua utilização até os solos.

Atualmente, o método construtivo mais utilizado é o concreto armado (CA). Quais

são os elementos estruturais que compõem uma edificação em CA? Assinale a alternativa que contém todos os elementos.

- a) Solo, vigas, pilares e telhas de concreto.
- b) Fundações, pilares, vigas e telhado.
- c) Fundação, pilares, telhado e telhas de concreto.
- d) Lajes, vigas, pilares e fundações.
- e) Solo, fundação, pilares e telhado.

2. A pozolana é um material originalmente derivado de rochas vulcânicas, que possui sílica reativa. Os cimentos que contêm material pozolânico apresentam características de menor permeabilidade e não tendem a perder a resistência pelo contato com a água ao longo de sua vida útil. Por esse motivo, sua aplicação é indicada para ambientes úmidos.

Qual foi a primeira civilização a utilizar a pozolana nas edificações? Assinale a alternativa correta:

- a) Egípcia.
- b) Romana.
- c) Babilônica.
- d) Grega.
- e) Inca.

3. Nas últimas décadas, o desenvolvimento de materiais de construção civil evoluiu bastante, e o concreto passou a ser mais estudado e aplicado em sistemas estruturais. Atualmente, o concreto é o material mais utilizado na construção civil e, por isso, o conhecimento de suas características é fundamental.

Sobre as características do concreto, leia as afirmativas e assinale a alternativa correta.

I - Material com baixa durabilidade.

II - Material com baixa porosidade.

III - Material com elevada resistência à compressão e baixa resistência à tração.

IV - A resistência à compressão é em torno de 10% da resistência à tração.

- a) Apenas as afirmativas II e III estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e II estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas III e IV estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas II, III e IV estão corretas.
- e) Todas as afirmativas estão corretas.

Forças que atuam nas estruturas

Diálogo aberto

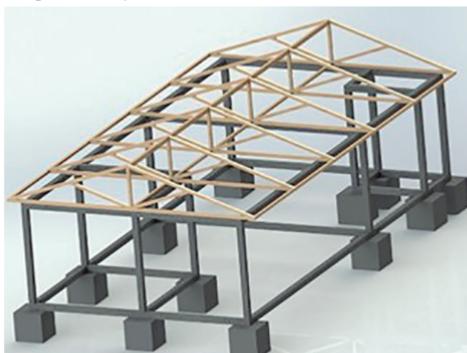
É possível afirmar que, desde a primeira edificação construída, buscava-se o equilíbrio das forças. Sem terem o total conhecimento do que estavam fazendo, os primeiros seres humanos que deixaram de se abrigar em cavernas e construíram cabanas procuravam um lugar seguro para se protegerem das intempéries e de predadores. Além disso, sem perceber, eles já realizavam a distribuição de cargas entre os componentes da construção até que essa carga fosse descarregada no solo, atingindo o equilíbrio. Ou seja, as primeiras construções, por mais rudimentares que fossem, já aplicavam um importante conceito utilizado em sistemas estruturais: o equilíbrio estático.

Os elementos construtivos e os materiais de construção civil foram evoluindo ao longo dos anos, mas o princípio do equilíbrio e a distribuição de cargas permanecem sendo conceitos importantes que devem ser respeitados em qualquer edificação. É essencial que na concepção do projeto você já tenha em mente como será feita a distribuição das cargas e como o equilíbrio será atingido.

Relembrando que você, arquiteto, foi contratado para trabalhar em uma grande incorporadora, na qual o seu primeiro desafio será o projeto do escritório de vendas de um complexo urbanístico. Na seção anterior, já estudamos os possíveis materiais utilizados para a elaboração do sistema estrutural deste escritório. Dando continuidade, agora você precisa aprender sobre as cargas que atuam nesta estrutura e como elas são transmitidas para a fundação.

Imagine que após as primeiras reuniões realizadas com o seu gerente e o investidor, definiu-se que o escritório de vendas terá as divisões de áreas propostas na Figura 1.11 e que o método construtivo adotado será de concreto armado com o fechamento em alvenaria de tijolos cerâmicos.

Figura 1.11 | Sistema estrutural do escritório



Fonte: elaborada pela autora.

Além disso, na reunião foi definido que se utilizará uma estrutura de madeira composta por tesouras e terças como suporte para as telhas cerâmicas.

Tendo conhecimento destas definições, foi solicitado que você, arquiteto, faça uma lista das cargas que vão atuar na estrutura do escritório e classifique-as como permanentes ou acidentais, uniformes ou variáveis e pontuais ou distribuídas. Após a conclusão da classificação das cargas, você deverá também ilustrar como será o caminhamento das cargas ao longo dos elementos de concreto armado.

Lembre-se de que a edificação que você está projetando será um escritório de vendas, então também deverá ser prevista a carga dos móveis que serão montados após a finalização das obras civis. Assim, quais cargas atuarão no escritório? Como elas são classificadas? Quais são os principais fatores que devem ser considerados para o estudo das cargas?

Conhecer estas cargas e como elas atuam nos sistemas estruturais é fundamental para a concepção do projeto arquitetônico, pois assim você terá condições de posteriormente avaliar se a estrutura definida em projeto terá sua execução e segurança garantidas, considerando o comprimento dos seus vãos, a alocação dos móveis e as demais cargas, devido ao seu uso.

Não pode faltar

Como você sabe, uma estrutura é um conjunto de elementos que, ao se inter-relacionarem, desempenham uma função, no caso da construção civil, exercem a função de suportar e direcionar cargas provenientes da própria estrutura e de sua utilização.

A estrutura como o caminho das forças, cargas e esforços

Para elaborar um novo projeto e definir como será o caminho das forças pela estrutura, é importante que você tenha um vasto conhecimento sobre outras estruturas já construídas, pois terá mais informações para buscar soluções e saberá, com mais clareza, selecionar o tipo de estrutura mais indicado e que melhor atenderá cada situação.



Refleta

Ao se transferir um conjunto de forças até o seu destino final, que é o solo, podem ser usadas grandes ou pequenas quantidades de ramais de distribuição, sendo, que quanto menor a quantidade de caminhos que as cargas devem percorrer, cada caminho deverá apresentar uma seção

transversal maior, suportando individualmente mais carga do que se as forças fossem mais distribuídas. Em uma edificação, o que é mais vantajoso: utilizar diversos caminhos para as forças, reduzindo as seções individuais, ou utilizar menos caminhos, aumentando as seções dos elementos?

Antes de prosseguirmos, é necessário que você tenha alguns conceitos bem definidos. O primeiro conceito importante é o da grandeza força, que está intimamente ligado à massa e à aceleração. No caso de massa constante, a segunda lei de Newton traz que a força é o produto entre a massa e a variação da velocidade, conforme apresentado na Equação 1.

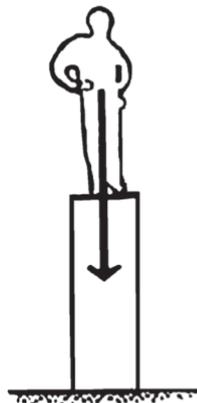
$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (\text{Eq. 1})$$

É importante sabermos que a força é uma grandeza vetorial, ou seja, para que sua definição seja completa, além do módulo (valor da força), é necessário saber sua direção e seu sentido.

Para definir a direção, é necessário adotar um referencial e, assim que a direção for adotada, determina-se um sentido positivo. Para ficar mais claro, vamos imaginar que uma pessoa está parada em cima de um muro, conforme ilustra a Figura 1.12.

Uma pessoa de massa constante sob o efeito da aceleração gravitacional da Terra exercerá uma força sobre o muro. Como a massa é uma grandeza escalar, as informações de direção e sentido do vetor resultante serão dadas pela grandeza aceleração gravitacional. Sabe-se que a aceleração gravitacional atua perpendicularmente ao solo e pode-se convenicionar seu sentido positivo como sendo em direção ao centro da Terra. A força resultante atuando sobre o muro será o produto entre as grandezas massa e aceleração gravitacional.

Figura 1.12 | Exemplificação da força como grandeza vetorial



Fonte: Fay (2006, p. 29).



Assimile

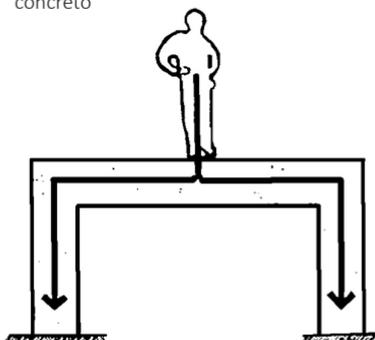
Grandezas escalares não necessitam de informação sobre direção e sentido, apenas o valor do seu módulo. Já grandezas vetoriais necessitam de módulo, direção e sentido para serem definidas.

Supondo que a massa da pessoa da Figura 1.12 seja 70 kg e aproximando a aceleração gravitacional para $10m/s^2$, teremos que a força exercida pela pessoa será de $700kg \cdot m/s^2$, ou seja, 700 N, na direção perpendicular ao solo e no sentido para baixo.

A partir do conhecimento completo das forças atuantes sobre uma edificação no seu módulo, direção e sentido, será possível desenvolver uma estrutura adequadamente dimensionada para que essas forças sejam suportadas e transferidas para o solo a partir da fundação, atingindo o equilíbrio estático.

Para entendermos mais sobre a estrutura como caminho das forças, vamos imaginar que a pessoa da Figura 1.12 esteja agora sobre um pórtico, composto por uma viga de concreto, dois pilares e a fundação, conforme ilustra a Figura 1.13. A carga da pessoa passa pela viga de concreto e é distribuída para os dois pilares e depois para a fundação.

Figura 1.13 | Pessoa sobre um pórtico de concreto



Fonte: Fay (2006, p. 29).



Assimile

Quando temos um pórtico composto por dois apoios e a carga (pessoa) está exatamente no centro desta estrutura, os dois pilares recebem exatamente a mesma carga, referente à metade da força exercida pela pessoa. Se contarmos que a força total é de 700 N, então, na situação ilustrada na Figura 1.12, cada pilar receberá uma carga de 350 N, que será absorvida pelo solo por meio da fundação, atingindo o equilíbrio estático.

Este é apenas um exemplo de aplicação de carga pontual e acidental, mas também existem diversas classificações das cargas, as quais aprenderemos agora na sequência.

As forças externas que atuam sobre uma edificação são denominadas cargas, podendo ser divididas em permanentes, quando agem ao longo da vida útil da estrutura, e acidentais, quando têm ação eventual.



Exemplificando

Temos como carga permanente as provenientes dos pesos da própria estrutura (vigas, pilares e lajes) ou de outros componentes da edificação (alvenaria, cobertura, caixas d'água, piscinas, etc.). Como exemplo de cargas acidentais, tem-se os intempéries, como chuva e vento, e também as cargas de utilização, como veículos, pessoas, mobiliário, etc.

As cargas ainda podem ser classificadas como uniformes e variáveis. As uniformes possuem a mesma intensidade ao longo de um elemento estrutural, e as variáveis são aquelas em que a distribuição é diferente de um ponto para outro.

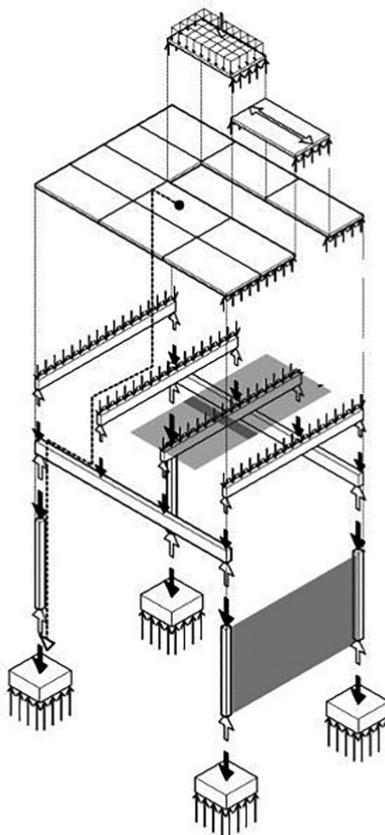
Quanto à geometria das cargas, podem ser feitas as seguintes classificações: carga pontual, quando estiver localizada sobre um ponto, e carga distribuída. Quando a distribuição da carga for sobre uma linha, tem-se a carga distribuída linear e quando for sobre uma superfície, tem-se a carga distribuída superficial.

Distribuição das cargas nas estruturas de concreto

Para dimensionamento de uma estrutura, seu desenho arquitetônico e a previsão da utilização deverão ser levados em consideração. Uma estrutura de formato incomum, por exemplo, poderá gerar cargas devido aos ventos que podem complicar seu dimensionamento. Também é importante prever sua utilização, pois, caso a estrutura deva suportar máquinas pesadas ou grandes aglomerações, seu dimensionamento deverá ser específico para tal.

Tudo isso precisa ser levado em consideração quando o sistema estrutural for concebido. Vamos imaginar que precisamos prever as cargas para projetar a edificação da Figura 1.14, para isso, precisamos entender que todos os elementos têm seu peso próprio e que, devido à ação da gravidade, são cargas que devem ser consideradas em projeto.

Figura 1.14 | Exemplificação da distribuição das cargas em uma estrutura



Fonte: Ching, Onouye e Zuberbuhler (2015, p. 97).

Portanto, o peso próprio da laje e as cargas depositadas sobre ela são repassadas para as vigas. Na sequência, essa carga repassada é somada ao peso próprio da viga e aos demais esforços que chegam a ela, e esse somatório é repassado para os pilares da edificação. Por fim, após os pilares, a carga chega à fundação da edificação, que tem a função de transmitir a carga de toda a edificação para o solo.

Tipos de apoios estruturais

Tão importante quanto conhecer as cargas que atuam nas edificações e o caminhamento delas ao longo dos sistemas estruturais é compreender os tipos de apoio e suas características.

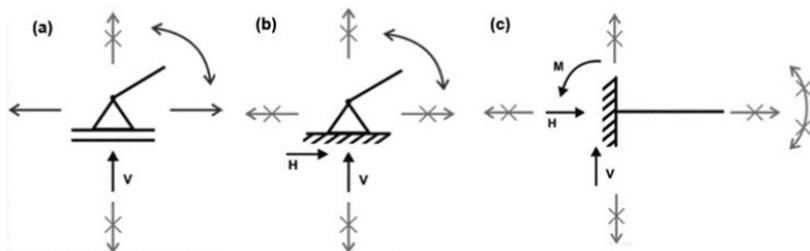
De acordo com Leet, Uang e Gilbert (2009), os elementos estruturais (vigas, pilares, lajes e fundações) são conectados uns aos outros por meio de apoios, com o intuito de permanecerem na posição desejada, mesmo em condições de carregamento. O sistema de apoios, por sua vez, influencia nas forças que vão se desenvolver na estrutura e também na maneira com que as forças serão transmitidas para os elementos de apoio.

Temos três formas de apoio: o móvel, o fixo e o engastamento.

- O apoio móvel, também conhecido como apoio de 1º gênero, é aquele que restringe a movimentação da estrutura em apenas uma direção. Quando o apoio impossibilita a movimentação em uma direção (seguindo a Lei de Newton, que toda ação possui uma reação), ele provoca uma reação de apoio, que nada mais é do que uma força de mesmo módulo da aplicada sobre o apoio e mesma direção, mas com sentido contrário.
- O apoio fixo ou rotulado, também chamado de apoio de 2º gênero, por sua vez, é aquele que restringe o deslocamento em duas direções (horizontal e vertical), gerando duas reações de apoio. Normalmente este tipo de apoio é executado por um dispositivo que conecta um elemento a um ponto fixo por meio de um pino.
- O engastamento, apoio de 3º gênero, induz três vínculos à estrutura: o vertical, o horizontal e o momento. Este tipo de apoio não é comum, a não ser que uma extremidade de um elemento estrutural esteja profundamente inserida em um bloco de concreto maciço ou cimentada em rocha sólida.

A ilustração destes apoios está representada na Figura 1.15.

Figura 1.15 | Configuração dos apoios: (a) móvel, (b) fixo e (c) engastado.



Fonte: elaborada pela autora.



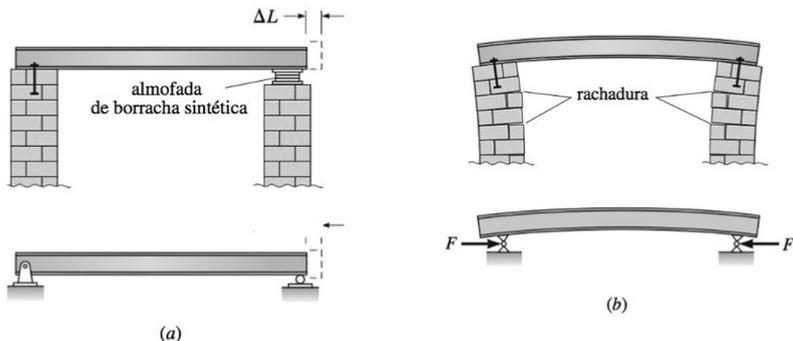
Saiba mais

Para conhecer mais sobre os tipos de apoio e as condições reais dos apoios nas edificações, acesse:

NOVAES, A. **Reações de Apoio**. UNICAMP, Campinas, [s.d.]. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~fam/novaes/public_html/iniciacao/teoria/reacoes/t4.htm>. Acesso em: 5 nov. 2018.

A estrutura precisa estar em equilíbrio para que não haja problemas estruturais, mas este equilíbrio não quer dizer que ela não pode se movimentar, até porque os materiais empregados nas construções sofrem movimentações de dilatação, por exemplo. Caso essas movimentações não sejam previstas e os sistemas de apoio bem estabelecidos, pode-se ter problemas de manifestações patológicas. Como exemplo, podemos visualizar na Figura 1.16 (a) uma viga com um apoio fixo (ligado por parafuso) do lado esquerdo e apoio móvel do lado direito, que permite que a extremidade se mova lateralmente sem desenvolver nenhuma força de restrição significativa. Na Figura 1.16 (b), por sua vez, foram implementados dois apoios fixos por meio de ligações parafusadas, restringindo a movimentação em ambos os lados da estrutura. Caso a viga dilate por um aumento de temperatura, por exemplo, as paredes tendem a fissurar para absorver essa movimentação, o que não ocorreria se os apoios fossem mais estudados.

Figura 1.16 | Influência dos apoios: representação idealizada mostrada abaixo da condição de construção real: (a) a extremidade da direita fica livre para expandir lateralmente; nenhuma tensão é criada pela mudança da temperatura; (b) as duas extremidades são restritas; tensões de compressão e flexão se desenvolvem na viga, fazendo com que a parede fissure



Fonte: Leet, Uang e Gilbert (2009, p. 82).



Saiba mais

Para conhecer mais sobre os esboços e símbolos utilizados na representação de apoios e suas restrições, acesse a Tabela 3.1 (página 83) do livro: LEET, K. M., UANG, C. M., GILBERT, A. M. **Fundamentos da Análise Estrutural**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2009.

Equilíbrio estático externo e interno

Ao longo desta seção, citamos o equilíbrio várias vezes, não é mesmo? Entre as propriedades das estruturas, tem-se que elas devem manter o equilíbrio quando submetidas às mais adversas forças. Para atingir o equilíbrio estático, as estruturas necessitam ser bem estudadas e projetadas, pois precisam ter dimensões e apoios condizentes com a situação da estrutura. Neste contexto, precisamos aprender sobre o equilíbrio estático externo e interno.

O equilíbrio estático externo está relacionado à estabilidade da estrutura, que pode ser classificada como isostática, hiperestática e hipostática:

- **Isostática:** quando a estrutura se encontra em condições mínimas de estabilidade, ou seja, pode ser resolvida utilizando as três equações do equilíbrio estático ($\sum F_{vertical} = 0$, $\sum F_{horizontal} = 0$ e $\sum Momentos = 0$).
- **Hiperestática:** quando se encontra em condições acima do mínimo.
- **Hipostáticas:** quando se encontra em condições abaixo das mínimas, qualquer ação pode levar a estrutura à ruína.

Para exemplificar, a Figura 1.17 ilustra exemplos de estruturas isostáticas, hiperestáticas e hipoestáticas com a utilização do kit mola estrutural, apresentando diferentes configurações de travamento para a confecção dos pórticos.

Figura 1.17 | Exemplos de estruturas isostáticas, hiperestáticas e hipoestáticas com o uso do kit mola



Fonte: elaborado pela autora.



Refleta

Mas o que isso quer dizer? Como atingir tal equilíbrio?

Para o elemento estrutural estar em equilíbrio estático, ele não deve se deslocar horizontalmente, verticalmente ou girar em torno de um eixo. Para tanto, o somatório de todas as forças que atuam na estrutura, assim como os momentos, devem ser iguais a zero ($\sum F_{vertical} = 0$, $\sum F_{horizontal} = 0$ e $\sum Momentos = 0$).

As estruturas hiperestáticas normalmente são menos solicitadas do que as isostáticas, resultando em elementos com menores consumos de material. Outro aspecto importante de conhecermos é que, se as estruturas hiperestáticas estão em condições de estabilidade além do mínimo exigido, elas também apresentam uma maior segurança.

Como exemplos reais, podemos citar que as estruturas de concreto moldadas in loco, em sua grande maioria, são hiperestáticas, pelo próprio processo construtivo em que pilares, lajes e vigas são moldados in loco em concreto. Por outro lado, estruturas metálicas, de madeira e pré-moldadas são normalmente isostáticas, também decorrentes do processo construtivo e da forma com que as ligações são estabelecidas.

Da mesma maneira que no equilíbrio estático externo, no equilíbrio interno também é necessário que as seções que compõem o elemento estrutural não se desloquem excessivamente na horizontal e na vertical e também não girem. É importante que você, arquiteto, saiba que, quando uma estrutura de concreto chega ao colapso, significa que seus elementos estruturais perderam o equilíbrio interno, não sendo capazes de absorver as tensões aplicadas sobre eles. Entre as tensões que podem ser aplicadas nas estruturas, temos a compressão, tração, flambagem, força cortante, momento fletor e momento torçor.

Nesta seção, trabalharemos os três primeiros itens e na próxima seção

daremos continuidade aos demais esforços necessários para adquirirmos o equilíbrio interno dos elementos estruturais, conforme a Tabela 1.1.

Tabela 1.1 | Tensões de tração, compressão e flambagem, suas características e representação

Tensões	Características	Representação
Tração	Quando se tem a aplicação de forças externas normais à seção de uma barra, conforme ilustra a Figura ao lado, esta barra está submetida à tração. A barra tende a aumentar seu tamanho na seção do eixo.	
Compressão	Nas forças aplicadas na compressão, ocorre o contrário da tração, ou seja, há uma diminuição da seção pela aplicação de forças normais. Caso essa barra perca a estabilidade, temos o fenômeno de flambagem.	
Flambagem	A flambagem é a deformação de uma estrutura esbelta sob a aplicação de esforços de compressão. Ela depende da intensidade da força aplicada, do módulo de elasticidade do material empregado no elemento estrutural, do comprimento da barra, da forma e dimensões da estrutura.	

Fonte: Fay (2006, p. 41 e 43).



Assimile

Na sua casa, pegue uma esponja de cozinha e faça o seguinte:

1º: Com suas mãos, aplique força em sentidos contrários apontando para fora, você estará aplicando uma tensão de tração na esponja e verá que ocorrerá um aumento da seção ao longo do seu eixo e uma diminuição da seção transversal.

2º: Com suas mãos, aplique força em sentidos contrários apontando para o centro da esponja. Você estará aplicando uma tensão de compressão e, se continuar aplicando força, verá a flambagem da esponja, semelhante ao que ocorre em elementos estruturais.

Assim, será possível observar na prática a aplicação de tensões de tração, compressão e o efeito de flambagem.

Com as informações adquiridas sobre as cargas que atuam nas edificações, suas classificações e suas influências nos elementos estruturais, você tem capacidade para entender como será a distribuição das cargas em uma estrutura e está preparado para aprofundar seu conhecimento na concepção de estruturas em concreto armado.

Relembrando que você, arquiteto, foi contratado para trabalhar em uma grande incorporadora, na qual o seu primeiro desafio será o projeto do escritório de vendas de um complexo urbanístico. Após as primeiras reuniões com seu gerente e o investidor, definiu-se que o escritório será construído em concreto armado, com fechamento em alvenaria de blocos cerâmicos, sendo que a estrutura de cobertura será em madeira e as telhas utilizadas serão cerâmicas.

Tendo conhecimento destas definições, foi solicitado que você listasse as cargas que vão atuar na estrutura do escritório, como elas são classificadas e como é seu caminhamento ao longo dos elementos estruturais em concreto armado.

Daí surge a pergunta: quais cargas atuam no escritório do complexo urbanístico? Se pensarmos, existem diversas cargas atuando. Primeiramente, podemos citar os pesos próprios dos materiais de construção, como as telhas, a estrutura de madeira do telhado, o concreto armado, a alvenaria de tijolos cerâmicos, a argamassa de assentamento e revestimento, o piso, as portas e janelas, entre outros. Podemos mencionar também as cargas relacionadas aos móveis utilizados no escritório e ao trânsito de pessoas.

As cargas atuantes nas edificações podem ser classificadas em:

- Permanentes ou acidentais.
- Uniformes ou variáveis.
- Pontuais ou distribuídas.

As **cargas permanentes** estão relacionadas com os pesos próprios dos elementos que compõem a edificação. No caso do escritório de vendas, temos como pesos próprios as cargas provenientes de todos os materiais de construção utilizados (concreto, aço, alvenaria, argamassa, estrutura de madeira para a cobertura, telhas cerâmicas, entre outros).

As **cargas acidentais** estão relacionadas com ações eventuais, como a carga de mobiliário e pessoas que utilizarão o local.

As **cargas uniformes** são aquelas que contêm a mesma intensidade ao longo de um elemento estrutural, como as cargas que as lajes transmitirão para as vigas ou que a alvenaria aplicará sobre uma viga de concreto.

As **cargas variáveis** são aquelas cuja distribuição é diferente de um ponto para outro, como exemplo pode-se citar o trânsito de pessoas que estarão dentro do escritório e o empuxo de água dentro de uma tubulação.

As **cargas pontuais** são aplicadas sobre um ponto, como o próprio nome já diz. Como exemplo no escritório temos os lustres utilizados para a iluminação, os pés dos móveis, entre outros.

As **cargas distribuídas** podem ser lineares ou superficiais. Dentre as **lineares** no escritório de vendas podemos citar a carga da alvenaria e o peso próprio das vigas. Já como exemplos de **superficiais** tem-se as cargas das vigas, do piso, dos móveis cuja a base se apoia diretamente sobre o piso, entre outros.

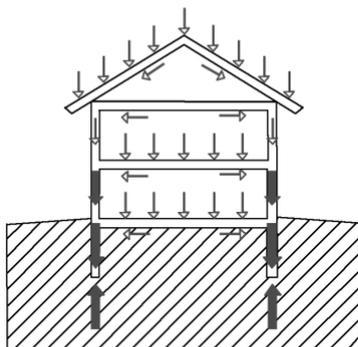
Retomando a análise sobre o caminhamento das cargas ao longo dos elementos estruturais, quando analisamos a estrutura do escritório da Figura 1.11 é possível observar que a estrutura de telhado receberá a carga das telhas e a transmitirá às vigas que, por sua vez, repassarão estas cargas e o seu peso próprio para os pilares da edificação.

Vale destacar que todas as cargas acidentais depositadas sobre a laje de piso são transmitidas para as vigas, que repassarão estas cargas à fundação da edificação que, por fim, tem a função de absorver todas as cargas da edificação e transmiti-las ao solo.

No dimensionamento, é fundamental ter muito cuidado na consideração das cargas em cada elemento estrutural, pois o esquecimento de alguma carga pode levar a estrutura à ruína.

Ao longo desta disciplina, estudaremos cada um dos elementos estruturais para que entendamos, na totalidade, como considerar as cargas em cada um destes. Podemos exemplificar o caminhamento das cargas a partir da Figura 1.18.

Figura 1.18 | Exemplificação da estrutura como caminho das forças



Fonte: elaborada pela autora.

Assim, o caminhamento das cargas nos elementos estruturais ficará da seguinte forma: da estrutura do telhado para a laje, da laje para as vigas, das vigas para os pilares e dos pilares para a fundação.

Avançando na prática

Identificando as cargas em uma edificação

Descrição da situação-problema

Suponha que você está desenvolvendo um empreendimento comercial para uma incorporadora e, nas conversas com os investidores, você questionou qual será a utilização da edificação para poder avaliar as cargas permanentes e acidentais, a fim de sugerir as estruturas mais adequadas para a construção. Os investidores lhe responderam que pretendem utilizar a edificação como um restaurante e lhe perguntaram o que eram cargas permanentes e acidentais e quais informações seriam necessárias para o seu parecer quanto à concepção estrutural. O que você deverá explicar aos investidores?

Resolução da situação-problema

Você deverá explicar ao seu cliente que cargas permanentes são o peso da própria estrutura e que as cargas fixas e acidentais dependem da utilização da edificação, da quantidade de pessoas no local, do mobiliário e até de veículos. Então, antes mesmo de realizar os cálculos das estruturas, é muito importante que o layout da edificação tenha sido aprovado pelos investidores, para que você possa prever a quantidade de equipamentos de cozinha, como geladeiras, freezers, fornos, fogões, churrasqueira, chapa, pia, entre outros. Além disso, você deverá estimar a quantidade prevista de funcionários e de clientes no empreendimento e levantar outras informações que achar pertinentes.

Faça valer a pena

1. Uma construção deve ser estruturada para que não haja deslocamentos indesejados, podendo levar a edificação à ruptura. Todas as forças atuando sobre uma edificação devem ser absorvidas pelo solo de maneira que não haja esforço resultante em nenhuma outra direção.

Uma estrutura em condições mínimas de estabilidade, ou seja, quando o somatório das forças verticais, horizontais e dos momentos é igual a zero, é chamada de:

- a) Hiperestática.
- b) Isostática.
- c) Hipostática.
- d) Hipertensa.
- e) Equilibrada.

2. As cargas podem ser classificadas de diversas maneiras. No que tange à sua geometria, podem ser feitas três classificações. Se a carga estiver localizada sobre um ponto, ela é denominada carga pontual; se a distribuição da força for sobre uma linha, a carga é denominada linear e se a distribuição for feita sobre uma área, diz-se que a carga é superficial.

Assinale a alternativa que apresenta um exemplo de carga pontual, dois de carga distribuída linear e um de carga distribuída superficial atuando sobre uma laje, respectivamente.

- a) Rebaixamento de teto em gesso, pia, piso e parede em alvenaria.
- b) Lustre, vaso sanitário, piso e parede de gesso.
- c) Pia, lustre, vaso sanitário e parede em alvenaria.
- d) Rebaixamento de teto em gesso, piso, lustre e pia.
- e) Lustre, parede de gesso, parede em alvenaria e piso.

3. Tão importante quanto conhecer os elementos estruturais (vigas, pilares, lajes e fundações) é conhecer como são realizados e quais são as características das conexões entre eles para que permaneçam na posição desejada, mesmo quando carregados.

Uma viga de concreto cravada em uma rocha é um caso de:

- a) Apoio fixo.
- b) Apoio móvel.
- c) Apoio rotulado.
- d) Engastamento.
- e) Restrito.

Introdução à concepção estrutural

Diálogo aberto

Na seção anterior estudamos que as estruturas recebem as diversas cargas, que são encaminhadas pelos elementos estruturais até a fundação da edificação. Aprendemos também sobre a distribuição das cargas nas estruturas de concreto, os tipos de apoio estruturais e o equilíbrio estático interno e externo. Vimos que este conhecimento é fundamental para o entendimento da concepção estrutural.

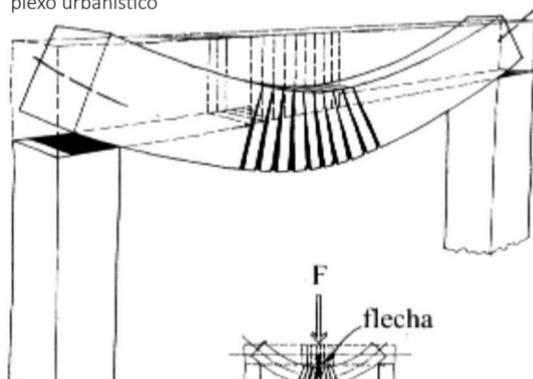
Dando continuidade, nesta seção aprenderemos sobre os diagramas de força cortante e momento fletor, entendendo a influência do esforço cortante máximo e momento fletor máximo no dimensionamento das estruturas. Também estudaremos o momento torçor em estruturas de concreto, os coeficientes de segurança e as tensões admissíveis, além dos estados limites últimos e de utilização.

Relembrando que você está iniciando sua carreira de arquiteto e começou a trabalhar em uma grande incorporadora, na qual fará projetos arquitetônicos e acompanhará a execução de obras. Seu primeiro desafio foi trabalhar com um escritório de vendas de um complexo urbanístico.

É importante que você saiba que o cálculo dos elementos estruturais é realizado para combater os esforços que atuam nas estruturas, para que esta fique em equilíbrio. Dentro deste contexto, pressuponha que a viga biapoiada da Figura 1.19 é a viga número 8 (V8) do escritório de vendas em que você está trabalhando e que você observou que ela apresentou um encurvamento (flecha) logo após a retirada dos escoramentos.

Sabendo que esta viga tem um vão livre de 8 m e uma seção de 20 x 30 cm, você, arquiteto, foi medir a flecha ocasionada para verificar se esta estava dentro dos limites estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Quando você fez

Figura 1.19 | Viga biapoiada do escritório de vendas do complexo urbanístico



Fonte: Fay (2006, p. 47).

essa medição, observou que o deslocamento foi de 5 cm. Este deslocamento está dentro do limite estabelecido em norma para a aceitabilidade sensorial? Quais poderiam ser as possíveis causas desta flecha? Quais forças estão atuando sobre este elemento estrutural?

Preparado? Então, bons estudos!

Não pode faltar

Você já estudou e aprofundou seu conhecimento sobre o caminho das forças em uma estrutura, tipos de cargas e esforços, tipos de apoio e sobre o equilíbrio das forças, que são conhecimentos fundamentais para a concepção estrutural. Você também aprendeu sobre as tensões aplicadas sobre uma estrutura (tração, compressão e flambagem) bem como a maneira que elas podem deformar um elemento estrutural.

Nesta seção intensificaremos o estudo das forças, aprendendo com maior profundidade o resultado destas na estrutura. Também abordaremos a resistência dos materiais de construção civil e como utilizar os coeficientes de segurança para que seus projetos sejam confiáveis.

Diagrama de força cortante e momento fletor

Você já estudou e aprendeu os tipos de apoio, suas restrições e seus símbolos correspondentes. Também viu que uma estrutura deve permanecer em equilíbrio, sendo assim, temos que as forças resultantes na vertical e na horizontal e o momento resultante deverão ser nulos, lembrando que o momento ao redor de um ponto é dado pela multiplicação da força pela distância em que está sendo aplicada ($M = F \times d$). Logo, temos as equações do equilíbrio para um plano cartesiano:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M_z = 0$$



Saiba mais

Para relembrar e compreender mais sobre o que é uma força resultante, leia a página 76 do livro:

LEET, K. M., UANG, C. M., GILBERT, A. M. **Fundamentos da Análise Estrutural**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2009. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788563308344/cfi/0!4/4@0.00:0.0301>>. Acesso em: 8 out. 2018.

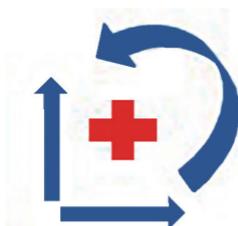
Com estas equações e os dados do tipo de apoio e da distribuição da carga você poderá calcular o valor das reações de apoio, que são o primeiro passo para elaborar os diagramas de força cortante e momento fletor atuando sobre um elemento estrutural.



Assimile

Para facilitar e padronizar os cálculos das reações de apoio, você deverá adotar os referenciais de sentido positivo. Convencionou-se que forças atuando para cima ou para a direita têm sentido positivo e momentos que rotacionam a barra no sentido anti-horário são positivos, conforme ilustra a Figura 1.20.

Figura 1.20 | Padronização referencial das forças e momentos



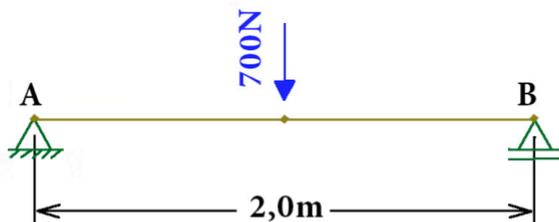
Fonte: elaborada pela autora.



Exemplificando

Suponha que você precise calcular as reações de apoio para um andaime composto por uma prancha de madeira com 2 metros de comprimento apoiada sobre dois cavaletes (pontos A e B) e travada em um deles, de modo que não permita o deslocamento horizontal. No meio deste andaime está uma pessoa com massa de 70 kg em pé. Aproximando a força gravitacional para 10 m/s^2 e utilizando as demais informações para modelar o problema, temos a representação ilustrada na Figura 1.21, em que no ponto A temos um apoio fixo e no ponto B, um apoio móvel:

Figura 1.21 | Aplicação de uma força de 700 N



Fonte: elaborada pela autora.

Através das equações de equilíbrio, temos que a somatória das forças e dos momentos deve ser igual a zero, assim, aplicando a equação dos somatórios das forças em x , temos que este é igual a zero e, como não existem outras forças sendo aplicadas em x , a reação horizontal no apoio A é igual a zero. Na sequência, precisamos fazer o somatório das forças em y . Aplicando a equação, temos:

$$F_{Ay} + F_{By} = 700N$$

Fazendo a análise dos momentos no ponto A (utilizando a padronização referencial) e aplicando do somatório de momentos, temos:

$$F_{By} \times 2 - 700 \times 1 = 0 \longrightarrow F_{By} = 350N$$

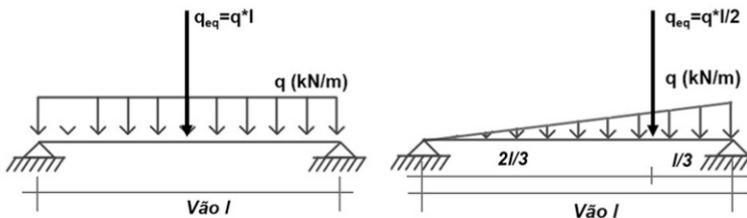
Substituindo o valor de F_B na equação das forças em y , temos:

$$F_{Ay} + 350 = 700 \longrightarrow F_{Ay} = 350N$$

Desta forma, observamos que quando se tem uma aplicação de carga centralizada em um andaime, metade dela é transmitida para cada apoio e, para que o andaime esteja em equilíbrio, os apoios transmitem essa mesma carga, porém em sentido oposto.

Quando a força aplicada é uma carga distribuída, você deve simplificá-la para uma força equivalente, a fim de que ela seja calculada como carga pontual. Para isto, você deverá avaliar seu módulo e ponto de aplicação, conforme ilustra a primeira parte da Figura 1.22. O módulo, também chamado de força equivalente (q_{eq}), é dado pela área da carga, e o ponto de aplicação \bar{X} é dado pelo centroide da figura geométrica formada pela carga ($l/2$). Para uma carga em formato triangular (uniformemente variada), o centroide estará a um terço do comprimento total, se partindo do ponto de maior carga, conforme ilustra a segunda parte da Figura 1.22.

Figura 1.22 | Exemplificação das cargas distribuídas e uniformemente variadas



Fonte: elaborada pela autora.

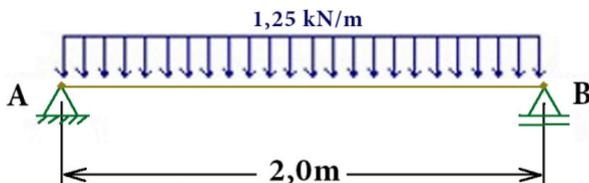
Porém, quais seriam as forças aplicadas sobre as estruturas de concreto? Em cada situação a carga deverá ser determinada, analisando o peso próprio dos materiais utilizados na elaboração dos elementos estruturais e também as cargas acidentais relacionadas ao uso da edificação.



Exemplificando

Para o mesmo exemplo anterior, suponha que, em vez de uma pessoa em pé, tenhamos 5 sacos de cimento de 50 kg cada, perfeitamente enfileirados e preenchendo o comprimento total da prancha do andaime. Modelando o problema para a nova situação (Figura 1.23), temos que a carga distribuída será de 1,25 kN/m (250 kg divididos em 2 metros):

Figura 1.23 | Representação do andaime com uma carga distribuída



Fonte: elaborada pela autora.

Simplificando a carga, temos que o módulo da carga equivalente será igual a 2,5 kN $((1,25\text{kN}/\text{m}^2) \times 2\text{m})$ e o ponto de aplicação será o centroide do retângulo formado, ou seja $\bar{X} = 1\text{ metro}$.

Aplicando as equações de equilíbrio, temos:

$$F_{Ay} + F_{By} = 2,5\text{kN}$$

Fazendo a análise dos momentos no ponto A, temos:

$$F_{By} \times 2 - 2,5 \times 1 = 0 \longrightarrow F_{By} = 1,25\text{N}$$

Substituindo o valor de F_{By} na equação das forças em y, temos:

$$F_{Ay} + 1,25 = 2,5 \longrightarrow F_{Ay} = 1,25\text{N}$$

Desta forma, determinamos as reações de apoio em uma carga distribuída.



Saiba mais

Para entender mais sobre as forças que atuam nas estruturas e sobre os cálculos de reações de apoio com diferentes tipos de cargas, leia as páginas de 73 a 78 do livro:

LEET, K. M., UANG, C. M., GILBERT, A. M. **Fundamentos da Análise Estrutural**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2009. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788563308344/cfi/0!4/4@0.00:0.0301>>. Acesso em: 8 out. 2018.

Tendo as reações de apoio calculadas, todas as forças que influenciam em um elemento estrutural já não são mais incógnitas, assim, podemos prosseguir para a elaboração dos diagramas de força cortante e momento fletor.

Para elaborar o diagrama de força cortante, deve-se partir da reação de apoio do ponto $L=0$. Você deverá representar a força atuante nesse ponto partindo do zero até o valor da força. Então, será preciso traçar o comportamento dessa força até o ponto onde houver outra força. Esse comportamento pode ser uma reta horizontal se a força for pontual, uma reta em ângulo se for carregamento uniforme ou pode ter formas mais complexas dependendo do carregamento.

No ponto em que houver outra força atuando, você deverá avaliar se o sentido da força é favorável ou contrário ao sentido da primeira e, então, realizar a soma para cada nova força vertical. Você deverá repetir esse passo até chegar à última reação de apoio, devendo representar o seu valor e terminar verticalmente no ponto L .

Para calcular o momento fletor, é necessário calcular a área de cada força cortante, no caso de mais de uma força, naturalmente, deve-se considerar o momento acumulado. Essa área calculada será o maior valor de momento. O ponto de máximo do momento será o mesmo ponto em que a força cortante inverterá seu sentido, passando pelo ponto zero.



Exemplificando

Se nos basearmos no nosso primeiro exemplo da Figura 1.24, temos uma carga de 700 N atuando no meio de um andaime biapoiado para baixo e duas cargas de 350 N atuando nos apoios A e B para cima. Desta forma, o gráfico de força cortante e o momento fletor ficarão conforme ilustra a Figura 1.24.

Figura 1.24 | Gráfico de esforço cortante seguido pelo gráfico de momento fletor do exemplo 1.



Fonte: elaborada pela autora.

Para o exemplo 2, teríamos os seguintes gráficos de força cortante e momento fletor:

Figura 1.25 | Gráfico de esforço cortante e momento fletor do exemplo 2



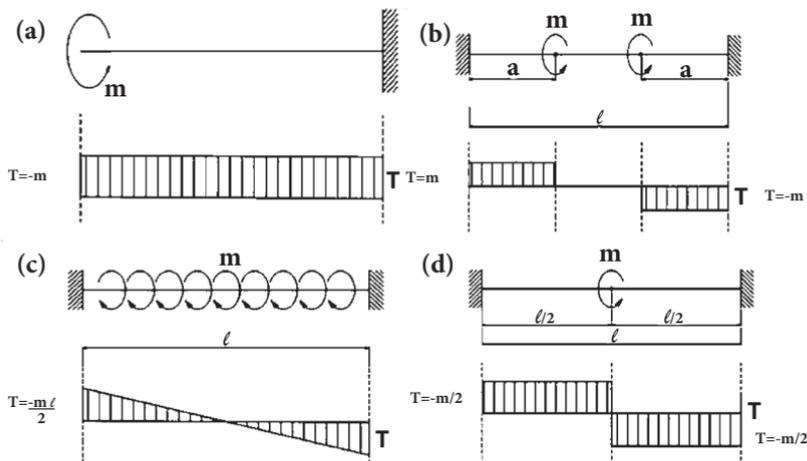
Fonte: elaborada pela autora.

Momento torçor em estruturas de concreto

Um momento conjugado (ou binário) é o resultado de duas forças paralelas de mesmo módulo, atuando em sentidos opostos. Quando esse momento for aplicado em um elemento de concreto fazendo com que este tenda a girar sobre seu próprio eixo, teremos um momento torçor.

Esse momento é muito comum em casos de viga e lajes em balanço e onde há vigas com mudanças de direção, além de poder causar fissuras, prejudicando a aparência e a segurança da estrutura, caso o dimensionamento não leve corretamente em consideração este dado. A Figura 1.26 ilustra os gráficos de momentos torçores mais comuns.

Figura 1.26 | Torção: (a) centrada na extremidade de viga em balanço; (b) aplicada à distância “a” das extremidades da viga biengastada; (c) uniformemente distribuída em uma viga biengastada; (d) centrada em uma viga biengastada.



Fonte: adaptada de Bastos, (2017, p. 3 e 4).

Coefficientes de segurança e tensões admissíveis

Tensões são as parcelas de forças no interior de um corpo atuando em uma seção qualquer. Seu valor é dado por uma unidade de força que atua em uma unidade de área. Geralmente, a unidade de medida mais usual para tensões é o Pascal (Pa), que equivale à força em Newtons dividida pela área em metros quadrados. Também se utiliza o Bar, que equivale à força em kgf sobre uma área em centímetros quadrados.

Quando as tensões atuam perpendicularmente à seção transversal da peça, elas são chamadas de tensões normais. Dependendo do sentido, a tensão normal pode ser de tração ou de compressão. Já se a tensão atuar

tangencialmente à seção transversal, é classificada como tensão de cisalhamento. Por meio de ensaios é possível obter a tensão na qual o corpo de prova foi rompido na ruptura, sendo esta a tensão de ruptura.

Para evitar o rompimento da estrutura, as tensões admissíveis na prática são sempre inferiores às tensões de rupturas obtidas em ensaios, pois, embora se trate do mesmo material ensaiado, nem sempre as condições durante a produção foram tão bem controladas como em laboratório. A razão entre a tensão de ruptura e a admissível é chamada de coeficiente de segurança.

O coeficiente de segurança é definido pelo projetista e pode variar de acordo com a qualidade do material, tipo de carga, tipo de estrutura e grau de responsabilidade do elemento estrutural. Também deve-se levar em conta a precisão da avaliação das cargas de utilização, qualidade de mão de obra e controle de qualidade na execução.

Com o aprimoramento das técnicas construtivas, o coeficiente de segurança tem sido diminuído, levando a estruturas mais esbeltas e menor consumo de material, sem que haja risco, pois os limites estabelecidos por normas sempre devem ser respeitados. Para cada aplicação e cada material existem prescrições e tabelas normatizando as tensões admissíveis e o coeficiente de segurança. A NBR 6118 (ABNT, 2014) descreve que, para situações normais, o coeficiente de ponderação das resistências no Estado Limite Último (ELU) do concreto (γ_c) é de 1,4 e o do aço (γ_s) é de 1,15.

Estados limites últimos e de utilização

A norma de projetos de estruturas de concreto define que o estado limite de uma estrutura é o estado a partir do qual ela se torna inutilizável, ou seja, em um estado em que ela já não apresenta condições de segurança, funcionalidade e durabilidade, tendo em vista as necessidades para as quais ela foi projetada (CAMACHO, 2005).

O estado limite pode ser de ordem funcional ou estrutural. Quando a estrutura atinge um estado de ruína, é possível afirmar que atingiu o estado limite último e, no caso de a estrutura se apresentar imprópria para o seu serviço, afirma-se que atingiu o estado limite de utilização.

O estado limite último está relacionado ao colapso e à ruína estrutural a partir dos quais é impossível utilizar a estrutura. Ele pode ser subdividido em estado limite último de perda de equilíbrio, de esgotamento da capacidade de resistência em parte ou como um todo e também estado limite último provocado por solicitações dinâmicas.

Já o estado limite de utilização é aquele no qual a estrutura está impossibilitada de seu uso normal para o qual foi projetada, englobando questões de aparência, conforto e funcionalidade. O estado limite de utilização pode ser subdividido em estado limite de formação de fissuras, de abertura de fissuras, de deformações, de vibrações e de outros fatores que possam privar a estrutura de seu uso original.

A NBR 6118 também limita os valores para deslocamentos limites (flechas), conforme cada situação. Deslocamentos limites são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas da estrutura. Para a aceitabilidade sensorial, o deslocamento máximo que pode ocorrer em estruturas de concreto é o comprimento do vão (l) dividido por 250 ($l/250$).



Refleta

Imagine que você esteja analisando uma estrutura de uma edificação existente e observa que uma das vigas da edificação está apresentando uma flecha de 5 cm. Ao medir a distância entre os dois pilares, obtém 9 m de vão. De acordo com a aceitabilidade sensorial, esta flecha está dentro dos limites estabelecidos na NBR 6118? Como ela poderia ter sido evitada?



Saiba mais

Para conhecer mais sobre os limites de deslocamento nos elementos estruturais, consulte o item 13.3 da NBR 6118 – Projetos de estruturas de concreto – Procedimentos (ABNT, 2014), disponível na biblioteca virtual.

Existem diversos fatores que influenciam nas flechas das vigas, entre eles podemos citar a rigidez da ligação entre a viga e o pilar, o vão da viga, a seção transversal da viga e até mesmo a resistência à compressão do concreto utilizado para a moldagem da viga. Você, como arquiteto, deverá conhecer todos estes aspectos para fazer a concepção do projeto de forma adequada, mas sempre deve ter um engenheiro civil para realizar os cálculos e finalizar o projeto estrutural.

A partir das informações dos diagramas de esforço cortante e momento fletor, você poderá identificar os pontos críticos que sua estrutura deverá suportar e, conhecendo o material e o coeficiente de segurança recomendado, será possível avaliar se a estrutura suportará a carga. Dessa forma, você terá o conhecimento para, se necessário, alterar os tipos de apoio, modificar os vãos entre os apoios, modificar o material da estrutura ou até mesmo restringir a carga para que sua estrutura esteja em equilíbrio e não

haja flechas capazes de danificar elementos estruturais. Assim, a estrutura do seu projeto não atingirá os estados limites, oferecendo segurança e sendo funcional aos seus usuários.

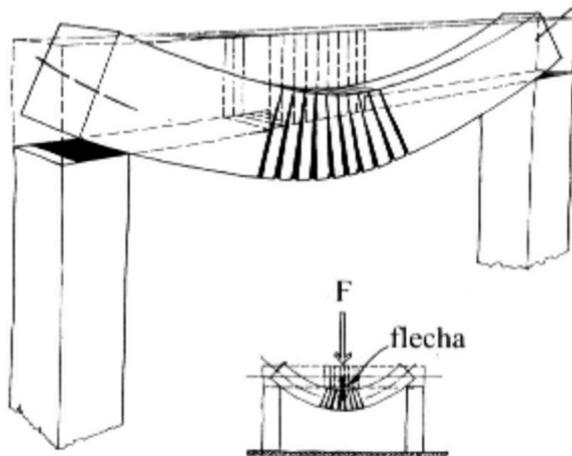
Sem medo de errar

Já estudamos que os elementos estruturais são dimensionados para que resistam aos esforços atuantes. Por esse motivo, você, arquiteto, precisa conhecer todos os esforços que atuam nas estruturas, a fim de que o projeto arquitetônico esteja bem concebido, respeitando os limites exigidos por norma.

Mas aí vem a dúvida: qual é o vão máximo que uma viga pode ter? Existem diversos fatores que influenciam nesta escolha, mas é importante que você saiba que, quanto maior o vão de uma viga, mais robusta deverá ser a sua seção, para que esta possa resistir aos esforços solicitantes.

No escritório do complexo urbanístico em que você está trabalhando foi observado que uma das vigas, a V8, apresentou uma flecha, conforme ilustrado a Figura 1.19.

Figura 1.19 | Viga biapoiada do escritório de vendas do complexo urbanístico



Fonte: Fay, (2006, p. 47).

Quando você observou esta flecha, foi medir o vão da viga e também o deslocamento acarretado pela flecha para verificar se as condições estavam dentro das estabelecidas pela aceitabilidade sensorial da NBR 6118 (ABNT, 2014). A partir dos dados coletados, você observou que o vão era de 8 m e

que o deslocamento foi de 5 cm. Calculando o deslocamento limite, você obteve o seguinte resultado:

$$l/250 = 800/250 = 3,2\text{cm}$$

Desta forma, o deslocamento limite foi ultrapassado e a viga não se encontra dentro dos parâmetros exigidos por norma, pois apresentou uma flecha de 5 cm, enquanto o deslocamento máximo permitido é de 3,2 cm para o vão de 8 metros.

Você deverá se perguntar quais seriam as possíveis causas desta flecha excessiva. Será que ela foi ocasionada por um erro de projeto? O concreto não atingiu a resistência estabelecida no projeto? Será que os escoramentos foram retirados precocemente? Ou, ainda, será que a seção transversal da viga não foi suficiente para resistir aos esforços, pois o vão era muito extenso?

Diversas causas podem estar relacionadas com o aparecimento de flechas nas estruturas de concreto, por isso, você, como arquiteto, deverá ter uma parceria com um engenheiro calculista, para que ele dimensione corretamente as estruturas e evite a aparição de flechas.

Lembre-se de que as cargas que atuam nas edificações também devem ser bem determinadas, pois tem-se a atuação conjunta dos pesos próprios e acidentais. Caso estes não sejam determinados corretamente no projeto e haja uma sobrecarga atuando sobre a estrutura de concreto, também pode-se ter o aparecimento de flechas.

Assim, você já sabe como as cargas atuam nos sistemas estruturais das edificações e os cuidados que devem ser tomados na concepção estrutural.

Avançando na prática

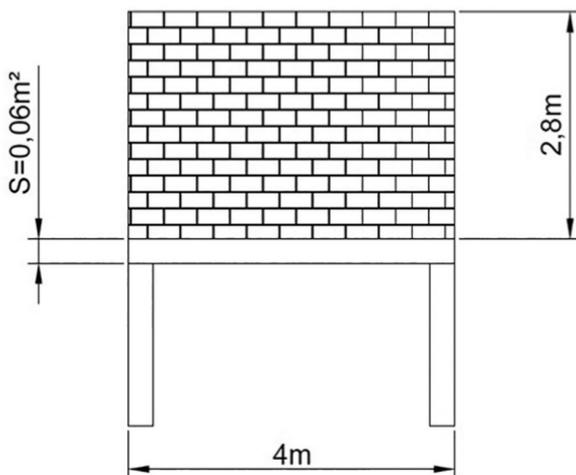
Cálculo da reação de apoio em vigas

Descrição da situação-problema

A estrutura é o caminho por onde as forças vão ser transferidas desde a cobertura até o solo, passando por diversos elementos. Sendo assim, o cálculo das reações de apoio em vigas é fundamental para identificar qual força será transmitida de um elemento estrutural para outro.

Suponha que no seu escritório de arquitetura você está realizando um projeto e precisa determinar a carga que chegará aos pilares sobre os quais tem-se uma viga, conforme ilustra a Figura 1.27. Para tal, você precisará calcular as reações de apoio desta viga, pois esta será a carga repassada aos pilares.

Figura 1.27 | Exemplificação do sistema estrutural



Fonte: elaborada pela autora.

Conforme ilustra a Figura 1.27, a parede de alvenaria tem 2,8 m de altura e uma carga distribuída de $4,5kN/m$. A viga de concreto tem uma área de seção transversal de $60cm^2$ e um comprimento de 4 m, e o concreto utilizado apresenta um peso específico de $2500kg/m^3$.

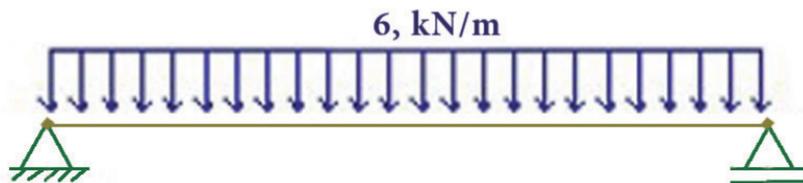
Sabendo que o sistema estrutural adotado foi de concreto armado e que a viga está transferindo seu peso próprio e também o peso da parede de alvenaria apresentada na figura, qual será a carga transmitida para cada pilar? Aproxime a aceleração gravitacional para $10m/s^2$.

Resolução da situação-problema

Primeiramente, você precisa calcular o carregamento. O volume da viga será a multiplicação da sua seção transversal pelo comprimento ($0,06m^2 \times 4m$), ou seja $0,24m^3$. Multiplicando o volume pelo peso específico, você terá que a massa total da viga é de 600 kg.

Na sequência, você precisa multiplicar este resultado pela aceleração gravitacional para obter o peso da viga (600×10), que será de 6000 N ou 6 kN. Essa é a carga total que está sendo aplicada na viga. Para obtermos a carga distribuída, basta dividir a carga pelo comprimento em que ela está sendo aplicada ($6kN / 4m = 1,5kN/m$). Desta forma, você poderá montar o sistema estrutural da viga biapoiada, conforme ilustra a Figura 1.28.

Figura 1.28 | Esquema estrutural da situação proposta



Fonte: elaborada pela autora.

Como a seção da viga é constante e a parede de alvenaria está uniformemente distribuída sobre o comprimento da viga, o centroide do carregamento estará na metade do seu comprimento. Para calcular a carga concentrada, basta multiplicar a carga distribuída pelo comprimento da viga ($6\text{ kN} / \text{m} \times 4\text{ m}$), obtendo uma carga concentrada de 24 kN.

Para calcular as reações de apoio e consecutivamente a carga desta viga que será transmitida aos pilares, basta dividir este valor por dois, pois, como a carga está sendo aplicada no centro da viga, a metade será destinada para cada apoio. Desta forma, a carga repassada a cada pilar é de 12 kN.

Faça valer a pena

1. O objetivo principal do estudo das estruturas é garantir que seu projeto seja seguro para as pessoas que o utilizarão e para os arredores da edificação. Partindo deste princípio, será necessário definir o quanto a estrutura suportará durante sua utilização.

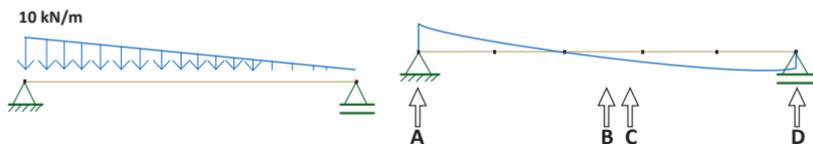
Qual é o termo que define a capacidade máxima de uma estrutura?

- a) Coeficiente de segurança.
- b) Estado limite último.
- c) Estado limite de utilização.
- d) Tensão admissível.
- e) Ponto de equilíbrio.

2. Os diagramas de força cortante e momento fletor nos auxiliam a identificar os pontos críticos de cargas em uma estrutura. A partir da análise destes diagramas é possível definir qual material deverá ser utilizado para suportar as cargas e até mesmo se serão necessárias modificações para que a estrutura suporte as cargas de projeto.

Observando o carregamento e o diagrama de força cortante mostrados na Figura 1.29, assinale a alternativa que apresenta o ponto em que o momento fletor terá seu maior valor.

Figura 1.29 | Representação do carregamento e do diagrama de força cortante



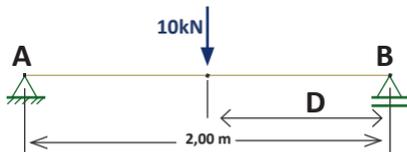
Fonte: elaborada pela autora.

- a) Ponto A.
- b) Ponto B.
- c) Ponto C.
- d) Ponto D.
- e) Pontos B e C.

3. O objetivo de uma estrutura é transferir todo o peso para o solo, atingindo o equilíbrio estático. Quando se tem uma carga sobre uma viga, a posição dessa carga vai interferir na reação de cada apoio, pois quanto mais perto de um apoio, maior será sua reação.

Suponha que uma carga pontual de 10 kN, conforme ilustra a Figura 1.31, deverá ser posicionada em uma viga de 2 m de comprimento. Considerando que o apoio B poderá suportar no máximo 2,5 kN, qual é a menor distância desse apoio em que a carga poderá ser posicionada?

Figura 1.31 | Representação do carregamento pontual



Fonte: elaborada pela autora.

- a) 0,5 m.
- b) 1,75 m.
- c) 1,25 m.
- d) 1 m.
- e) 1,5 m.

Referências

APOIOS, [s.d.], [s.p.]. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/estruturas/apoios.htm>>. Acesso em: 6 nov. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: projetos de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

BASTOS, P. S. S. **Torção em vigas de concreto armado**. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Faculdade de Engenharia. Bauru, 2017. Disponível em: <http://www.wp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Torcaoa.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2018.

CAMACHO, J. S. **Concreto armado**: estados limites de utilização. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Faculdade de Engenharia. Ilha Solteira, 2005. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/estados-limites-de-servico.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2018.

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

FAY, L. **Estruturas arquitetônicas**: composição e modelagem. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006.

FAZIO, M.; MOFFETT, M.; WODEHOUSE, L. **A História da arquitetura mundial**. Porto Alegre: AMGH, 2011.

LEET, K. M., UANG, C. M., GILBERT, A. M. **Fundamentos da análise estrutural**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2009.

ONISHI, P. B. F.M. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto**. São Paulo: Cengage Learning Editores, 2017.

PEREIRA, J. A. **Introdução à história da arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

NOVAES, A. **Reações de Apoio**. UNICAMP, Campinas, [s.d.]. Disponível em: http://www.fec.unicamp.br/~fam/novaes/public_html/iniciacao/teoria/reacoes/t4.htm. Acesso em: 5 nov. 2018.

Unidade 2

Estruturas em concreto armado

Convite ao estudo

Caro aluno, seja bem-vindo à Unidade de Ensino 2.

Na Unidade 1 aprendemos conceitos importantes sobre os sistemas estruturais, as forças que atuam nas estruturas e como essas forças percorrem nas edificações para atingirem o equilíbrio estático. Dando continuidade ao nosso estudo de Sistemas Estruturais I, na segunda unidade estudaremos sobre o concreto armado, material mais utilizado na confecção de elementos estruturais na construção civil em todo o mundo.

Neste contexto, conhecer os componentes, as características e as propriedades do concreto armado é fundamental para compreendermos os dimensionamentos das peças estruturais, que serão vistos nas próximas unidades.

O concreto é um material durável e resistente obtido a partir da mistura de cimento Portland, agregados miúdos e graúdos e água, podendo também conter adições minerais e aditivos químicos para melhoria de suas propriedades. A quantidade dos seus componentes é conhecida como traço e influencia diretamente nas propriedades no estado fresco e endurecido do concreto. Além disso, as características dos agregados que compõem o concreto também influenciam nestas propriedades. O concreto, porém, apresenta uma baixa resistência à tração. Para solucionar este problema, ele é utilizado em associação com o aço, formando o que chamamos de concreto armado.

Atualmente dois materiais estruturais são os mais utilizados na construção civil: o concreto e o aço. Desta maneira, o conhecimento destes, dos seus componentes e também das suas características é de fundamental importância na sua formação acadêmica.

Imagine que você, arquiteto, trabalhou por dois anos em uma grande incorporadora e após adquirir experiência, resolveu abrir seu próprio escritório de arquitetura. O primeiro contrato foi para elaboração do projeto de uma casa térrea de veraneio para uma família no litoral do estado de São Paulo.

Pelo seu desempenho no desenvolvimento do projeto, seu cliente o contratou também para acompanhar a execução da residência. Para isso, você precisa ter total conhecimento dos materiais utilizados, em especial o concreto armado que, como o próprio nome já diz, é composto por concreto

e aço. Além disso, é necessário conhecer os componentes do concreto, suas propriedades no estado fresco e endurecido e também os cuidados que devem ser tomados na execução do concreto em ambientes agressivos. Tendo essa compreensão, você evitará problemas nas estruturas de concreto armado e entregará aos seus clientes obras sem riscos de patologias relacionadas à estrutura de concreto armado.

Neste contexto, que materiais são utilizados na confecção do concreto? Quais são as características do concreto? Que cuidados devem ser tomados quando este está em contato com ambientes agressivos? Você aprenderá a responder todas essas perguntas nesta unidade de ensino.

Bons estudos!

Elementos que compõem o concreto

Diálogo aberto

Caro aluno, você já deve ter ouvido falar do concreto armado, não é mesmo? Ele é o material mais utilizado para a confecção de elementos estruturais, como vigas, lajes, pilares e fundações. Nesta unidade abordaremos este importante material, iniciando pelo estudo dos materiais que compõem o concreto, os tipos de cimento existentes no mercado, os agregados (miúdos e graúdos) e suas granulometrias. Apontaremos também que cuidados devem ser tomados quanto às características dos agregados para obtenção de concretos com bons desempenhos.

Agora que você deixou de trabalhar na incorporadora para seguir seu sonho de ter o seu próprio escritório de arquitetura, você trabalhará com os mais diversos projetos e também poderá acompanhar a execução de obras. Relembrando que no seu primeiro projeto, você foi contratado para realizar uma casa térrea de veraneio para uma família no litoral do estado de São Paulo. Após a realização do projeto, pelo seu desempenho, os clientes também te contrataram para acompanhar a execução da obra. A fim de executá-la de forma correta, você precisa conhecer os materiais utilizados na construção e garantir que a mão de obra contratada execute os serviços corretamente, evitando o aparecimento de manifestações patológicas.

Imagine que, devido ao tempo chuvoso na região, a execução desta residência está com o cronograma bastante atrasado. Na sua 10ª visita à obra, você observou que os pilares já haviam sido concretados, porém as vigas e as lajes não. Decorrente desse atraso, você optou por comprar concreto usinado de uma concreteira da cidade para executar a concretagem das vigas e lajes, pois esse tipo de material, além de apresentar um maior controle tecnológico, acelerará a execução das lajes e vigas.

Devido à necessidade de retirar os escoramentos das vigas e lajes o mais rápido possível para dar seguimento às demais etapas da obra, com qual cimento você deverá solicitar que a fornecedora faça o concreto? Sua escolha deve se basear nos tipos de cimento existentes no mercado e suas características.

Além disso, ao analisar o projeto das vigas e lajes, você observou que o espaçamento mínimo entre as armaduras das vigas é de 20 mm. Frente a essa informação, que cuidados a concreteira deverá ter em relação ao agregado graúdo?

Você encontrará as respostas à estes questionamentos no item **Não pode faltar**.

O concreto é um material que pode ser utilizado na construção dos mais diversos sistemas estruturais, sejam pontes, edifícios, rodovias ou barragens. Porém, para aplicá-lo, seus componentes e suas características devem ser bem conhecidas, evitando problemas com a aplicação.

Composição do concreto

O concreto é considerado um material composto, composto por um aglomerante (cimento Portland), agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e água. Dependendo das características desejadas, além dos componentes citados anteriormente, pode-se adicionar aditivos químicos e adições minerais (NEVILLE, 2013).

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico, ou seja, em contato com a água e a partir de reações químicas exotérmicas, ele aglomera partículas e se hidrata, formando um material rígido e resistente. Os principais componentes do cimento são o calcário, a sílica, a alumina e o óxido de ferro. Seu processo de fabricação consiste na moagem da matéria-prima (calcário e argila), na mistura dos seus componentes e na calcinação (queima a elevadas temperaturas).

O processo de calcinação resulta na produção de clínquer granulado, que é moído para acelerar as reações de hidratação. Na sequência, pequenas quantidades de gesso (em média 5%) são adicionadas ao cimento para regular o tempo de endurecimento. Após a adição de gesso, diferentes materiais podem ser acrescentados, dependendo do tipo de cimento que se quer obter (NEVILLE, 2016).

Tipos de cimento utilizados na confecção de concretos

Atualmente, existem diferentes tipos de cimento Portland no mercado, cada um com características específicas, devido a diferentes adições, e também indicados para as mais variadas aplicações. Para a nomenclatura dos cimentos no mercado, tem-se o seguinte:

Figura 2.1 | Nomenclatura dos cimentos no mercado



Fonte: elaborada pela autora.

Quanto às adições, pode-se ter escória (E), pozolanas (S ou Z) ou *filler* (F). Na sequência, a Tabela 2.1 ilustra os cimentos existentes no mercado, juntamente com seus componentes.

Tabela 2.1 | Tipos de cimento Portland

Componentes			Componentes (% em massa)				
Deno- minação técnica	Deno- minação comer- cial	Sigla	Classe (MPa)	Clínquer + sulfato de cálcio	Escória granu- lada de alto- -forno	Ma- terial pozolâ- nico	Ma- terial carbo- nático
CP comum	CP comum	CP I	25, 32 e 40	100	-	-	-
	CP comum + adição	CP I-S		99-95		1-15	
CP com- posto	CP compos- to com escória	CP II-E	25, 32 e 40	94-56	6-34	-	0-10
	CP compos- to com pozolana	CP II-Z		94-76	-	6-14	0-10
	CP compos- to com filler	CP II-F		94-90	-	-	6-10
CP de alto- -forno	CP de alto- -forno	CP III	25, 32 e 40	65-25	35-70	-	0-5
CP pozolâ- nico	CP po- zolânico	CP IV	25 e 32	85-45	-	15-50	0-5
CP de alta resistên- cia in- icial	CP de alta re- sistên- cia in- icial	CP V-ARI	Mínimo 34 MPa aos 7 dias	100-95	-	-	0-5

Fonte: Pinheiro e Crivelaro (2016, p.63).

Cada tipo de cimento, decorrente das suas características, é indicado para uma determinada situação, conforme apresentado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 | Tipos de cimentos e suas aplicações

CIMENTO	APLICAÇÕES
CP I e CP I-S	Locais que não necessitam de condições especiais e não estão em contato com agentes agressivos. Esse cimento não é muito utilizado no Brasil, pois tem uma grande quantidade de clínquer (não tem adições além do gesso e de pozolanas em pequenas quantidades – CP I-S), elevando custo de fabricação.

CIMENTO	APLICAÇÕES
CP II – E	Contém adição de escória de alto forno, que acarreta em um baixo calor de hidratação para este cimento, tornando-o ideal para locais onde há a necessidade de um desprendimento de calor lento.
CP II – Z	Contém a adição de material pozolânico e é indicado para concretos protendidos, pré-moldados e construções subterrâneas e marítimas em que haja a presença de água.
CP II – F	Contém adição de <i>filler</i> e é indicado para argamassas de assentamento, revestimento, pisos, pavimentos e concreto armado em meios não agressivos.
CP III	Contém maiores quantidades de escória de alto forno, conferindo a este cimento maior resistência, durabilidade e impermeabilidade. É indicado para obras de grande porte, como barragens, tubulações de esgoto, pistas de aeroporto, entre outros.
CP IV	Contém maiores teores de material pozolânico, conferindo alta durabilidade e impermeabilidade. É indicado para obras com exposição a ambientes agressivos e submetidas à ação de água corrente.
CP V ARI	É um cimento de Alta Resistência Inicial (ARI), pois nele são adicionadas, na composição do clínquer, porcentagens diferenciadas de argila, fazendo com que as reações de hidratação aconteçam de forma mais rápida. Vale destacar que, enquanto os outros tipos de cimentos levam 28 dias para atingir a resistência característica, o CP V ARI leva apenas 7. Desta forma, é indicado para confecção de elementos que necessitam de uma desforma rápida, como: pré-moldados, postes, blocos e tubos. Também é recomendado para obras em atraso, pois as formas e escoras podem ser retiradas mais rapidamente quando este cimento é utilizado.

Fonte: elaborada pela autora.

Além destes cimentos, há também o CP RS e o CP B. O primeiro é elaborado com adições que proporcionam a este cimento uma maior resistência a sulfatos. Desta forma, o CP RS é indicado para fabricação de tubos de esgoto e de águas, tanto industriais como do mar e outros ambientes onde a presença de sulfatos seja significativa. O CP B, por sua vez, é o cimento branco. Aplicado para o rejuntamento de cerâmicas e fins arquitetônicos.

Vale destacar que, como vimos, existem diversos tipos de cimento e não existe o melhor. Cabe a você, arquiteto, conhecer suas diferenças e aplicações e indicar aos seus clientes sempre a solução mais vantajosa e eficiente para cada situação.



Refleta

Se a obra do seu cliente não estiver atrasada e não necessitar de nenhum cuidado especial, quanto à presença de ambientes agressivos, por qual cimento você poderá optar? Será que existe a necessidade de um cimento

de alta resistência inicial, por exemplo? Não se esqueça que, caso haja alguma necessidade especial, deve-se tomar cuidado na escolha.



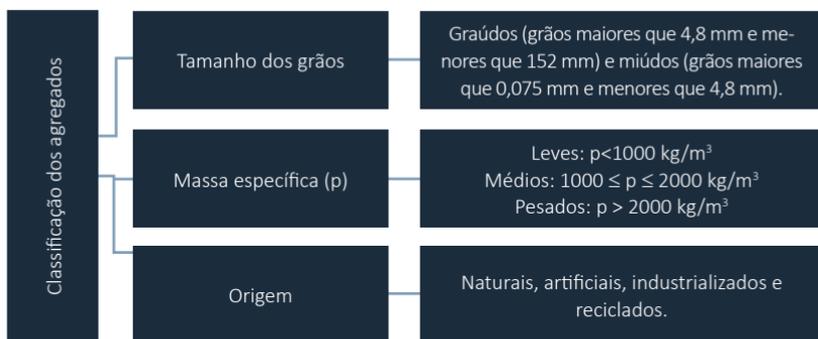
Saiba mais

Consulte a norma da ABNT que trata dos requisitos dos cimentos Portland, a NBR 16697 (ABNT, 2018).

Agregados utilizados na confecção de concretos

Agora que já conhecemos os tipos de cimentos, suas características e aplicações, podemos passar para o estudo dos agregados utilizados na confecção do concreto armado. Os agregados são materiais sem forma e volume definidos, eles possuem dimensões e propriedades adequadas para os mais diferentes usos nas obras de engenharia. Além disso, podem ser classificados de diversas maneiras, entre elas podemos citar o tamanho dos grãos, a massa específica e a origem, conforme ilustra a Figura 2.2.

Figura 2.2 | Classificação dos agregados



Fonte: elaborada pela autora.

Vale destacar que os agregados são relativamente baratos e não reagem quimicamente quando entram em contato com o cimento e a água. Por esse motivo, muitos autores consideram que os eles são elementos inertes nos concretos. Porém, mesmo não reagindo quimicamente, as características dos agregados influenciam de forma direta nas propriedades do concreto. Como exemplo, podemos citar que agregados mais arredondados auxiliam na trabalhabilidade do concreto e também agregados com grãos de diversos tamanhos contribuem na diminuição da porosidade deste material.

Para a elaboração de concretos, os agregados mais comuns utilizados são areias e britas. As areias mais usadas são classificadas como agregados miúdos, com massa média e origem natural, mas também é possível aplicar

areias de diferentes origens, que podem apresentar diferentes massas específicas. Quanto à brita, normalmente é originada da britagem da rocha basáltica e é classificada como um agregado graúdo de massa específica média.

A escolha do agregado deve sempre levar em consideração o tipo de concreto que se quer produzir. Por exemplo, se estamos buscando elaborar um concreto pesado, precisamos utilizar agregados com uma elevada massa específica ($\rho > 2000 \text{ kg/m}^3$), por exemplo, de hematita. Por outro lado, se buscamos produzir um concreto leve, devemos usar agregados de baixa massa específica ($\rho < 1000 \text{ kg/m}^3$), como argila expandida.



Assimile

$\frac{3}{4}$ do volume do concreto é composto por agregados, e suas características influenciam diretamente no desempenho do concreto. Por esse motivo, suas propriedades e características devem ser conhecidas e estudadas.

Para a aplicação de agregados em concretos, é necessário conhecer algumas características, tais como massa específica, massa unitária, composição granulométrica e teor de umidade. A importância do conhecimento destas características está associada à influência delas na dosagem dos concretos.

Massa específica e massa unitária

Para a dosagem do concreto, é necessário o conhecimento do espaço que estes agregados ocupam, incluindo os poros existentes nas partículas. Neste contexto, a massa unitária é obtida a partir da divisão entre a massa do agregado contida em um volume determinado, dividida por seu volume (considerando os vazios). A massa específica, por sua vez, é obtida pela divisão entre a massa e o volume de sólidos de uma amostra.

Para fins de ensaios laboratoriais de massa específica e massa unitária, deve-se seguir as normas NBR 9776 e NBR 7251, respectivamente.

Composição granulométrica

O estudo da composição granulométrica também é fundamental por diversos aspectos que envolvem o custo e a trabalhabilidade. De acordo com Mehta e Monteiro (2014), utilizar areias muito grossas resultam em concretos com baixas trabalhabilidades e superfícies ásperas. A aplicação de areias

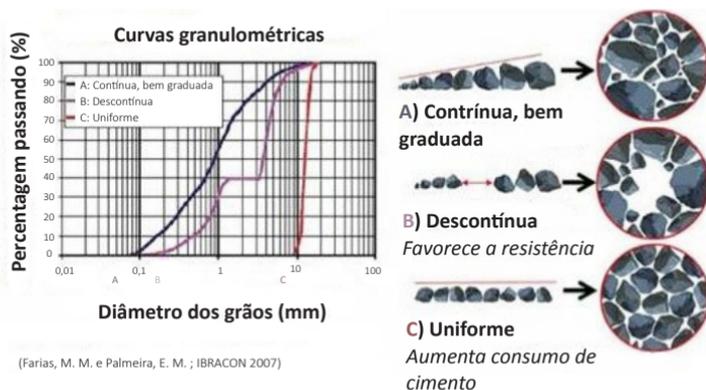
muito finas, por sua vez, resulta em maiores consumos de água e cimento, não sendo econômicas. Por outro lado, utilizar agregados com granulometrias contínuas, ou seja, com grãos de variados tamanhos, produz misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas.



Exemplificando

Você entendeu o que é um agregado de granulometria contínua? Talvez fique mais claro a partir da análise da Figura 2.3:

Figura 2.3 | Curva granulométrica de agregados contínuos, descontínuos e uniformes



Fonte: http://adm.online.unip.br/img_ead_dp/66302.pdf. Acesso em: 7 dez. 2018.

A granulometria contínua, como podemos visualizar na figura, por ter grãos de diversos tamanhos, os vazios entre os grãos maiores são preenchidos com grãos menores. Tal fato reduz o consumo de cimento e melhora a trabalhabilidade do concreto.

A granulometria descontínua, como podemos observar, tem falhas ou *gaps* no tamanho dos grãos, gerando vazios maiores no concreto, que precisam ser preenchidos por pasta, fazendo com que o consumo de cimento aumente e, consecutivamente, o custo do concreto também.

A granulometria uniforme é aquela em que a maioria dos grãos tem o mesmo tamanho. Além disso, ela também confere maiores vazios, aumentando o consumo de cimento.

Para realizar uma análise da granulometria, deve-se seguir a NBR NM 248 (ABNT, 2003), que determina que os agregados devem ser ensaiados quanto utilizando um conjunto de peneiras com aberturas pré-estabelecidas, chamadas de série normal e série intermediária, as quais tem peneiras com as seguintes aberturas:

- Série normal: 75 mm, 37,5 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 μm , 300 μm e 150 μm .
- Série intermediária: 63 mm, 50 mm, 31,5 mm, 25 mm, 12,5 mm, 6,3 mm.

A série normal deve sempre ser utilizada, dentro das características que se deseja estudar. A análise de uma areia, por exemplo, terá que usar as peneiras de 4,75 mm em diante e, se for agregado graúdo, serão as peneiras de maior abertura. A série intermediária pode ser utilizada também, mas sua utilização não é obrigatória.

No ensaio de peneiramento, a massa inicial é quantificada e, na sequência, é submetida ao peneiramento. Após este, a massa retida em cada peneira é quantificada e calcula-se o percentual de material retido e retido acumulado em cada malha. A partir do percentual retido acumulado, é traçado o gráfico da curva granulométrica. Além disso, existem informações importantes da caracterização do agregado que são retiradas deste ensaio: o módulo de finura e o diâmetro máximo característico ($D_{\text{máx}}$).

O módulo de finura é obtido a partir do somatório do percentual retido acumulado (%) da série normal dividido por 100. A partir do módulo de finura, a areia é classificada entre muito fina, fina, média ou grossa, conforme os intervalos (BAUER, 2008):

- Muito fina – de 1,35 a 2,25;
- Fina – de 1,71 a 2,85;
- Média – de 2,11 a 3,38;
- Grossa – de 2,71 a 4,02.

O $D_{\text{máx}}$, por sua vez, corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.



Exemplificando

Para que fique mais claro, imagine que você realizou um ensaio de peneiramento da areia apresentada na Tabela 2.3. Na primeira coluna temos as aberturas das malhas de série normal. Na sequência, na segunda coluna, após realizar o peneiramento, você quantificou a massa retida (M_r) em cada peneira.

Tabela 2.3 | Ensaio de peneiramento da areia

Abertura da malha das peneiras (mm)	Massa retida (g)	Percentual retido (%)	Percentual retido acumulado (%)
4,75	0,000	0,00	0,0
2,36	0,029	4,14	4,1
1,18	0,105	15,00	19,1
0,6	0,131	18,71	37,8
0,3	0,195	27,86	65,7
0,15	0,230	32,86	98,5
Fundo	0,010	1,43	100,0
Massa total	0,70		

Fonte: elaborada pela autora.

A terceira coluna é referente ao percentual retido. Para calculá-lo, basta multiplicar por 100 a massa retida (M_r) naquela peneira

e dividir pela massa total (M_t) de areia $\left(\%_r = \frac{M_r \times 100}{M_t} \right)$. Por fim,

na última coluna tem-se o cálculo do percentual retido acumulado. Para calculá-lo na primeira peneira, tem-se que o percentual retido acumulado é igual ao percentual retido. Para as demais, basta somar o percentual retido ao percentual retido acumulado da malha anterior.

No caso deste exemplo, temos um areia com $D_{máx}$ de 2,36 mm e MF de 2,25, classificando-a como média.

O $D_{máx}$ em britas (agregado graúdo) é muito importante quando se estuda a dosagem de concretos, pois ele não deve ser maior que o espaçamento das armaduras. Caso contrário, causará a segregação (Figura 2.4), pois as britas não conseguirão passar pelo espaço entre as armaduras, fazendo com que o concreto perca sua homogeneidade.

Figura 2.4 | Segregação do concreto em um pilar



Fonte: Mehta e Monteiro (2014, p. 418).

Teor de umidade

Outro aspecto muito importante quanto aos agregados utilizados na confecção de concretos é o conhecimento do seu teor de umidade (w) e do conceito de inchamento. Os grãos dos agregados podem se encontrar nas mais diversas condições de umidade, conforme ilustra a Figura 2.5.

Figura 2.5 | Agregados em diversas condições de umidade

Condição	Seca em estufa	Seca ao ar	Saturada superfície seca	Saturada ou úmida
				
Umidade total	Nenhuma	Menor do que a absorção potencial	Igual a absorção potencial	Maior do que a absorção

Fonte: adaptada de Mehta e Monteiro (2014).

A absorção é definida como a quantidade de água necessária para que o agregado mude da situação seca em estufa para saturado superfície seca. O agregado nesta situação está com o grão seco por fora, mas saturado por dentro. O seu estudo, quando se trata da confecção de concretos e argamassas, é fundamental, pois se os agregados utilizados estiverem sem nenhuma umidade, tenderão a absorver a água utilizada no traço do concreto, fazendo

com que a água não seja suficiente para hidratar as partículas de cimento. Por outro lado, caso os agregados estejam na situação saturada ou úmida, a água que excede a absorção do agregado contribuirá para a água do traço, podendo diminuir sua resistência. Para determinar o teor de umidade (w), normalmente utiliza-se o método da estufa, no qual a massa do agregado é quantificada (M_w) e submetida à secagem em estufa por 24 horas a uma temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$. Após este período, a massa da amostra é quantificada novamente. Na sequência, aplica-se a fórmula $w = \frac{M_w}{M_s}$, em que w é o teor de umidade, M_w a massa de água e M_s a massa do agregado seca.

Outro aspecto fundamental que deve ser de conhecimento dos arquitetos é o inchamento da areia, pois este agregado em contato com a umidade aumenta seu volume. Como a areia é adquirida em volume (m^3) nas obras, caso haja o desconhecimento do inchamento e você, como arquiteto, adquira a areia úmida, poderá estar comprando uma quantidade inferior ao necessário para a obra, pois a areia úmida apresentará um volume maior do que é na condição seca. Sem deixar de mencionar que em obras de pequeno vulto, em que o concreto é elaborado na própria obra, ele é realizado em volume, e não em massa, fazendo com que a areia também seja dosada de forma inapropriada no concreto, caso seja utilizada úmida.

Sem medo de errar

Como escolher o tipo de cimento para uma obra? Você, como arquiteto, deve conhecer os cimentos disponíveis no mercado e suas características, para optar sempre pelo cimento com o melhor custo benefício e que atenda às necessidades da obra vai executar.

Relembrando que você, arquiteto, foi contratado para executar a obra residencial que projetou, localizada no litoral do estado de São Paulo. A obra em questão encontra-se atrasada, pois houve uma incidência de chuva muito grande desde que começou. Para finalizá-la o quanto antes, você optou por comprar concreto dosado na central para a execução das vigas e lajes. Porém, é necessário retirar os escoramentos destes elementos estruturais rapidamente, para finalizar as demais etapas da obra.

Por esse motivo, ao solicitar o concreto na central, você deverá passar a eles esta informação, solicitando que o cimento utilizado na confecção do concreto seja o de alta resistência inicial (CP V ARI), pois nele são adicionadas, na composição do clínquer, porcentagens diferenciadas de argila, fazendo com que as reações de hidratação aconteçam de maneira

mais rápida. Desta forma, o cimento CP V ARI atinge a resistência de forma mais rápida, em 7 dias, enquanto os outros levam 28 dias para alcançar a resistência característica. Por agir mais rapidamente, o CP V ARI agiliza a desforma de forma substancial. Sendo assim, este cimento também é indicado para a confecção de elementos que necessitam de uma desforma rápida, como pré-moldados, postes, blocos e tubos.

Outra informação relevante para ser discutida com a concreteira é o diâmetro máximo característico dos agregados graúdos, pois se este ele for superior ao espaçamento das armaduras, resultará na segregação do concreto e também em nichos de concretagem nos elementos estruturais. Os nichos de concretagem podem diminuir a resistência do material e também causar a corrosão da armadura, caso não sejam corrigidos adequadamente.

Relembrando que o espaçamento da armadura das vigas da obra que está acompanhando é de 20 mm, então, você deverá solicitar que a concreteira use britas de menores dimensões e também precisará verificar o diâmetro máximo do agregado na nota do concreto, quando ele chegar à obra. Desta forma, será possível retirar as escoras mais rapidamente, recuperando o atraso da obra, e não terá problemas de segregação relacionados ao diâmetro máximo do agregado graúdo.

Avançando na prática

Análise granulométrica da brita utilizada na confecção de concreto

Descrição da situação-problema

Suponha que você, como responsável pela seleção dos materiais em uma obra, precisou fazer a análise granulométrica de um agregado graúdo para que pudesse caracterizá-lo. Você seguiu todas as normas para o ensaio de peneiramento e teve como resultado a Tabela 2.4 com os valores de massa retida para cada abertura de malha das peneiras. A partir dessa tabela, calcule o percentual retido, o percentual retido acumulado, o diâmetro máximo característico do agregado ($D_{máx}$) e o módulo de finura do agregado (MF). Considerando que a armadura na qual será utilizado o concreto com este agregado tem espaçamento de 2,5 cm, você recomendaria este agregado para tal finalidade?

Tabela 2.4 | Ensaio de peneiramento da areia

Abertura da malha das peneiras (mm)	Massa retida (g)	Massa retida (%)	Massa retida acumulada (%)
19	14,68		
12,5	639,34		
9,5	439,39		
6,3	10,15		
4,75	151,00		
Fundo	45,27		
Massa total		MF	

Fonte: elaborada pela autora.

Resolução da situação-problema

Para a resolução da situação-problema, basta calcularmos o percentual retido. Devemos multiplicar a massa retida na peneira (M_R) por 100 e dividir pela massa total (M_T) de areia $\left(\frac{M_R}{M_T} \times 100\right)$. Para calcularmos a massa retida acumulada na primeira peneira, tem-se que o percentual retido acumulado é igual ao percentual retido. Para as demais, basta somar o percentual retido ao percentual retido acumulado da malha anterior.

O módulo de finura, por sua vez, é obtido a partir do somatório do percentual retido acumulado (%) da série normal dividido por 100, lembrando que apenas deve-se somar o percentual retido acumulado da série normal para o cálculo do módulo de finura. Aplicando para a nossa situação, teremos: $MF = \frac{1,1 + 84,1 + 96,5}{100} = 1,82$. Por fim, o $D_{máx}$ corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. Assim, com estes cálculos é possível preencher a Tabela 2.5 com todos os resultados.

Tabela 2.5 | Ensaio de peneiramento da areia

Abertura da malha das peneiras (mm)	Massa retida (g)	Massa retida (%)	Massa retida acumulada (%)
19	14,68	1,13	1,1
12,5	639,34	49,19	50,3
9,5	439,39	33,80	84,1
6,3	10,15	0,78	84,9
4,75	151,00	11,62	96,5

Abertura da malha das peneiras (mm)	Massa retida (g)	Massa retida (%)	Massa retida acumulada (%)
Fundo	45,27	3,48	100,0
Massa total	1.300	MF	1,82

Fonte: elaborada pela autora.

A partir do resultado apresentado na Tabela 2.5, observa-se que o diâmetro máximo característico do agregado graúdo é de 19 mm, pois a massa retida acumulada nesta peneira é igual ou inferior a 5%. Sendo assim, o agregado ensaiado pode ser utilizado na confecção do concreto, pois a dimensão máxima do agregado é menor do que o espaçamento mínimo das armaduras, não acarretando na segregação do concreto.

Faça valer a pena

1. O concreto é o material mais utilizado na construção civil. Desde o seu desenvolvimento, ele é usado na construção de pontes, edifícios e rodovias, bem como em diversos sistemas estruturais. Seus componentes essenciais são de fácil acesso no mercado e podem interferir nas características e no desempenho do concreto.

Assinale a alternativa que contém os componentes essenciais do concreto.

- Cimento Portland, cal, areia e pedra.
- Cimento Portland, cal, areia e plastificante.
- Cimento Portland, areia, brita e água.
- Argamassa, redutor de água e areia.
- Argamassa, areia e estabilizadores.

2. O Cimento Portland é um importante componente do concreto. Suas variações foram desenvolvidas ao longo do tempo e hoje é possível encontrar diversos tipos dele com características específicas, por conta de suas adições e de seu processo produtivo. Tão importante quanto conhecer essas características é conhecer a nomenclatura padronizada.

Assinale a alternativa que correspondente à sigla CPII - E 32.

- Cimento pozolânico com adição de clínquer e classe de resistência 32 MPa.
- Cimento Portland com 20 MPa de resistência e 32% de pozolana.
- Cimento Portland com 50% de adição de escória e 32 MPa de resistência.
- Cimento Portland com adição de escória de alto forno e classe de resistência 32 MPa.
- Cimento Portland com 20 MPa de resistência e 32% de *filler*.

3. Assim como o cimento, os agregados também são materiais essenciais para a elaboração de um concreto. As variações de suas características implicam em diferentes utilizações, sendo que, para cada característica de concreto desejada, recomenda-se o uso de determinados agregados.

Sobre os agregados utilizados em concreto, assinale a alternativa correta.

- a) Os agregados têm sua forma e volume definidos pelas normas ABNT.
- b) Quanto à origem, os agregados podem ser classificados apenas em naturais ou artificiais.
- c) Os agregados têm alto custo por unidade de massa, se comparados ao custo do cimento.
- d) As reações químicas dos agregados com a água são essenciais para o endurecimento do concreto.
- e) Agregados com grãos de diversos tamanhos podem contribuir na diminuição da porosidade do concreto.

Propriedades do concreto armado

Diálogo aberto

Caro aluno, agora que você já conhece os componentes dos concretos, os tipos de cimentos existentes no mercado, os agregados e suas características, podemos partir para o estudo do traço do concreto, seu *fck* (do inglês *Feature Compression Know*), as características do concreto em estado fresco e endurecido.

Relembrando que no seu escritório de arquitetura, você está acompanhando a execução da residência de veraneio de uma família, no litoral do estado de São Paulo, que anteriormente projetou. Para isso, é necessário ter total conhecimento dos materiais utilizados e suas características.

Na seção anterior, já aprendemos sobre os tipos de cimento e agregados existentes no mercado, suas características e aplicações. Também vimos que, devido ao atraso da obra ocasionado pelo tempo chuvoso, a melhor opção de cimento para a confecção do concreto das lajes e vigas é o cimento de alta resistência inicial, o CP V ARI.

Dando continuidade, imagine que agora você solicitou o concreto para confeccionar as vigas e as lajes em uma concreteira da região, de sua confiança. Você repassou à fornecedora que precisava de um volume total de 12 m^3 de concreto com desforma rápida, por isso, o cimento CP V ARI deveria ser utilizado. Além disso, pelo fato de o espaçamento mínimo das vigas ser de 20 mm, foi solicitado que o diâmetro máximo característico do agregado graúdo fosse menor que 20 mm.

Após repassar todas essas informações, você agendou a data para a concretagem e o responsável da concreteira lhe informou que mandaria 2 caminhões betoneira com 6 m^3 em cada. Sabendo da data da concretagem, você programou no mesmo dia e horário da concretagem com a empresa de controle tecnológico de concreto para efetuar os ensaios necessários.

Frente a estes aspectos, nesta etapa, sua tarefa como arquiteto que está acompanhando a obra é conferir a nota fiscal que vem da fornecedora e o concreto disponibilizado, além de acompanhar a realização de seu controle tecnológico. Para desenvolver estas tarefas, será necessário elaborar uma checklist de conferência do concreto e também conhecer os ensaios realizados para o controle tecnológico deste material, para poder conferir os dados repassados pela empresa de controle tecnológico.

Então, quais pontos devem estar presentes em sua checklist? Que ensaios deverão ser realizados pela empresa de controle tecnológico? Qual é a importância desses ensaios? Estudaremos todos esses pontos nessa seção.

Não pode faltar

Na seção anterior, estudamos os componentes do concreto e suas características, não é mesmo? Dando continuidade, abordaremos o traço e o fck do concreto e depois partiremos para o estudo das suas propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido.

Traço

O traço nada mais é do que a proporção dos materiais utilizados para elaboração dos concretos. Ele leva sempre em consideração o cimento, seguindo do material mais fino para o mais grosso. Como exemplo, podemos dizer que um traço normalmente é representado da seguinte forma: 1: X: Y, em que o 1 refere-se ao cimento, o X, ao agregado miúdo (areia) e o Y, ao agregado graúdo (brita). Quando realizado em laboratório, é efetuado em massa pela maior precisão, mas vale ressaltar que, em obra, o traço normalmente é realizado em volume, pela facilidade e praticidade.

Além da informação da proporção dos materiais, para determinar a quantidade de água na mistura que formará o concreto, tem-se a relação água/cimento (a/c). Outro aspecto importante é que, além do cimento e do agregado miúdo e graúdo, os concretos podem ter diferentes adições minerais e aditivos químicos, que visam melhorar alguma propriedade deste material. Essas adições e aditivos normalmente são colocados em percentual, em relação à quantidade de cimento.



Assimile

Os aditivos químicos normalmente são substâncias líquidas que agem diretamente na dinâmica das reações químicas de hidratação do cimento, podendo atuar como defloculantes ou dispersantes, aumentando o contato dos grãos de cimento com a água e melhorando, conseqüentemente, a trabalhabilidade e a plasticidade do concreto.

As adições minerais, por sua vez, são materiais extremamente refinados que contêm em sua composição grande quantidade de sílica amorfa reativa. Normalmente, são utilizados em substituição ao cimento, por terem características semelhantes a ele. Como exemplos podemos citar

as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos, como cinzas da casca de arroz, cinzas volantes, entre outros.



Exemplificando

Imagine que na obra que você está acompanhando, para um determinado elemento estrutural, será executado um concreto convencional de traço 1: 2: 3 (cimento: areia: brita) com relação a/c de 0,5. Ou seja, se forem utilizados 100 kg de cimento para a elaboração deste concreto, consecutivamente, serão usados 200 kg de areia e 300 kg de brita (proporção 1: 2: 3). Tendo a quantidade de cimento a ser utilizada e conhecendo a relação a/c do concreto, é simples determinar a quantidade de água:

$$A/C = 0,5 \rightarrow A/100 = 0,5 \rightarrow A = 50l$$

Lembre-se de que a massa específica da água é de aproximadamente 1 g/cm^3 , fazendo com que a massa de 50 kg ocupe um volume de 50

$$\text{litros: } (\mu = \frac{M}{V} \rightarrow M = \mu \times V \rightarrow M = 1 \times V).$$

Outro aspecto importante é que a quantidade de água do traço deve ser controlada em obra, pois quanto maior a quantidade de água adicionada a um concreto, maior sua trabalhabilidade e menor sua resistência mecânica.

A determinação do traço e da relação a/c é realizada a partir do estudo da dosagem, pois, para obter concretos com determinadas características, uma criteriosa seleção dos materiais que o compõem é o primeiro passo. O segundo, por sua vez, é determinar a combinação ideal dos componentes (cimento, agregados, água, aditivos e adições).

O objetivo principal da dosagem do concreto é obter um material que atenda a requisitos pré-determinados, principalmente de trabalhabilidade no estado fresco e de resistência à compressão no estado endurecido. Para tanto, o estudo da dosagem poderá proporcionar concretos com menor custo e que atendam aos requisitos necessários. Vale destacar que a dosagem do concreto incide de forma direta no seu custo, pois, dependendo do traço e das características dos agregados, será usado mais ou menos cimento na mistura, elevando ou reduzindo o custo do concreto, respectivamente. A dosagem do concreto é realizada para atingir uma determinada resistência, que chamamos de f_{ck} e estudaremos na sequência.

f_{ck} do concreto

O f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias de idade, medida em mega Pascal (MPa). O f_{ck} é determinado no projeto

estrutural e deve ser respeitado na dosagem do concreto, pois o dimensionamento da estrutura está contando que o elemento estrutural tenha aquela resistência para suportar os esforços internos e externos.

Para ter o controle da resistência do concreto, deve-se seguir a NBR 12655 (ABNT, 2015), norma que determina a amostragem de corpos de prova que devem ser moldados em obra, a fim de verificar a resistência do concreto e calcular o seu f_{ck} .

Outro aspecto que deve ser respeitado é a classe de agressividade da obra. A NBR 6118 (ABNT, 2014) determina que quanto maior for a classe de agressividade do local em que as estruturas de concreto estarão expostas, maior deverá ser o f_{ck} do concreto e o cobrimento da armadura e menor deverá ser a relação água/cimento. Esta norma deve ser respeitada no dimensionamento das estruturas para que o concreto apresente uma maior durabilidade, principalmente quando exposto a ambientes agressivos.

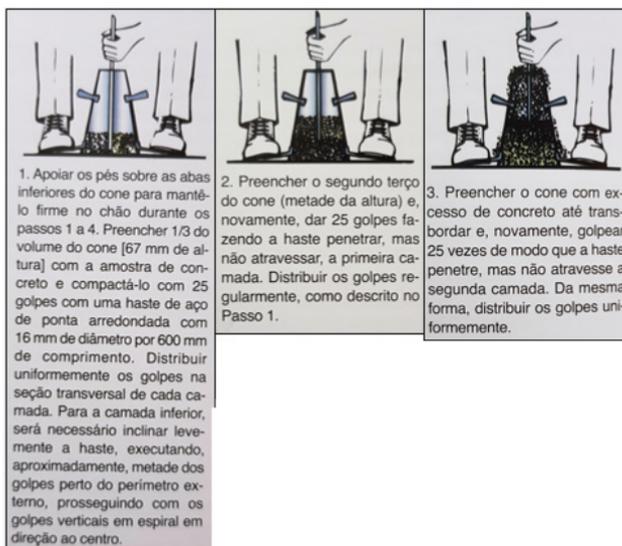
Conhecendo o traço e o f_{ck} , podemos passar para o estudo da confecção do concreto. Em obras de pequeno porte, o concreto normalmente é elaborado na própria obra com ou sem o uso de um misturador mecânico (betoneira). Para obras de médio a grande porte, o concreto é adquirido de concreteiras (concreto usinado), que apresentam um maior controle tecnológico, fazendo com que a variabilidade das características do concreto seja menor, comparado aos dosados in loco. Além disso, o concreto dosado em central (concreteiras) acelera a execução da obra e diminui os espaços necessários para o depósito de materiais, pois não será necessário estocar cimento, areia e brita para a confecção do concreto. Quando o concreto é dosado em concreteiras, ele é encaminhado para a obra por meio de caminhões betoneira, que vão realizando a mistura dos materiais no caminho da obra. Para o recebimento desse concreto dosado em central, a NBR 12.655 deve ser respeitada, norma que trata do preparo, do controle, do recebimento e da aceitação de concretos de cimento Portland.

É muito importante que você, arquiteto, saiba que, se for o responsável por acompanhar a execução de uma obra, consecutivamente será responsável por verificar as características do concreto, quando este chegar à obra por meio de caminhão betoneira. Nesse sentido, é necessário que a nota do concreto seja conferida quanto aos seguintes dados: tipo de cimento utilizado para a confecção do concreto, o traço, a resistência característica do concreto aos 28 dias, a consistência (abatimento), a dimensão máxima do agregado graúdo, a relação a/c , a presença de aditivos e quantidade dos mesmos, o volume total, o preço unitário e total e o horário da saída do caminhão da central. Outro aspecto que deve ser observado é se o lacre do caminhão não foi danificado, garantindo que não houve nenhuma adição ou retirada de material no caminho da central de concretagem até a obra.

Dentre todos os critérios citados, vale destacar que os mais importantes são a resistência característica do concreto aos 28 dias (que deve ser de acordo com o determinado no projeto estrutural), a dimensão máxima do agregado graúdo (que deve ser menor que o espaçamento mínimo das armaduras) e a consistência, pois o concreto precisa ser trabalhável para o fim que se destina. Vale destacar também que a relação a/c deve estar dentro dos parâmetros estabelecidos na NBR 6118, de acordo com a classe de agressividade em que o concreto estará exposto.

Outro aspecto que também é de sua responsabilidade como arquiteto é a contratação de uma empresa para realizar o controle tecnológico do concreto. Essa fornecedora deverá estar na obra no momento em que o caminhão betoneira chegar para realizar os ensaios de controle tecnológico: o *slump test* e a resistência à compressão. O *slump test*, também conhecido como abatimento de tronco de cone, deve ser realizado antes mesmo de lançar o concreto sobre as formas, seguindo o procedimento apresentado na Figura 2.6.

Figura 2.6 | Passo a passo do ensaio de *slump test*





Fonte: Mehta e Monteiro, (2014, p. 390).

O *slump test* é realizado in loco para verificar se o valor do abatimento está de acordo com o repassado na nota do concreto. Caso não esteja, deve-se recusar o concreto, e a concreteira deverá mandar outro caminhão com o concreto nas condições acordadas.

No ensaio de resistência à compressão, por sua vez, a empresa responsável pelo controle tecnológico deverá moldar corpos de prova para avaliar essa propriedade após 28 dias de cura. Portanto, é importante marcar quais elementos (pilares, vigas e/ou lajes) foram concretados com o conteúdo de cada caminhão, pois se houver algum problema quanto à resistência dentro dos 28 dias, os elementos que foram elaborados com aquele concreto poderão necessitar de reforço estrutural.

Dando continuidade ao nosso estudo, é importante que você saiba que tanto para o concreto dosado em central, como para o elaborado em obra, é necessário o conhecimento das suas propriedades no estado fresco e endurecido.

Características do concreto no estado fresco

O concreto no estado fresco deve ter consistência para que possa ser transportado, lançado, adensado e acabado facilmente, sem sofrer segregação ou exsudação. Dentre as propriedades do concreto no estado endurecido, podemos citar a trabalhabilidade e o tempo de pega.



Assimile

Segregação é a perda de homogeneidade do concreto, que acarreta na separação dos componentes do concreto de tal forma que este deixa

de ser uniforme. A exsudação, por sua vez, é um fenômeno que resulta no afloramento de água na superfície concretada após o lançamento e o adensamento do concreto e antes da sua pega (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Esses dois fatores são negativos, ou seja, deve-se evitar que a segregação e a exsudação ocorram nos concretos. Para tal, é preciso ter um bom estudo de dosagem, conhecimento das características dos materiais empregados na elaboração dos concretos, além de ser necessário lançar e adensar o concreto corretamente.

A trabalhabilidade do concreto é definida pelo esforço exigido para manipular o concreto com o mínimo de perda na homogeneidade. O termo manipular está relacionado às operações de lançamento, de adensamento e de acabamento do concreto. A trabalhabilidade pode ser afetada por diversos fatores, como o consumo de água e de cimento, as características do agregado e a utilização de aditivos químicos e de adições minerais.

A consistência, por sua vez, é medida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone, também conhecido como *slump test*. O procedimento para a realização desse ensaio já foi apresentado na Figura 2.6.

A consistência é um índice da mobilidade ou da fluidez do concreto fresco. É importante ressaltar que não adianta se ter um concreto de elevada resistência se ele não for trabalhável e, por esse motivo, quando o concreto é adquirido de concreteiras imediatamente antes do seu lançamento nas formas das estruturas, deve ser realizado o *slump test*, verificando o valor do abatimento de tronco de cone com o valor que foi repassado na nota de recebimento do concreto.

Além da consistência, a trabalhabilidade também está associada à coesão do concreto, que descreve a resistência do mesmo à exsudação e segregação.



Assimile

Se um concreto tiver uma elevada resistência, mas não for trabalhável, ele não apresentará um bom desempenho, pois no momento da moldagem dos elementos estruturais, formarão poros e vazios no seu interior, fazendo com que a resistência do mesmo no estado endurecido diminua. Para melhorar a trabalhabilidade do concreto, pode-se utilizar aditivos químicos. Além disso, você precisa entender que a adição de água ao concreto para melhorar sua trabalhabilidade nem sempre é uma opção, pois pode fazer com que esse concreto perca a coesão no estado fresco e a resistência no estado endurecido.

Quanto às características do concreto no estado fresco, além da trabalhabilidade temos também o tempo de pega. Ao contrário do que muitos pensam, o concreto não seca, o cimento Portland reage quimicamente com a água e, a partir de reações químicas complexas, ocorre a hidratação do cimento e seu endurecimento. As reações entre o cimento e a água são as causas básicas da pega do concreto.

Os tempos de início e de fim de pega são determinados pelo ensaio descrito na NBR 16607 (ABNT, 2017), que determina a taxa de solidificação de uma pasta fresca de cimento. Basicamente, o tempo de início de pega determina que aquele concreto fresco não tem mais capacidade de ser misturado, lançado e adensado. A partir do fim de pega, tem-se que a resistência do concreto começa a se desenvolver de uma forma mais significativa.

Antes de começarmos a estudar as características do concreto no estado endurecido, é importante que você saiba também os cuidados que devem ser tomados na mistura, no transporte, no lançamento e no adensamento do concreto fresco.

Quanto à mistura, os materiais devem passar por uma dosagem criteriosa respeitando o fck previsto no projeto estrutural, e os equipamentos devem ser testados quanto ao desgaste, estanqueidade, velocidade e tempo de mistura. Lembre-se de que o objetivo principal da mistura é a obtenção de um concreto homogêneo, podendo ser realizada na própria obra ou em caminhões betoneira.

Quanto ao transporte, têm-se os seguintes cuidados: o transporte dentro do canteiro de obras deve ser o mais curto possível, principalmente se a movimentação for realizada em carrinhas, para evitar a segregação e a exsudação do concreto pelo excesso de vibração. Se o transporte for realizado por bombeamento, o diâmetro interno da tubulação precisa ser 3 vezes maior que o diâmetro característico do agregado graúdo.

O lançamento do concreto deve ser realizado logo após a mistura, sendo limitado a duas horas e meia o tempo de saída do caminhão betoneira da central até a aplicação na obra. É necessário lançar o concreto o mais próximo possível da sua posição final, distribuindo-o ao longo de toda a forma. Não se deve lançar o concreto de alturas superiores a 2,5 metros, para evitar a segregação do material. Cuidados especiais devem ser tomados em temperaturas muito extremas (inferiores a 10° C e superiores a 35° C).

Logo após o lançamento do concreto sobre as formas é realizado o adensamento do mesmo, com o objetivo de tornar o concreto mais compacto, eliminando vazios e bolhas de ar do seu interior. Normalmente, o adensamento é efetuado a partir de agulhas vibratórias que devem ser posicionadas na vertical,

não entrando em contato com as armaduras e as formas. O vibrador deve ser inserido e retirado lentamente, sendo que cada ponto deve ser vibrado por cerca de 15 segundos. Lembre-se de que o excesso de vibração pode causar a exsudação, e a falta deste procedimento pode causar a segregação.

Após o adensamento, é realizada a cura do concreto, período em que ele vai adquirindo resistência. Esse procedimento evita a evaporação da água do concreto e garante suas propriedades no estado endurecido. A cura pode ser realizada a partir de diversos métodos, dentre os quais podemos citar a colocação de uma lâmina d'água sobre a superfície concretada, o espalhamento de areia, de serragem ou de sacos e a preservação deles umedecidos, entre outros. Caso a cura não seja realizada adequadamente, o concreto pode apresentar fissuras por retração, resultantes da evaporação da água do concreto e também das reações de hidratação do cimento.

Características do concreto no estado endurecido

Após o fim de pega, o concreto começa a desenvolver sua resistência e a adquirir características no seu estado endurecido, dentre as quais estudaremos a resistência mecânica, a durabilidade e a porosidade.

A resistência de um material é definida pela sua capacidade de resistir à aplicação de tensão sem se romper. A resistência mecânica normalmente é considerada a propriedade mais importante dos concretos, sendo que estes apresentam uma elevada resistência à compressão e uma baixa resistência à tração. A resistência também é um parâmetro ligado intimamente à porosidade do material, pois quanto maior ela é, menor tende a ser a resistência.

De acordo com Neville (2016) a relação a/c e o grau de adensamento do concreto influenciam na resistência deste material. Mehta e Monteiro (2014) acrescentam que as condições de cura e as características e proporções dos materiais também influenciam de forma direta na resistência do concreto. Nós já estudamos que, quanto maior a quantidade de água adicionada a um concreto, menor a sua resistência. Quanto ao grau de adensamento, se o concreto for bem adensado, não apresentará vazios no seu interior. Conforme também já discutimos, os vazios e os poros também diminuem a resistência do concreto.



Refleta

Você observou que várias informações que aprendemos nas seções anteriores estão sendo aplicadas agora? As características dos agregados que estudamos anteriormente também influenciam nas características do concreto no estado fresco e endurecido. Quais são elas?

Durabilidade

Conforme já estudamos, a resistência do concreto é de grande importância, mas a durabilidade deste concreto também é fundamental, ainda mais se levarmos em consideração a norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), que determina que as estruturas devem ter uma vida útil de 50 anos.



Exemplificando

A durabilidade do concreto de cimento Portland é definida como a sua capacidade de resistir à ação de intempéries, ataque químico, abrasão e outras condições de serviço (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Ou seja, é a capacidade que o concreto deve ter de manter suas propriedades e de desempenhar suas funções no decorrer do tempo. Como a norma de desempenho estabelece que a vida útil das estruturas de concreto é de 50 anos, os concretos precisam manter suas características de resistência e durabilidade durante todo o período de vida útil das estruturas. Por esse motivo, quando as estruturas são projetadas, leva-se em consideração a classe de agressividade em que o concreto se encontrará.

Um aspecto importante que deve ser de seu conhecimento, como arquiteto, é que a água é um agente fundamental na formação do concreto, porém, também atua de forma direta na sua deterioração, sendo a principal responsável pelos problemas de durabilidade. Tal fato é associado à água ser um veículo de transporte para íons agressivos que, em concretos porosos, têm facilidade de adentrar e acelerar a degradação destes materiais.

Nesse contexto, a porosidade está intimamente ligada à durabilidade e à resistência, pois quanto mais poroso for o concreto, menor é sua resistência e menos durável ele é. Tal fato ocorre porque os poros facilitam a penetração de fluidos no concreto, que podem acelerar sua deterioração, diminuindo a durabilidade. Dentre os fluidos que causam a deterioração do concreto podemos citar a água pura ou com íons agressivos, o gás carbônico e o oxigênio.

Para evitar concretos com elevados valores de porosidade, um controle rigoroso do traço de concreto deve ser realizado, assim como da quantidade de água na mistura. É necessário evitar a exsudação, pois ela deixa a superfície do concreto mais porosa, além de ser importante realizar o adensamento do concreto de forma adequada, a fim de evitar a formação de vazios no seu interior.

Relembrando que no seu escritório de arquitetura, você está trabalhando na execução de uma obra no litoral que está na fase da concretagem das vigas e lajes. Para tal etapa, você comprou 12 m³ de concreto usinado de uma concreteira e deverá acompanhar o recebimento do material a fim de garantir as condições estabelecidas no projeto. Quando os caminhões betoneira chegarem à obra, existem diversos pontos que devem ser conferidos e, para facilitar esta conferência, você deverá elaborar uma checklist semelhante à da Tabela 2.6.

Tabela 2.6 | Checklist de recebimento do concreto

Data:	Nº do lacre:		Elementos concretados:	
Itens	Sim	Não	Não se aplica	Observações
Traço				
Resistência característica (fck)				
Consistência				
Dmáx				
Relação a/c				
Presença de aditivos/quais				
Volume total				
Preço unitário				
Preço total				
Horário da saída do caminhão da central				

Fonte: elaborada pela autora.

No entanto, além dessa checklist, você precisa verificar se os lacres dos caminhões estão intactos, garantindo que não foi adicionado ou retirado nenhum material dos caminhões durante o trajeto. Também será necessário observar se faz mais de duas horas e meia que o caminhão da concreteira, pois este é o tempo limite para a aplicação do concreto. Após a verificação de todos esses pontos, a empresa responsável pelo controle tecnológico pode realizar o ensaio de *slump test* e também moldar os corpos de prova para posterior análise da resistência à compressão, aos 28 dias de cura.

Após a realização do *slump*, você deverá conferir o valor do abatimento com o apresentado na nota também. Outro ponto importante de ser destacado é que, após os 28 dias, a empresa de controle tecnológico deverá lhe informar o valor do fck e você precisará conferir se atingiu a resistência solicitada à concreteira e que consta no projeto estrutural. Caso o concreto não

tenha atingido a resistência, um engenheiro estrutural deverá ser consultado para verificar a necessidade de reforço estrutural nos elementos concretados.

Vale destacar, ainda, que a checklist precisará ser realizada para cada caminhão que chegar à obra, assim como os ensaios de controle tecnológico.

Avançando na prática

Endurecimento do concreto

Descrição da situação-problema

Imagine que na obra que você, arquiteto, está supervisionando foi finalizado o processo de concretagem das lajes e vigas. Após o tempo de pega, existe uma etapa de fundamental importância que deve ser realizada: a cura. Seu cliente, por ser leigo na área, fez os seguintes questionamentos: qual é a necessidade de molhar a superfície do concreto nas primeiras idades? Qual é a importância deste procedimento? Esta fase não poderia ser eliminada? Como a cura influencia nas propriedades do concreto? Se eliminarmos esta etapa, o que poderá acontecer?

Cabe a você, arquiteto, explicar estes pontos ao seu cliente.

Resolução da situação-problema

Você deverá explicar ao seu cliente que o procedimento de manter a superfície do concreto úmida após o fim de pega (endurecimento) é efetuado para evitar a evaporação da água, garantindo as propriedades do concreto no estado endurecido, como a resistência mecânica, a durabilidade e a porosidade. Este procedimento pode ser realizado a partir de diversos métodos, entre eles podemos citar a colocação de uma lâmina d'água sobre a superfície concretada, o espalhamento de areia, de serragem ou de sacos e a preservação deles umedecidos, entre outros.

É muito importante que você destaque para o seu cliente que não é possível eliminar esta etapa, pois, caso ela não seja realizada, o concreto pode apresentar fissuras por retração, decorrentes da evaporação da água e também das reações de hidratação do cimento. Além disso, a superfície do material tende a ficar mais porosa, pela evaporação da água, diminuindo a durabilidade das estruturas de concreto. Por esse motivo, se eliminarmos a etapa da cura do concreto, ele terá uma vida útil menor, pois uma superfície porosa e fissurada está mais suscetível aos ataques de meios agressivos, que

acelerarão a sua degradação, podendo até gerar outras patologias, como a corrosão da armadura.

Faça valer a pena

1. Em obras que utilizam grande quantidade de concreto se opta por sua produção em uma concreteira e posterior transporte até o local da obra. Adquirir concreto de uma empresa especializada garante maior controle tecnológico e de qualidade do concreto, além de acelerar a execução da obra. É importante, porém, que alguns cuidados sejam tomados no recebimento.

Dentre os procedimentos abaixo, qual é dispensável para conferência do concreto vindo de uma concreteira?

- a) Realizar o teste de abatimento de tronco de cone.
- b) Verificar o horário de saída do caminhão betoneira.
- c) Efetuar o ensaio de resistência à compressão.
- d) Verificar se 1/3 do volume do caminhão betoneira foi deixado vago para possibilitar a mistura do concreto.
- e) Verificar a dimensão máxima do agregado graúdo.

2. Ao se trabalhar com concreto, é muito importante saber a nomenclatura correta de propriedades e fenômenos próprios deste material para que haja boa comunicação entre os responsáveis pela obra e o bom entendimento das normas técnicas.

A partir das definições abaixo, assinale a alternativa que apresenta a ordem correta dos termos correspondentes.

- I) Afloramento de água na superfície concretada.
 - II) Perda de homogeneidade do concreto.
 - III) Esforço exigido para manipular o concreto.
 - IV) Capacidade de se contrapor à aplicação de uma tensão sem se romper.
 - V) Hidratação e endurecimento do concreto.
-
- a) Segregação, desomogeneização, maleabilidade, resiliência e tempo de secagem.
 - b) Exsudação, segregação, trabalhabilidade, resistência e tempo de pega.
 - c) Segregação, exsudação, maleabilidade, resistência e tempo de secagem.
 - d) Segregação, exsudação, trabalhabilidade, resistência e tempo de pega.
 - e) Exsudação, desomogeneização, maleabilidade, resiliência e tempo de pega.

3. A definição do traço do concreto e da relação água/cimento terá forte influência nas características de desempenho de um concreto. A nomenclatura é padronizada e serve de referência para solicitar um concreto à concreteira, bem como para elaborar concreto em uma obra.

Considere que a densidade do cimento no saco é de 1390 kg/m^3 e que uma lata tem volume de 18 litros. Em um concreto com traço em volume 1: 2: 3 com relação a/c 0,5, em que se utilize dois sacos de 50 kg de cimento, aproximadamente, é possível dizer que serão utilizadas:

- a) 4 latas de areia seca.
- b) 8 latas de brita.
- c) 4 latas de areia úmida.
- d) 12 latas de areia seca.
- e) 12 latas de brita.

Agressões ao concreto estrutural

Diálogo aberto

Dando continuidade ao nosso estudo de Sistemas Estruturais I, nesta seção você aprenderá as agressões às quais o concreto pode estar submetido, a exposição do concreto a ambientes agressivos, as classes de agressividade ambiental, a corrosão das armaduras dentro do concreto, que é uma manifestação patológica frequente, e também os modos de ruptura do concreto comprimido e a fissuração.

A partir do estudo desta unidade, você terá todas as informações de que precisa em relação à utilização do concreto para elementos estruturais e nas demais unidades trabalharemos mais especificamente com os elementos estruturais elaborados com concreto armado.

Relembrando da situação em seu escritório de arquitetura, em que você, arquiteto, está executando uma obra residencial no litoral do estado de São Paulo que está na fase de concretagem das vigas e lajes. Na seção anterior, aprendemos sobre os cuidados que devem ser tomados na conferência do caminhão betoneira quando ele chega à obra e tratamos também da importância do controle tecnológico do concreto.

No entanto, antes mesmo de realizar a concretagem das vigas e lajes que estavam atrasadas na obra, você se atentou para o fato de que a residência está localizada em uma região litorânea e marítima e que alguns cuidados especiais devem ser tomados em relação ao concreto, tanto no projeto como na execução da obra. Que cuidados são esses? Quais informações você deverá conferir no projeto e também no concreto que será dosado em central? Em que classe de agressividade esse concreto se enquadrará? Qual é o risco de deterioração da estrutura? Quais são as orientações normativas quanto à relação a/c e à resistência desse concreto para evitar a sua deterioração?

Esses aspectos são de fundamental importância para a durabilidade da obra e, por isso, diversos cuidados deverão ser tomados. Você encontrará todas as informações para solucionar esses questionamentos no item **Não pode faltar**.

Não pode faltar

Nós vimos na seção anterior que o concreto precisa apresentar durabilidade e desempenho satisfatórios para as aplicações às quais se destina. Além

disso, aprendemos que a durabilidade está intimamente ligada à porosidade e à permeabilidade, pois quanto mais poroso o concreto é, mais susceptível está para a ação de agentes agressivos. A boa durabilidade de um concreto depende de diversos fatores, como sua fabricação, que deve ser realizada com materiais não expansivos e capazes de resistir às agressões do meio em que está exposto (NEVILLE, 2016).

Exposição do concreto a ambientes agressivos e classe de agressividade ambiental

Existem diversos ambientes que são considerados agressivos aos concretos. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), a agressividade do meio ambiente está relacionada às diversas ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto. Para fins de projeto, essa mesma norma (ABNT, 2014) determina quatro classes de agressividade ambiental, dispostas em relação ao ambiente ao qual o concreto será exposto, conforme ilustra a Tabela 2.7.

Tabela 2.7 | Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

a) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para os ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura.

b) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estruturas protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

c) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: adaptada de NBR 6118 (ABNT, 2014).

De acordo com a classe de agressividade à qual o concreto estará exposto, determina-se a relação água/cimento máxima, a resistência à compressão mínima e o cobrimento mínimo da armadura, conforme apresentado nas Tabelas 2.8 e 2.9.

Tabela 2.8 | Relação a/c e resistência à compressão de acordo com as classes de agressividade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação a/c	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

a) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

b) CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

c) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014, p. 18).

Tabela 2.9 | Cobrimento mínimo dos elementos estruturais de acordo com a classe de agressividade ambiental

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ^c
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

a) Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

b) Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

c) Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

d) No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014, p. 20).

Estes parâmetros são definidos, pois quase todos os mecanismos de agressão do concreto ocorrem a partir da percolação de fluidos através de seus poros e fissuras.



Exemplificando

Se uma edificação for projetada em concreto armado (CA) para uma área rural, ela terá a classificação como Classe de Agressividade Ambiental I, relação NaHCO_3 , resistência à compressão maior ou igual a 20 MPa e cobrimento mínimo de 20 mm para lajes, de 25 mm para pilares e vigas e de 30 mm para elementos em contato com o solo.

Se a mesma planta for construída em um local litorâneo e marítimo, a situação será totalmente diferente, pois a classe de agressividade ambiental passará a ser III, a relação a/c será menor ou igual a 0,55, a resistência à compressão deverá ser maior ou igual a 30 MPa e cobrimento mínimo de 35 mm para lajes, de 40 mm para pilares e vigas e de 40 mm para elementos em contato com o solo.

Essa diferença de agressividade entre os ambientes é um dos motivos pelos quais um projeto nunca pode ser aplicado em dois lugares diferentes sem um estudo prévio das condições ambientais do local.



Assimile

Você sabe o porquê do estudo das diferentes classes de agressividade? Nós vimos que elas impactam na relação água/cimento dos concretos, na sua resistência e também no cobrimento mínimo da armadura. Já estudamos também em seções anteriores que, quanto maior a relação a/c, maior tende a ser a porosidade do material e menor é a sua resistência mecânica. Nesta seção, estamos aprendendo que, quanto mais poroso o material é, menor tende a ser a sua durabilidade e sua vida útil. Você consegue observar como tudo está interligado? A deterioração do concreto ocorre a partir da percolação de agentes agressivos pelos seus poros. Logo, a NBR 6118 determina que quanto mais agressivo for o meio ambiente em que a estrutura será executada, menor é a sua relação a/c, maior é a sua resistência e também maior é o cobrimento da armadura, buscando, desta forma, concretos com maiores durabilidades.

Existem alguns mecanismos de deterioração do concreto e do aço, e dentre as agressões físico-químicas, as mais importantes, de acordo com Fusco e Onishi (2017), são:

- Erosão por abrasão: é decorrente do desgaste superficial do concreto, causada pelo atrito repetitivo com outros materiais sólidos, principalmente pela passagem de pessoas, animais ou veículos.

- Erosão por cavitação: é acarretada pela implosão de bolhas de vapor de água na superfície da estrutura.
- Fraturamento por congelamento da água: esta degradação se dá porque quando a água congela, seu volume aumenta em média 9%. Caso a porosidade do concreto não seja capaz de acomodar este volume, ele tende a fraturar.

Além das agressões físico-químicas, temos também a influência de agressões químicas que ocorrem pela solubilização dos elementos do concreto por águas ácidas, ação de águas sulfatadas e reatividade dos agregados com álcalis do cimento.

A agressão do concreto por águas ácidas é comum em águas subterâneas e ocorrem a partir da transformação dos compostos de cálcio existentes no concreto em sais de cálcio do ácido agressor. As principais reações de agressão ácida estão relacionadas à carbonatação do concreto, que ocorre com a reação química do dióxido de carbono (CO_2) com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), produzindo carbonato de cálcio (CaCO_3) que, por sua vez, tende a diminuir o pH do concreto, acarretando na despassivação da armadura.

Vale destacar que a carbonatação e a lixiviação são mecanismos diferentes. A lixiviação é responsável por dissolver e carrear os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras. Para prevenir sua ocorrência, recomenda-se restringir a fissuração, de forma a minimizar a infiltração de água e proteger as superfícies expostas com produtos específicos.

Diferentemente das agressões químicas, o ataque por sulfatos age apenas sobre o aluminato tricálcico (C3A) e não sobre todos os componentes do cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Por fim, temos a agressão do concreto por meio da utilização de agregados reativos, conhecida como reação álcali-agregado, que consiste em reações químicas dos álcalis do cimento com contaminações dos agregados, resultando em uma reação física expansiva que acarreta na fissuração do concreto.

Continuando nosso estudo sobre as agressões ao concreto estrutural, daremos um enfoque maior na corrosão da armadura, pois é uma manifestação muito frequente nas obras e que pode até levar a estrutura à ruína.



Saiba mais

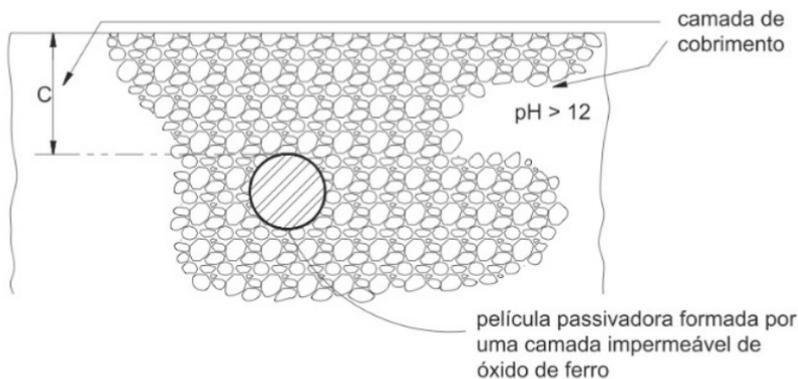
Você quer conhecer mais sobre as agressões ao concreto estrutural? Leia o capítulo 8 do livro:

ONISHI, M.; FUSCO, P. B. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto**. São Paulo: Cengage Learning, 2017. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522127771/cfi/0!/4/2@100:0.00>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

Corrosão das armaduras dentro do concreto

As armaduras, dentro do concreto armado estão protegidas contra a corrosão pelo fenômeno de passivação do aço, decorrente do elevado pH do concreto (>12). De acordo com Fusco e Onishi (2017), em ambientes com elevadas alcalinidades na superfície das barras de aço é formada uma camada impermeável de óxido de ferro, chamada de película passivadora, que impede a dissolução dos íons de ferro, impossibilitando a corrosão da armadura, conforme ilustra a Figura 2.7.

Figura 2.7 | Esquema da película passivadora formada na superfície das barras de concreto



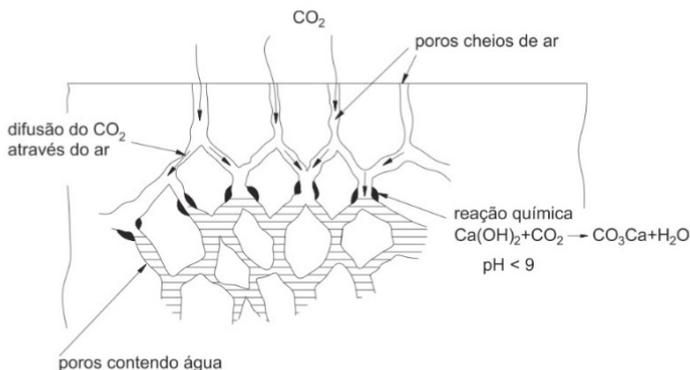
Fonte: Fusco e Onishi (2017, p. 211).

Desta forma, a corrosão da armadura só é possível se a película passivadora for destruída, o que pode acontecer por três causas principais: redução do pH para abaixo de 9 por efeito de carbonatação da camada de cobertura da armadura, presença de íons cloreto ou de poluição atmosférica e lixiviação do concreto na presença de fluxos de água que percolam através de sua massa.

Além disso, para que ocorra a corrosão da armadura, é necessário que haja umidade e oxigênio junto a elas. Estes elementos chegam em contato com a armadura por difusão através da camada de cobertura, acarretando na

corrosão da mesma, caso a película passivadora estiver rompida. É importante que você entenda que, se o concreto estiver totalmente saturado, não haverá corrosão da armadura. Para que haja a corrosão é necessária a presença simultânea de água e oxigênio. A Figura 2.8 exemplifica a carbonatação que ocorre no concreto, na qual o hidróxido de cálcio reage com o dióxido de carbono, na presença de água e ar, liberando carbonato de cálcio e diminuindo o pH do concreto.

Figura 2.8 | Exemplificação da carbonatação do concreto



Fonte: Fusco e Onishi (2017, p. 216).

Quando o pH atinge o patamar de 9, ocorre a dissolução da película passivadora e, então, a armadura está susceptível à corrosão.



Refleta

Você observou como é importante respeitar o cobrimento da armadura, a relação a/c e a classe de resistência do concreto a partir do conhecimento das classes de agressividade ambiental? Tomando os cuidados previstos em norma, evita-se problemas nas estruturas de concreto armado. Além disso, você já parou para pensar que pontos deverão ser conferidos em projetos quando há obras em ambientes agressivos? Será necessário o controle do cobrimento da armadura e da relação a/c do concreto?

Além dos diversos mecanismos de deterioração que estudamos, precisamos levar em conta também que as estruturas estão sujeitas a ações mecânicas, como movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, entre outras. Essas ações externas podem gerar fissurações que aceleram os processos de deterioração do concreto e as reações de carbonatação. Por esse motivo, é importante que você, arquiteto, saiba quais

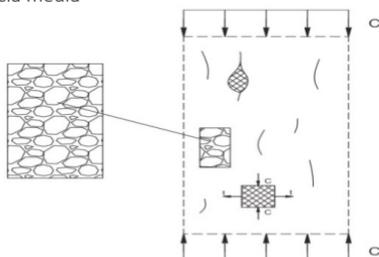
medidas tomar para prevenir problemas relacionados às ações mecânicas. Entre eles, a NBR 6118 (ABNT, 2014) destaca os seguintes cuidados:

- Prever barreiras protetoras em pilares de viadutos, pontes e demais estruturas sujeitas a choques mecânicos;
- Realizar o período de cura do concreto adequadamente para evitar a fissuração por retração;
- Executar juntas de dilatação em estruturas sujeitas a variações volumétricas;
- Executar isolamentos isotérmicos, em casos específicos, para prevenir patologias devidas a variações térmicas.

Modos de ruptura do concreto comprimido e fissuração

Nesta unidade, já estudamos que o concreto é composto por uma mistura de agregados graúdos envoltos de uma argamassa. Os grãos do agregado graúdo são muito mais rígidos do que a argamassa cimentícia, e tal fato acarreta em tensões transversais de tração quando o concreto sofre aplicação de tensão. Dessa forma, nos concretos de resistência até 40 MPa, a ruptura ocorre conforme ilustra a Figura 2.8.

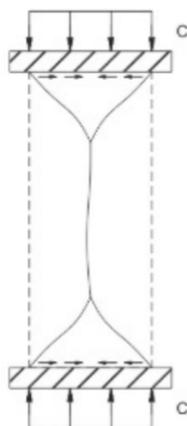
Figura 2.9 | Ruptura de concretos de resistência média



Fonte: Fusco e Onishi (2017, p. 195).

Como podemos observar na Figura 2.8, a aplicação de carga leva à fissuração generalizada, com fissuras orientadas segundo a direção do campo de compressão. É interessante que você saiba que, quando os corpos de prova de concreto são ensaiados à compressão, a ruptura ocorre conforme ilustra a Figura 2.10, porém a causa disso está relacionada à influência do atrito entre o corpo de prova e os pratos metálicos da máquina de ensaio. Sendo assim, a forma de ruptura verdadeira é mostrada na Figura 2.8. Vale ainda destacar que concretos com elevadas resistências (superiores a 50 MPa) podem ter ruptura explosiva, então, deve-se tomar muito cuidado ao rompê-los.

Figura 2.10 | Ruptura falsa por compressão influenciada pelo atrito com os pratos metálicos



Fonte: Fusco e Onishi (2017, p. 195).

No concreto armado convencional, pela baixa resistência à tração do concreto, é comum o aparecimento de fissuras, principalmente nas zonas tracionadas das peças. O maior problema do aparecimento desta manifestação patológica está relacionado à corrosão da armadura, já trabalhada nesta unidade. Mas, além disso, a fissuração causa um dano estético e faz com que as pessoas percam a confiabilidade na edificação.

Desta forma, tem-se que a melhor forma de evitar o aparecimento de manifestações patológicas é a partir da confecção de bons projetos, realizando o controle tecnológico dos materiais utilizados e também contratando mão de obra especializada para realizar os serviços.

Sem medo de errar

Relembrando da situação em que você está acompanhando a execução de uma obra em região litorânea. Como arquiteto responsável pelo projeto e execução desta obra, é necessário saber os cuidados que devem ser tomados quanto ao concreto armado para a execução dos elementos estruturais.

Primeiramente, você deve considerar que, por ser uma região marítima, precisa consultar a NBR 6118 (ABNT, 2014) para verificar a classe de agressividade do ambiente em que esta edificação será construída, o risco de deterioração da estrutura e, por fim, a relação água/cimento, o cobrimento mínimo e a classe de resistência do concreto para evitar a sua deterioração. Para analisarmos esses pontos, vamos observar as Tabelas 2.10, 2.11 e 2.12.

Tabela 2.10 | Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

a) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para os ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais) ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura.

b) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estruturas protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

c) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: adaptada de ABNT NBR 6118 (2014, p. 17).

Tabela 2.11 | Relação a/c e resistência à compressão de acordo com as classes de agressividade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação a/c	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^{a)} O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^{b)} CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^{c)} CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014, p. 18).

Tabela 2.12 | Cobrimento mínimo dos elementos estruturais de acordo com a classe de agressividade ambiental

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ^c
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

a) Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

b) Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

c) Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

d) No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014, p. 20).

A partir da análise das tabelas, podemos observar que a classificação para a execução de concreto em regiões marítimas é de classe de agressividade III, ou seja, forte agressividade. Para evitar problemas de deterioração, a relação a/c do concreto deverá ser menor ou igual a 0,55, a classe de resistência deverá ser maior ou igual a 30 MPa e o cobrimento mínimo de 35 mm para lajes, 40 mm para pilares e vigas e 40 mm para elementos em contato com o solo.

Dessa forma, a fim de evitar a deterioração precoce do concreto, devemos respeitar a relação água/cimento máxima, para não produzirmos concretos muito porosos e de baixa resistência, assim como os cobrimentos mínimos estabelecidos pela NBR 6118, a fim de fornecer uma camada de concreto suficiente para proteger a armadura contra a corrosão.

Nesse contexto, você também deverá conferir no projeto, antes de começar a execução, se o cobrimento das armaduras especificado está correto e se a relação a/c do concreto adquirido respeita o estabelecido em norma. Outro aspecto importante para levar em consideração é que os elementos de concreto também estão sujeitos a ações mecânicas que podem levar à fissuração e acelerar a degradação do concreto. Para tanto, os seguintes cuidados devem ser tomados:

- Realizar o período de cura do concreto adequadamente para evitar a fissuração por retração;

- Executar juntas de dilatação em estruturas sujeitas a variações volumétricas;
- Executar isolamentos isotérmicos, em casos específicos, para prevenir patologias devidas a variações térmicas.

Lembre-se sempre de que concretos porosos são mais susceptíveis à degradação, então, busque sempre executar concretos de qualidade para evitar problemas relacionados com a durabilidade e com manifestações patológicas.

Com isso, você pôde conhecer os componentes do concreto e suas propriedades e compreender suas vantagens e limitações nas estruturas em concreto armado.

Avançando na prática

Construindo em ambientes agressivos

Descrição da situação-problema

Imagine que no seu escritório de arquitetura, você se tornou responsável pela continuação de um projeto de uma casa à beira-mar, pois os antigos responsáveis foram demitidos pelo atraso no cronograma. O escritório anterior havia realizado o projeto e estava iniciando a execução da obra, e o seu cliente quis manter o projeto da maneira como que estava. Analisando o projeto, você verificou que existiam pilares que poderiam ficar parcialmente submersos e em contato direto com a maré. Observando esse ponto, você foi conferir qual era o cobrimento dos pilares, pela elevada agressividade do ambiente que estes estariam inseridos. Então, notou que o cobrimento dos pilares em contato direto com a maré era de 40 mm, pois esse elemento foi considerado uma classe de agressividade III.

Nesse contexto, quais alterações deverão ser feitas no projeto? Quais mecanismos de deterioração podem atacar essa estrutura? Como você deverá explicar a necessidade de se reconsiderar o projeto, já que nessa adequação mais recursos financeiros serão necessários?

Resolução da situação-problema

Primeiramente, você já precisará considerar que a classe de agressividade ambiental deverá ser alterada. A classe correta é a IV, ou seja, agressividade muito forte e risco elevado de deterioração da estrutura. Com isso, os pilares em contato direto com respingos de maré deverão ter cobrimento de 50 mm.

Os mecanismos de deterioração mais prováveis de ocorrerem nesse caso são a erosão do concreto por cavitação, causada pela implosão de bolhas de vapor de água na superfície do concreto, a erosão por abrasão, causada pelo atrito entre a água com partes de areia e os elementos de concreto, e a lixiviação e conseqüente desp passivação da armadura. Para combater esses mecanismos e atender à norma, a relação água/cimento deverá ser alterada para igual ou inferior a 0,45, e a classe do concreto deverá ser igual ou superior a C40. Além disso, conforme já abordamos, o cobrimento nominal da armadura deverá ser de 50mm.

Você deverá explicar para seu cliente que estas alterações são necessárias, pois assim a estrutura estará protegida contra os mecanismos de agressão do concreto e terá a durabilidade desejada, evitando prejuízos financeiros com reparos não previstos e até mesmo a condenação da edificação.

Faça valer a pena

1. A condição ambiental nos arredores de uma edificação pode influenciar na durabilidade desta. Sendo assim, devem ser tomados alguns cuidados, obedecendo as normas na seleção da relação a/c e da classe do concreto, dependendo da localidade da construção.

Considerando uma reforma em um edifício no qual será construído um dormitório no seu interior, que receberá revestimento argamassado e pintura em todos os elementos estruturais. Sabendo que esse edifício foi construído em uma cidade litorânea, qual deve ser a relação a/c e a classe do concreto para os elementos de concreto armado? Assinale a alternativa correta:

- a) $A/c \leq 0,60$; classe $\geq C25$.
- b) $A/c \leq 0,55$; classe $\geq C30$.
- c) $A/c \leq 0,50$; classe $\geq C35$.
- d) $A/c \leq 0,45$; classe $\geq C40$.
- e) $A/c \leq 0,55$; classe $\geq C25$.

2. O tipo de ambiente também vai influenciar no projeto da armadura do concreto, bem como do elemento estrutural como um todo. Quanto mais agressivo for um meio, maior a capacidade que ele tem de despassar a armadura. Para combater esse efeito, deve-se considerar um aumento no cobrimento nominal.

Em uma construção rural na qual se deseja utilizar concreto armado para suportar uma tubulação que leva esgoto da casa para uma fossa, qual deverá ser o cobrimento

nominal da armadura para as vigas e pilares, respectivamente? Assinale a alternativa correta, considerando que os pilares terão contato direto com o solo.

- a) 25 mm e 30 mm.
- b) 30 mm para ambos.
- c) 35 mm para ambos.
- d) 55 mm para ambos.
- e) 50 mm para ambos.

3. O concreto pode sofrer diversas agressões que causam a sua deterioração, assim como o aço, no caso do concreto armado. Essas deteriorações podem ser de origem físico-química quando elementos químicos reagem fisicamente com a estrutura, ou de origem química quando esses elementos reagem quimicamente com os componentes do concreto.

Sobre os mecanismos de deterioração do concreto, avalie as afirmações abaixo.

- I) A erosão por cavitação é o desgaste superficial do concreto causado pelo atrito repetitivo com materiais sólidos.
- II) Em águas subterrâneas, os compostos de cálcio existentes no concreto podem se transformar em sais do ácido agressor.
- III) O fraturamento por congelamento da água ocorre pela diminuição do volume da água quando congelada, fazendo com que haja vazios no interior do concreto, causando sua fratura.
- IV) Para prevenir a lixiviação, deve-se restringir a fissuração, evitando infiltração de água.
- V) A erosão por abrasão em uma passarela pode ser causada pelo próprio trânsito de pedestres.

Estão corretas as afirmações:

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

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 6118**: projetos de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7251**: agregado em estado solto: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 9776**: agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 12655**: concreto de cimento Portland: preparo, controle, recebimento e aceitação: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 16607**: cimento Portland: determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 16697**: cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. V. 1, 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. **Agregados para a construção civil**. São Paulo: IBRACON, 2007.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto. Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ONISHI, M.; FUSCO, P. B. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto**. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

PINHEIRO, A. C. B.; CRIVELARO, M. **Materiais de Construção**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2016.

Unidade 3

Elementos estruturais horizontais em concreto

Convite ao estudo

Caro aluno,

Seja bem-vindo à terceira unidade de ensino da disciplina de Sistemas Estruturais I. Aqui estudaremos os elementos estruturais horizontais em concreto armado, aprendendo sobre as lajes e vigas. Esses elementos estruturais de concreto armado estão presentes na maioria das edificações, não é mesmo? Pois, conforme estudamos na unidade anterior, o concreto armado é o material mais utilizado na confecção de sistemas estruturais nas construções atualmente.

Dentre os assuntos que estudaremos nesta unidade, podemos destacar as cargas atuantes nas lajes e os tipos de lajes de concreto existentes, exemplos da distribuição de cargas e da determinação do carregamento em lajes e também a espessura mínima e a altura útil das lajes. Além disso, aprenderemos sobre a retração do concreto, a verificação de flechas e de fissuras em lajes e o detalhamento das armaduras nesses elementos estruturais. Na sequência, trataremos do comportamento de vigas de concreto armado, das aplicações e dos estados limites de utilização destes elementos, além do surgimento de fissuras, pré-dimensionamento e detalhamento.

Desta forma, ao final desta unidade você conhecerá o comportamento estrutural e as características de lajes e vigas de concreto armado, para que obtenha sucesso no desenvolvimento da modelagem dos projetos arquitetônicos.

É importante que você, arquiteto, saiba que a concepção da estrutura é a etapa anterior ao seu dimensionamento, em que deve-se ter em mente as limitações dos elementos estruturais e também os materiais e as tecnologias disponíveis no mercado. Tendo este conhecimento, você estará apto a repassar aos seus clientes melhores alternativas de projeto, sempre atualizado com novas tecnologias.

Imagine que seu escritório de arquitetura, após terminar a execução da residência no litoral, foi contratado para realizar um projeto residencial de um amigo do seu antigo cliente, pois seu antigo cliente ficou muito feliz com o resultado do seu trabalho e o recomendou para um amigo. Seu novo cliente quer construir uma residência térrea de em torno 180 m^2 , com uma suíte e

dois quartos, dois banheiros, sala de estar e de jantar, cozinha e lavanderia. Nas suas primeiras reuniões com o seu novo cliente, o layout dos ambientes foi estabelecido e foi acordado que o sistema estrutural seria em concreto armado.

Para a realização deste projeto e também para auxiliá-lo nos demais projetos que estão sendo desenvolvidos no seu escritório, você contratou um estagiário de Arquitetura e Urbanismo. A primeira tarefa passada a ele foi para que detalhasse o projeto do seu novo cliente utilizando o software Autocad. Seu estagiário, mesmo sabendo que a responsabilidade dele era apenas a parte da representação gráfica, questionou-o sobre alguns aspectos da concepção das lajes e vigas, tais como: quais cargas atuam nas lajes? Quais são os tipos de lajes de concreto existentes no mercado? Como é realizada a verificação das flechas em lajes? Como as vigas se comportam mediante a aplicação de carga? Para que servem as armaduras dentro de uma viga de concreto armado? Como é feito o pré-dimensionamento deste elemento estrutural?

É de sua responsabilidade orientá-lo sobre estes assuntos, está preparado? Lembre-se de que, em decorrência da rápida evolução tecnológica, você deverá sempre estar atento às novas tecnologias que aparecem no mercado. Neste contexto, é de suma importância que você conheça os tipos de laje de concreto e suas vantagens e desvantagens. Também é fundamental que saiba o que são flechas, como evitá-las e quais procedimentos devem ser realizados para a sua verificação.

Bons estudos!

Especificações das lajes

Diálogo aberto

Caro aluno,

Seja bem-vindo a mais uma unidade de ensino. Nessa seção estudaremos as especificações das lajes, aprendendo mais sobre suas cargas atuantes e os tipos de lajes de concreto atualmente existentes no mercado. Veremos também exemplos da distribuição de cargas e como é realizada a determinação do carregamento em lajes, além do estudo sobre as definições de espessura mínima e de altura útil de lajes e como estimar seus valores.

Lembre-se de que no seu escritório de arquitetura, você acabou de assinar o contrato com o seu novo cliente, que quer construir uma residência térrea com área útil em torno 180 m² no litoral. Nas suas primeiras reuniões com o ele, o layout da planta e a distribuição dos ambientes foram estabelecidos. Você explicou os modelos de sistemas estruturais e foi acordado que seria em concreto armado. Mas, além de escolher o sistema estrutural, também é necessário definir o tipo de laje que será utilizado no projeto, pois isso impactará no dimensionamento dos demais elementos estruturais.

Neste contexto, no momento da concepção estrutural do novo projeto que você, arquiteto, iniciou no seu escritório, será necessário indicar um tipo de laje para ser utilizada na edificação. Para tanto, você precisará realizar uma busca das lajes existentes no mercado, visando sempre a solução que apresenta melhor custo benefício para o seu cliente e que também preencha os requisitos de qualidade desejados.

Sua tarefa é realizar uma lista das lajes existentes e mais usuais no mercado atual e apontar suas características, aplicações recomendadas, vantagens e desvantagens, para que, ao final desta lista, seja possível dar a sua opinião profissional ao cliente, indicando o tipo de laje que tem o melhor custo benefício e é mais indicada para sua residência, tendo argumentos para justificar esta escolha e convencer o seu cliente.

Então, vamos lá? Quais são os tipos de lajes existentes e mais utilizadas no mercado? Quais são suas características, aplicações, vantagens e desvantagens? Existe uma laje ideal para todas as situações? Lembre-se de que cada laje terá suas características e limitações. Por esse motivo, você precisa conhecer cada tipo em sua totalidade e estar sempre atento às novidades que surgem no mercado. Desta forma, estará apto para indicar a melhor solução para os seus clientes, de acordo com as particularidades de cada projeto.

Você encontrará as respostas destas perguntas no item **Não pode faltar**.

Bons estudos!

Não pode faltar

Os projetos horizontais em concreto são muito versáteis, pois o concreto é adaptável às mais diversas formas geométricas. Porém, para garantir a qualidade de um sistema estrutural, não basta apenas saber calcular estes elementos estruturais. Um bom projeto é aquele que prevê corretamente a avaliação das cargas atuantes nos elementos estruturais (PILOTTO NETO, 2018).

Cargas atuantes nas lajes

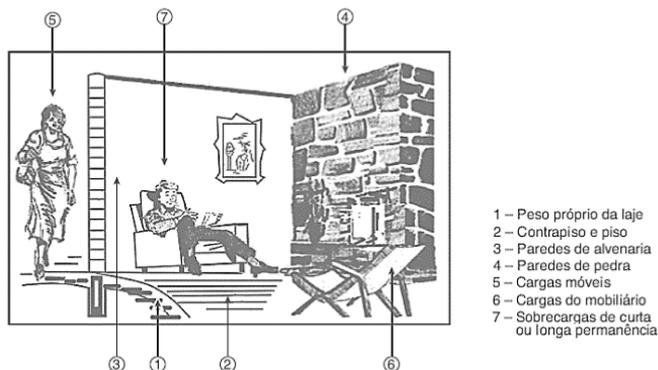
Precisamos relembrar que existem cargas permanentes e acidentais e é importante que você, arquiteto, saiba que, para iniciar um projeto, deverá determinar qual será o sistema construtivo usado e também conhecer qual será a utilização da edificação, pois, avaliando estes aspectos, pode-se determinar as cargas permanentes e acidentais que atuarão sobre a estrutura.



Assimile

As cargas permanentes são constituídas pelos pesos próprios da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes executadas nela. As cargas acidentais, por sua vez, estão relacionadas a todas as cargas que podem atuar sobre a estrutura das edificações em função do seu uso, como pessoas, móveis, materiais diversos, veículos, entre outros. A Figura 3.1 exemplifica as cargas atuantes em lajes.

Figura 3.1 | Exemplo das cargas atuantes nas lajes



Fonte: Pilotto Neto (2018, [s.p.]).



Pesquise mais

Pesquise mais sobre as cargas para o cálculo de estruturas de edificações na NBR 6120 disponível na biblioteca virtual, norma que trabalha tanto as cargas permanentes, quanto as cargas acidentais:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: 2000.

De acordo com Pilotto Neto (2018), em uma classificação geral podemos afirmar que as cargas que atuam nas edificações podem ser:

- Cargas fixas e móveis;
- Cargas permanentes e acidentais;
- Cargas concentradas e distribuídas;
- Cargas distribuídas em todo o vão ou em trecho do vão;
- Cargas de curta duração e de longa duração;
- Cargas estáticas e dinâmicas;
- Cargas de choque e de vibração ondulatória;
- Cargas de vibração horizontal ou vertical e de cargas rotativas.

Essas são as principais classificações para os tipos de cargas, mas poderíamos ainda continuar esta lista, pois existe uma vasta gama de cargas atuantes nas estruturas. Para cada situação de projeto, você deverá estudar e conhecer as cargas que atuarão na edificação, a fim de realizar a concepção correta do projeto. Além disso, o tipo de laje escolhido para um determinado projeto também influenciará nas cargas atuantes, porque cada laje tem uma configuração que influencia de forma direta no seu peso.

Tipos de lajes de concreto

Na prática, existem diversos tipos de lajes, que podem ser classificados quanto à composição e quanto ao tipo de apoio.

Classificação quanto à composição:

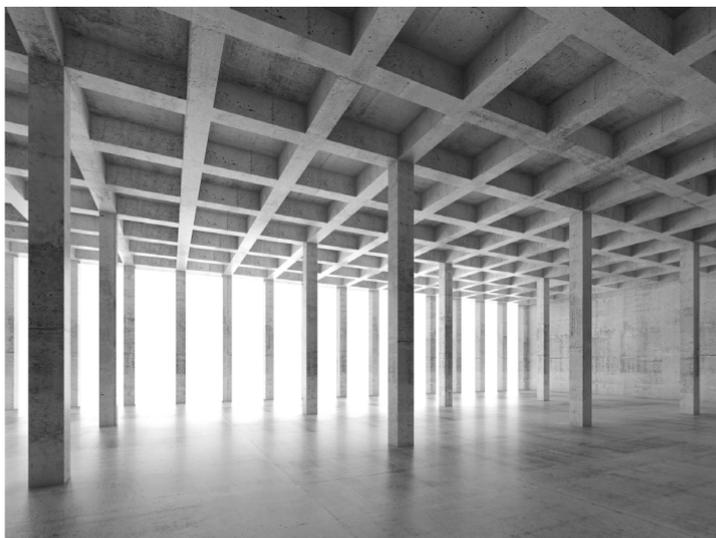
Quanto à composição, as lajes podem ser classificadas em lajes maciças, nervuradas e pré-moldadas.

A **laje maciça** é aquela que tem todo seu volume composto por concreto armado. Essas lajes normalmente apresentam alturas entre 7 e 15 cm e podem ser utilizadas para os mais diversos tipos de construção. De modo geral, não

são aplicadas em construções residenciais e outras construções de pequeno porte, pois nesses tipos, as lajes nervuradas pré-fabricadas apresentam vantagens nos aspectos de custo e facilidade de construção. Além disso, nos últimos anos esse tipo de laje vem caindo em desuso, principalmente pelo seu elevado peso. Sua principal vantagem é a adaptabilidade às mais diversas formas geométricas, por ser moldada in loco.

A **laje nervurada**, por sua vez, vem sendo muito empregada nas obras atualmente. Por possuir nervuras, conforme ilustra a Figura 3.2, o concreto é aplicado apenas nos locais necessários estruturalmente, diminuindo de forma significativa o peso da laje. Esse tipo é indicado quando há necessidade de vencer grandes vãos ou de resistir a altas ações verticais. Outro ponto positivo é que, ao vencer grandes vãos, a quantidade de pilares e vigas necessários também diminui.

Figura 3.2 | Exemplo de laje nervurada



Fonte: iStock.

As vantagens desse tipo de laje, quando comparada às lajes de concreto, estão associadas ao menor peso próprio, menor consumo de concreto, redução das formas, maior capacidade de vencer vãos e maiores planos lisos (sem vigas). Entre as desvantagens destas lajes, tem-se o aumento da altura total de uma edificação e aumento das dificuldades de compatibilização com outros subsistemas, como instalações e vedações, além de exigirem maiores cuidados durante a concretagem para evitar os vazios nas nervuras. Vale destacar que a maior aplicação dessas lajes é em edifícios verticais, pois reduzem substancialmente a carga repassada à fundação.

Existem os mais diversos tipos de lajes nervuradas, entre as principais podemos citar a uni e a bidirecional, com vigota protendida e treliçada e lajes com cubetas.



Refleta

Você consegue imaginar por que as lajes nervuradas estão sendo tão utilizadas nas obras atualmente? Já aprendemos que a estrutura ou o sistema estrutural é o caminho das forças nas edificações, não é mesmo? Pensando dessa forma, o que acontece quando se diminui o peso das lajes utilizando concreto somente nos locais onde é necessário, estruturalmente?

Por fim, as **lajes pré-moldadas ou pré-fabricadas** são aquelas produzidas em escala industrial no canteiro ou em uma fábrica. Estas lajes podem ser de concreto armado ou protendido. As lajes pré-moldadas são constituídas por nervuras, chamadas de vigotas ou trilhos, concreto, armadura, blocos de enchimento e capeamento superior com concreto. A Figura 3.3 ilustra uma laje pré-fabricada do tipo treliçada, aguardando o recebimento de uma camada de concreto.

Figura 3.3 | Exemplo de uma laje pré-moldada do tipo treliçada



Fonte: <https://www.escolaengenharia.com.br/laje-pre-moldada/>. Acesso em: 30 jan. 2019.

As lajes pré-fabricadas, quando comparadas às lajes de concreto, apresentam como vantagem a possibilidade de vencer grandes vãos com menor peso próprio e a redução da mão de obra necessária durante a sua execução. Como desvantagem, esse tipo normalmente não é projetado para receber sobrecargas não previstas no projeto, tais como paredes ou outros elementos arquitetônicos, portanto, não permite grande liberdade de layout. Caso ocorram sobrecargas, há grande possibilidade de fissuras, trincas e outros danos estruturais. Essa laje pode ser utilizada tanto em pequenas construções residenciais, com vãos de até 5 m, como também em grandes construções como hospitais, shopping centers e escolas, com vãos de até 12 m de comprimento.

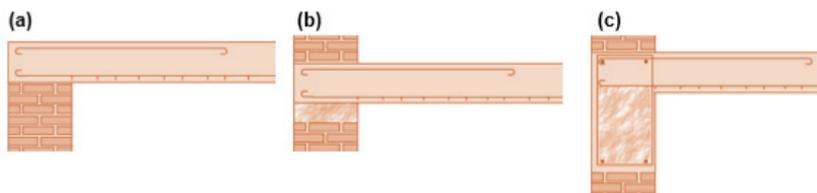
Existem também diversos tipos de lajes pré-moldadas, entre as principais temos as lajes treliçadas com lajotas e com poliestireno expandido (EPS), lajes com painéis treliçados, pré-lajes e lajes Pi.

Classificação quanto ao tipo de apoio:

Quanto ao tipo de apoio, as lajes podem ser classificadas em laje simplesmente apoiada, parcialmente engastada ou engastada.

Temos uma **laje simplesmente apoiada** quando ela está apoiada sobre a alvenaria, conforme ilustra a Figura 3.4 (a). A **laje parcialmente engastada ou semiengastada** está apresentada na Figura 3.4 (b) e, por fim, a **laje engastada** está ilustrada na Figura 3.4 (c).

Figura 3.4 | Laje simplesmente apoiada (a), parcialmente engastada (b) e engastada (c)



Fonte: adaptada de Pilotto Neto (2018).

Quanto ao mecanismo de apoio, a melhor opção deverá ser estudada dependendo das condições do projeto estrutural, pois o tipo de apoio escolhido influencia de forma direta nas deformações da laje e também na necessidade de armadura. Para tanto, um engenheiro estrutural deverá analisar cada caso.

Tão importante quanto saber os tipos de lajes existentes no mercado, suas vantagens e desvantagens é conhecer como ocorre a distribuição das cargas nas lajes e como é feita a determinação do seu carregamento.

Exemplo da distribuição de cargas em lajes e determinação do carregamento em lajes

Primeiramente, é importante que você, arquiteto, saiba que na maioria das situações a carga das paredes não é computada no peso das lajes, pois as paredes normalmente estão apoiadas sobre as vigas. Tal fato é determinado na concepção estrutural e é importante estar ciente de que, caso as paredes não estejam apoiadas sobre vigas, sua carga deve ser prevista no carregamento da laje.

Se você, em um projeto, prever que algumas das paredes da edificação estejam apoiadas diretamente sobre as lajes, poderá utilizar as cargas das paredes indicadas na Tabela 3.1, multiplicando esta carga pelo pé direito das paredes.

Tabela 3.1 | Carga das paredes

Parede	Espessura (cm)	Tijolo maciço (kgf/m ²)	Tijolo furado (kgf/m ²)	Bloco de cimento (kgf/m ²)
De espelho	10	160	120	120
Meio Tijolo	15	240	180	180
Um tijolo	25	400	300	300

Fonte: Pilotto Neto (2018, [s.p.]).

Além das cargas das paredes, nos pesos próprios da estrutura é necessário determinar a carga das lajes. Para tal, você pode utilizar os valores disponíveis na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 | Carga das lajes

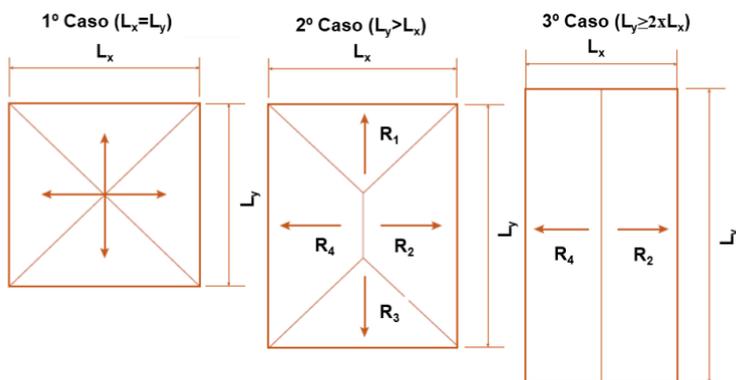
Laje Maciça				Laje Pré-Fabricada		
H (cm)	P. p. (kg/m ²)	H (cm)	P. p. (kg/m ²)	Altura acabada (cm)	P.P Enchimento	
					Cerâmica (kg/m ²)	EPS (kg/m ²)
7	175	13	325			
8	200	14	350	13	210	180
9	225	15	375	15	235	185
10	250	16	400	17	255	195
11	275	17	425	21	300	220
12	300	18	450	25	335	245

Legenda: H: altura da laje; Pp: peso próprio.

Fonte: Pilotto Neto (2018, [s.p.]).

Quanto à distribuição das cargas nas lajes, podemos ter 3 situações, conforme ilustra a Figura 3.5, em que L_x é o menor vão e L_y , o maior. Para exemplificar, vamos considerar que nas lajes dos três casos, está agindo uma carga uniformemente distribuída W , resultante da soma das cargas permanentes e acidentais.

Figura 3.5 | Exemplos de distribuição das cargas nas lajes



Fonte: adaptada de Pilotto Neto (2018).



Assimile

Nós já estudamos que as cargas das lajes são transmitidas para as vigas, não é mesmo? Então, o que determinaremos na sequência serão as cargas resultantes das lajes que atuarão nas vigas que estão em cada uma das extremidades das lajes, nomeadas na Figura 3.5 como R_1, R_2, R_3, R_4 .

No 1º caso temos uma laje quadrada ($L_x=L_y$), em que todas as vigas receberão a mesma carga ($R_1=R_2=R_3=R_4$), podendo ser calculada de acordo com a equação (PILOTTO NETO, 2018)

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 0,25 \times W \times L_x \times L_y .$$

No 2º caso temos uma laje retangular com $L_y > L_x$. Logo, para este tipo de laje as resultantes não são todas iguais, mas, como podemos observar na Figura 3.5, as cargas resultantes R_1 e R_3 são iguais, e as cargas resultantes R_2 e R_4 também são iguais. Para calcularmos as cargas neste caso, precisaremos aplicar as seguintes equações (PILOTTO NETO, 2018):

$$R_1 = R_3 = 0,25 \times W \times L_x^2$$

$$R_2 = R_4 = \frac{1}{2} \left[\frac{L_y}{L_x} - 0,5 \right] \times W \times L_x^2$$

Por fim, no 3º caso temos uma laje retangular, na qual $L_y \geq 2 \times L_x$. Neste caso, as cargas R_1 e R_3 são iguais a zero, e as cargas R_2 e R_4 são determinadas a partir da equação abaixo (PILOTTO NETO, 2018):

$$R_2 = R_4 = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{L_y}{L_x} - 0,5 \right) \times W \times L_x \times L_y \right]$$

Determinadas as cargas das lajes, para definir a carga uniformemente distribuída nas vigas, basta dividir a carga (R) pelo comprimento da viga (L).



Exemplificando

Imagine que você, arquiteto, precisa determinar as cargas das vigas de uma laje com dimensões de 6 x 5 m, sabendo que sobre a laje está atuando um total de cargas permanentes e acidentais de $800 \text{ kgf} / \text{m}^2$. Primeiramente, você precisa definir em que caso de distribuição de cargas a situação se encaixa. Como L_x é o menor vão e L_y é o maior, temos:

$L_x = 5 \text{ metros}$ e $L_y = 6 \text{ metros}$, classificando esta laje no 2º caso.

Na sequência, podemos calcular as cargas utilizando as equações:

$$R_1 = R_3 = 0,25 \times W \times L_x^2 = 0,25 \times 800 \times 5^2 = 5000 \text{ kgf}$$

$$R_2 = R_4 = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{L_y}{L_x} - 0,5 \right) \times W \times L_x^2 \right] = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{6}{5} - 0,5 \right) \times 800 \times 5^2 \right] = 7000 \text{ kgf}$$

Logo, para as vigas que recebem a carga de R_1 e R_3 , a carga distribuída será de: $5000 / 5 = 1000 \text{ kgf} / \text{m}$

E as vigas que recebem as cargas de R_2 e R_4 terão a carga distribuída de: $7000 / 6 = 1166,66 \text{ kgf} / \text{m}$

Vale destacar que as lajes podem ser armadas em uma ou duas direções, dependendo dos valores de L_x e L_y . Se $\frac{L_y}{L_x} \leq 2$, a laje deve ser armada em duas direções, caso $\frac{L_y}{L_x} > 2$, a laje deve ser armada em uma única direção.

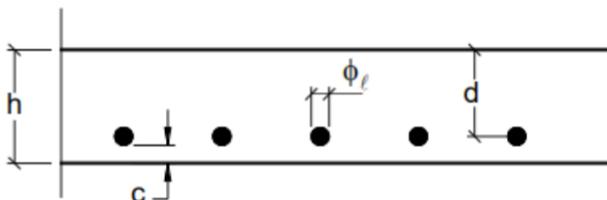
Espessura mínima e altura útil

Deve-se respeitar também a espessura mínima de uma laje. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), o menor valor da espessura de uma laje depende de condições de projeto e do seu uso. A espessura mínima para lajes que não estão em balanço deve ser de 7 cm para cobertura e 8 cm para lajes de piso. Se a laje estiver em balanço, a espessura mínima passa a ser de 10 cm. Se ela suportar veículos, a espessura mínima deve ser de 10 cm, caso o peso total seja menor ou igual a 30 kN, e de 12 cm se for maior. No caso de laje com protensão apoiada em viga, a espessura mínima deve ser de 15 cm, mas também deve-se respeitar o mínimo valor de $l/42$ para lajes de piso biapoiadas e $l/50$ para

lajes de piso contínuas. Para as lisas, a espessura deve ser superior a 16 cm e para lajes cogumelo fora do capitel, a espessura deve ser superior a 14 cm.

Para o cálculo das lajes é necessário estimar inicialmente sua altura. Para tal, deve-se primeiramente calcular sua altura útil, determinada pela distância entre o centro de gravidade da armadura e a face comprimida da seção, conforme ilustra a Figura 3.6.

Figura 3.6 | Ilustração da altura útil “D” em uma laje



Fonte: Bastos (2015, p. 12).

Para estimar a altura útil, pode-se utilizar a equação $d \cong (2,5 - 0,1n)l'$, em que d é a altura útil da laje, n é o número de bordas engastadas e l' é a dimensão da laje assumida, de forma que $l \leq \begin{cases} l_x \\ 0,7 \times l_x \end{cases}$, com $l_x \leq l_y$.

Conhecendo o valor do cobrimento (c) e estimando o valor do diâmetro Φ da barra longitudinal, pode-se estimar a altura da laje (h) pela equação $h = d + \phi / 2 + c$.

De acordo com Ching, Onouye e Zuberbuhler (2015), pode-se utilizar a seguinte regra prática para estimar a espessura da laje:

Vão/28 para lajes de piso; no mínimo 10 cm;

Vão/35 para lajes de cobertura.

Assim, com as informações estudadas neste capítulo, você terá totais condições de identificar e selecionar a laje mais adequada para cada situação, bem como calcular os esforços que esta laje transmitirá para os demais elementos estruturais.

Não pode faltar

Lembre-se de que seu escritório de arquitetura acabou de assinar o contrato com um novo cliente que quer construir uma residência térrea em torno 180 m² no litoral. Após algumas reuniões e definições, você foi designado para realizar uma busca dos tipos de lajes existentes no mercado, apontando suas vantagens e desvantagens, para que após a busca, você, arquiteto, pudesse recomendar ao seu cliente a laje mais indicada para a residência.

Aprendemos nesta unidade que existem diversos tipos e classificação de lajes, não é mesmo? Quanto à composição, as lajes podem ser classificadas em maciças, nervuradas e pré-moldadas, e quanto aos tipos de apoio, elas podem ser classificadas em laje simplesmente apoiada, parcialmente engastada ou engastada.

As **lajes maciças** são aquelas que têm todo seu volume composto por concreto armado, que normalmente apresentam alturas entre 7 a 15 cm e que podem ser utilizadas para os mais diversos tipos de construção.

- Vantagens: como são moldadas in loco, podem se adaptar aos mais diferentes formatos.
- Desvantagens: como são compostas inteiramente por concreto armado, possuem um elevado peso, o que acaba gerando mais carga nas fundações.
- Aplicação: de modo geral, não são aplicadas em construções residenciais e em outras construções de pequeno porte, pois nesses tipos as lajes nervuradas pré-fabricadas apresentam vantagens nos aspectos de custo e facilidade de construção.

As **lajes nervuradas**, como o próprio nome já diz, possuem nervuras.

- Vantagens: quando comparada à laje de concreto maciça, apresenta um menor peso próprio, menor consumo de concreto e há também uma redução das formas utilizadas. Além disso, as lajes nervuradas possuem maior capacidade de vencer vãos em maiores planos lisos (sem vigas).
- Desvantagens: aumento da altura total de uma edificação, aumento das dificuldades de compatibilização com outros subsistemas, como instalações e vedações, e também estas lajes exigem maiores cuidados durante a concretagem para evitar os vazios nas nervuras.
- Aplicação: são lajes que vem sendo muito empregadas nas obras atualmente, pois o concreto é empregado apenas nos locais necessários estruturalmente, diminuindo de forma significativa o peso desta laje. Esse tipo é indicado quando há necessidade de vencer grandes vãos ou de resistir a altas ações verticais, sendo que, ao vencer grandes vãos, a quantidade de pilares e vigas necessários também diminui. Vale destacar que a maior aplicação destas lajes é em edifícios verticais, pois reduz substancialmente a carga repassada à fundação.

As **lajes pré-moldadas ou pré-fabricadas** são aquelas produzidas em escala industrial no canteiro de uma fábrica e que podem ser de concreto armado ou concreto protendido. As lajes pré-moldadas também são

constituídas por nervuras, chamadas de vigotas ou trilhos, concreto, armadura, blocos de enchimento e capeamento superior com concreto.

- Vantagens: possibilidade de vencer grandes vãos com menor peso próprio e redução da mão de obra necessária durante a sua execução.
- Desvantagens: normalmente não é projetada para receber sobrecargas não previstas no projeto, tais como paredes ou outros elementos arquitetônicos, portanto, não permite grande liberdade de layout. Caso ocorram sobrecargas, há grande possibilidade de fissuras, trincas e outros danos estruturais.
- Aplicação: pode ser utilizada tanto em pequenas construções residenciais, com vãos de até 5 m, como também em grandes construções como hospitais, shopping centers, escolas, com vãos de até 12 m de comprimento.

Quanto ao **mecanismo de apoio**, a melhor opção deverá ser estudada dependendo das condições do projeto estrutural, pois o tipo de apoio escolhido influencia de forma direta nas deformações da laje e também na necessidade de armadura.

Tendo conhecimento dos tipos de lajes e de suas vantagens e desvantagens, você, arquiteto, poderá dar sua opinião profissional ao seu cliente, dizendo que normalmente em residências e sobrados lajes pré-moldadas são utilizadas. Já em edifícios verticais, lajes nervuradas são mais aplicadas.

Avançando na prática

Transmissão de cargas das lajes para as vigas

Descrição da situação-problema

Como você sabe, as estruturas são o caminho das forças. As cargas suportadas por uma laje e o próprio peso da laje serão transferidos para as vigas que a suportam e, posteriormente, para os demais elementos estruturais até o solo.

Suponha que no seu escritório de arquitetura, você está projetando um escritório para um novo cliente. A planta do local é retangular, de 8 x 12 m e, no momento da escolha do tipo de laje, você selecionou o tipo pré-moldada com enchimento cerâmico e altura de 13 cm. Para dar continuidade à concepção estrutural, é necessário determinar as cargas da laje que serão repassadas às vigas baldrame. Com estas informações, qual será o valor das cargas que chegarão nas vigas? Lembre-se de que as cargas acidentais estão previstas na NBR 6120. Se necessário, utilize $9,8m/s^2$ como aceleração gravitacional.

Resolução da situação-problema

O primeiro passo para se resolver o problema é calcular o carregamento da laje, determinando as cargas permanentes e acidentais. As acidentais são previstas na NBR 6120 (ABNT, 2000). Quando buscamos nesta norma as cargas acidentais de escritórios, temos um valor de $2\text{kN}/\text{m}^2$ ou de $203,94\text{kgf}/\text{m}^2$. Para determinarmos a carga da própria laje, devemos consultar a Tabela 3.2, na qual podemos observar que a carga de lajes pré-moldadas com enchimento de tijolos cerâmicas e altura de 13 cm é de $210\text{kgf}/\text{m}^2$.

Desta forma, se somarmos as cargas acidentais com as permanentes, teremos a carga total que atuará na laje, que deverá ser considerada no dimensionamento.

$$W = 203,94 + 210 = 413,94\text{kgf}/\text{m}^2.$$

Agora, analisando o comprimento e a largura da laje, temos que se trata do caso 2, em que $L_y > L_x$ e $L_y < 2 \times L_x$, logo, podemos obter os valores de R1 e R3 por:

$$R_1 = R_3 = 0,25 \times W \times L_x^2 = 0,25 \times 413,94 \times 64 = 6.623,04\text{kgf}$$

E obter os valores de R2 e R4 pela equação:

$$R_2 = R_4 = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{L_y}{L_x} - 0,5 \right) \times W \times L_x^2 \right] = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{12}{8} - 0,5 \right) \times 413,94 \times 64 \right] = 13.246,08\text{kgf}.$$

Essas são as cargas totais que atuarão nas vigas. Para obtermos a carga distribuída, basta dividirmos as cargas pelos seus respectivos vãos. Como R1 e R3 estão relacionadas com o menor vão (L_x), a carga distribuída destas vigas será de $6.623,04/8 = 827,88\text{kgf}/\text{m}$.

As vigas de R2 e R4, por sua vez, são relacionadas ao maior vão (L_y), desta forma, a carga distribuída será de $13.246,08/12 = 1103,84\text{kgf}/\text{m}$.

Faça valer a pena

1. Por serem um elemento estrutural tão importante dentro da construção civil, ao longo dos anos se desenvolveu uma extensa base teórica sobre o dimensionamento das lajes. Além disso, existem normas que determinam as espessuras mínimas de uma laje, levando em consideração o seu uso e sua forma construtiva.

Sobre a espessura mínima das lajes, leia as afirmativas e assinale a alternativa **correta**.

- Lajes em balanço devem ter espessura mínima de 8 cm.
- Lajes que suportam veículos pequenos têm espessura mínima de 12 cm.
- Lajes com protensão devem respeitar a espessura mínima de 20 cm e também

respeitar um valor calculado com base no seu comprimento.

- d) Lajes que suportam veículos pesados, cujo peso ultrapassa 30 kN, devem ter espessura mínima de 20 cm.
- e) Lajes não em balanço devem ter, ao menos, 8 cm para lajes de piso e 7 cm para lajes de cobertura.

2. As lajes são partes importantes da estrutura, vão suportar diversos tipos de carga e transferi-las para demais elementos estruturais. Saber as características de cada tipo de laje é essencial para selecionar o tipo mais adequado para cada situação.

Sobre os tipos de laje, avalie as afirmações abaixo:

- I) A laje maciça tem desvantagem nos quesitos custo e facilidade de construção, quando comparada à laje nervurada.
- II) A laje nervurada tem baixa capacidade de vencer grandes vãos.
- III) A laje nervurada apresenta menor peso próprio e, logo, menor consumo de concreto.
- IV) As lajes pré-moldadas disponíveis no mercado são de concreto protendido.
- V) Quando comparadas com as lajes maciças, as lajes pré-moldadas têm maior capacidade de vencer grandes vãos com menor peso próprio.

Assinale a alternativa correta:

- a) Apenas as afirmativas I, II e V estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas III e IV estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas I, III e V estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas I e V estão corretas.
- e) Apenas as afirmativas I e IV estão corretas.

3. Conhecer como ocorre a distribuição das cargas nas lajes é tão importante quanto conhecer os tipos de lajes existentes no mercado e suas aplicações. Usualmente, ocorrem três diferentes situações de distribuição das cargas que dependem da relação entre o comprimento e a largura da laje. No caso de uma laje quadrada com comprimento de 8 m, cujo carregamento total entre cargas permanentes e acidentais soma 40.000 kgf, qual será a reação em cada uma das vigas de apoio?

Lembre-se de que a carga W deve ser utilizada nas fórmulas como carga distribuída, em kgf / m^2 .

Assinale a alternativa que responde corretamente ao questionamento anterior:

- a) 125.000 kgf.
- b) 10.000 kgf.
- c) 64.000 kgf.
- d) 640.000 kgf.
- e) 125.000 kgf.

Lajes em concreto armado

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção daremos continuidade aos estudos de lajes, trabalhando os assuntos de retração do concreto, verificação das flechas e fissuras de canto nas lajes. Estes três aspectos podem causar manifestações patológicas nas lajes de concreto, diminuindo sua vida útil e, por esse motivo, você, arquiteto, deve saber como evitá-los. Para finalizar esta seção, você aprenderá como é feito o detalhamento das armaduras nos projetos de lajes, complementando ainda mais sua formação acadêmica.

Lembre-se da problemática em que você está envolvido: seu escritório de arquitetura acabou de assinar o contrato com o seu novo cliente, que quer construir uma residência térrea com uma área útil de em média 180 m^2 . Após alguns encontros com ele, ficou definido que o sistema estrutural utilizado seria de concreto armado.

Dando continuidade ao projeto residencial, no momento da concepção arquitetônica e pré-dimensionamento das lajes, seu estagiário não entendeu porque é necessário verificar as flechas em lajes e o que são estas flechas. Cabe a você, como o arquiteto responsável por este aluno, ensinar esses conceitos tão importantes na concepção da estrutura, para que as edificações que ele projetar no futuro não tenham problemas quanto a flechas.

Sabendo que as lajes da residência são maciças de concreto, imagine que a laje 4 (L4) é uma laje retangular biapoiada com dimensões de $9 \times 4 \text{ m}$ e altura de 10 cm . Além disso, ela recebe um carregamento distribuído de $800 \text{ kgf} / \text{m}^2$. Qual será a flecha dessa laje? A flecha calculada está dentro dos limites estabelecidos pela aceitabilidade sensorial da NBR 6118 (ABNT, 2014)? Utilize $250.000 \times 10^4 \text{ kgf} / \text{m}^2$ como módulo de elasticidade do material.

Lembre-se também de explicar ao seu estagiário o que são flechas em lajes, por qual motivo elas devem ser verificadas e como é realizada esta verificação. Você encontrará as respostas a estes questionamentos no item **Não pode faltar**.

Bons estudos!

Nós já vimos que o concreto é um dos materiais mais utilizados na confecção de elementos estruturais, não é mesmo? Nesta seção continuaremos a estudar sobre as lajes de concreto, buscando entender mais sobre o comportamento do concreto nessas lajes.

De acordo com Pilotto Neto (2017), o concreto apresenta certas deformações inerentes às suas características reológicas, independentemente dos esforços que lhe são impostos. Por esse motivo, as características do concreto precisam ser conhecidas, buscando diminuir os problemas patológicos que possam ocorrer nas lajes de concreto. As deformações nas lajes de concreto podem ocorrer em virtude de tensões internas, pelas mais diversas causas. Dentre as principais, podemos citar o calor excessivo, recalques nas fundações, falta de armadura para resistir aos esforços, armaduras com espaçamentos maiores dos que os determinados em projeto, carregamento superior àquele para o qual a laje foi calculada e a retração do concreto causada pela perda de água. A maioria destas causas pode ser evitada com um controle rigoroso na etapa de concepção e projeto estrutural, porém a retração do concreto ocorre independentemente das cargas aplicadas a este material e, por isso, merece uma atenção especial.

Retração do concreto

A retração do concreto nada mais é do que uma diminuição do volume da peça concretada. A retração hidráulica ocorre após o tempo de pega do concreto, por meio da perda de água de amassamento, por evaporação, para o ambiente. Vale destacar que, quanto menor for a umidade relativa do ar, maior tende a ser a retração por perda de água.

O maior problema relacionado à retração do concreto está relacionado às deformações diferenciais da peça concretada, que geram tensões que resultam na fissuração. Quanto maior for a peça concretada, maior tende a ser a fissuração, e essas fissuras podem ocorrer tanto em lajes maciças quanto nas lajes nervuradas ou pré-moldadas.

É importante que você, arquiteto, saiba que a retração ocorre de forma lenta apenas após o adensamento do concreto. Por tal motivo, devem ser tomadas providências para evitar essa retração, a partir da realização da cura adequada do concreto.



Assimile

Estudamos sobre a cura do concreto na unidade anterior, mas vamos relembrar: a cura do concreto é um procedimento que visa retardar a evaporação da água da mistura, permitindo, assim, a completa hidratação do cimento. A cura pode ser executada de diferentes formas após o fim de pega, e as mais comuns são a partir da colocação de uma película de água sobre a superfície concretada, de serragem úmida ou ainda sacos de cimento úmidos.



Dica

Porém, na prática, como podemos saber se a superfície concretada já entrou em fim de pega? Basta pressionar o dedo sobre a superfície concretada: se a sua digital ficar marcada na superfície, deformando-a, o fim de pega ainda não foi atingido.

Vale relembrar que as condições locais em que se efetuará o lançamento do concreto influenciarão de forma direta na retração, pois quanto mais quente estiver, mais vento houver e menor for a umidade do ar no momento da concretagem e logo após ela, mais o concreto tende a sofrer retração.

Neste contexto, existem alguns fatores que influenciam de forma direta na retração. De acordo com Neville (2016), quanto maior for a relação água/cimento (a/c) de um concreto, maior tende a ser a retração, pois haverá mais água livre na mistura disponível para evaporação. Outro fator que influencia na retração são misturas muito ricas em cimento. As dimensões e características dos agregados, por sua vez, não influenciam na retração do concreto.

Além da retração, que deve ser minimizada nas estruturas de concreto, existe outro aspecto que merece nossa atenção quando se trata do pré-dimensionamento e comportamento de lajes: as flechas. Nós já estudamos na primeira unidade o que são flechas e como elas são causadas, nesta unidade veremos as flechas nas lajes de concreto armado.



Saiba mais

Para conhecer mais a retração do concreto, leia o livro abaixo, disponível na sua biblioteca virtual:

RECENA, F. A. P. **Retração do Concreto**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2014. Disponível em: <https://bv4.digitalpages.com.br/#/edicao/epub/54555>. Acesso em: 30 jan. 2019.

Verificação da flecha na laje

Conforme já estudamos, flechas são deslocamentos verticais que ocorrem nos elementos estruturais por diversas causas. Na verificação da flecha de uma laje, considera-se: a existência de fissuras, o momento de inércia, as flechas imediatas, diferidas e totais e os valores limites. Um engenheiro calculista deve ser contratado para realizar esta análise, mas você, arquiteto, precisa saber que as flechas devem respeitar os limites estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

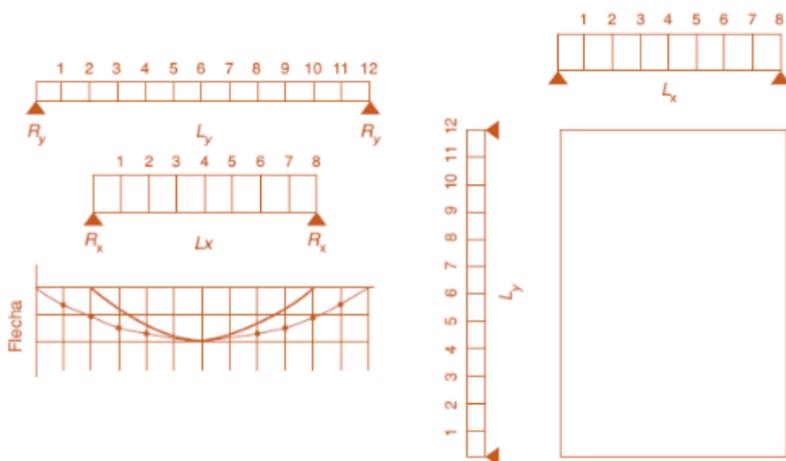


Saiba mais

Analise a Tabela 13.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014), verificando cada situação de deslocamento limite (flecha) para as mais diversas situações: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projetos de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

Além disso, é importante que você saiba que as lajes com armadura cruzada funcionam como duas vigas que se cruzam, de modo que as flechas em um e no outro sentido se igualam, gerando esforços internos estaticamente indeterminados, conforme ilustra a Figura 3.7 (PILOTTO NETO, 2017).

Figura 3.7 | Superposição de valores de flechas em lajes de concreto



Fonte: Pilotto Neto (2017, [s.p.]).

Analisando a Figura 3.7, podemos observar a seguinte situação: tem-se dois vãos com diferentes comprimentos, e a carga atuante na laje deverá ser repartida de tal forma que a flecha no maior vão seja igual à do menor vão. Em uma análise inicial, podemos observar que o maior vão deve receber a menor parte de carga e o menor vão deverá receber a parte de carga maior, para que no centro da laje haja igual deformação, como ilustrado.

Vale destacar que a flecha é resultado do somatório da aplicação de sobrecarga e da deformação do próprio concreto armado. Para a flecha imediata em lajes biapoiadas, a fórmula utilizada está apresentada na equação:

$$\delta = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E \times I}$$

Em que:

δ é a flecha, em m;

q é a carga distribuída, em kgf / m^2 ;

L é o comprimento do vão no sentido longitudinal da armadura, em m;

E é o módulo de elasticidade do elemento, em kgf/m^2 ;

I é o momento de inércia de área do elemento, em m^4 .

Vale destacar que outras unidades podem ser utilizadas, mas sempre padronizadas para que o resultado seja condizente. Além disso, é importante que você saiba que uma laje com dimensão $L_x \times L_y$, sendo $L_y > L_x$, convencionou-se que a laje deverá ser armada em apenas uma dimensão, caso $L_y > 2L_x$. Nesse contexto, o comprimento utilizado na equação da flecha será L_x , pois esse será o sentido das armaduras. Caso $L_y \leq 2L_x$, a laje deverá ser armada em duas dimensões. Nesse caso, o engenheiro calculista deverá definir o vão que será utilizado para os cálculos da flecha, pois dependerá do comportamento da laje. Normalmente, utiliza-se o maior vão (L_y) na equação da flecha.



Lembre-se

Você aprendeu sobre os limites da aceitabilidade sensorial das flechas da NBR 6118 (ABNT, 2014) na Seção 1.3, em que estudou que o deslocamento máximo que pode ocorrer em estruturas de concreto é o comprimento do vão (l) dividido por 250 ($l/250$).



Saiba mais

Para conhecer as diferentes fórmulas de flecha de acordo com os tipos

de vinculação das lajes, leia as páginas 13, 14 e 15:

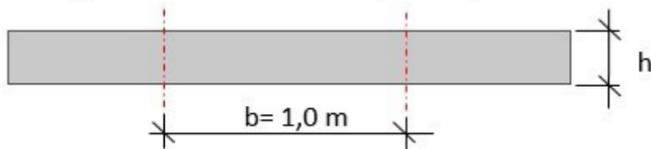
BASTOS, P. S. S. **Lajes de concreto**. Bauru: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2015. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2019.

Além da flecha imediata, nesse mesmo material citado acima você poderá aprender mais sobre os outros tipos de flecha. Leia mais sobre isso nas páginas de 20 a 27.

O momento de inércia tem relação com a seção transversal de um elemento. Fisicamente, trata-se da relação entre a tensão normal atuando nesta seção transversal com o momento externo aplicado que pode causar uma flecha (HIBBELER, 2017). Em palavras mais simples, pense no momento de inércia como um conceito geométrico, que mede a dificuldade de uma seção fletir. O cálculo por definição do momento de inércia não é padronizado para todas as estruturas, pois depende de sua forma. No caso particular de um corpo que tem seção transversal retangular, como é o caso de uma laje maciça de concreto, podemos utilizar a equação apresentada na sequência para calcular o momento de inércia de uma laje, sendo h a altura da laje e b convencionado para 1 m (conforme ilustra a Figura 3.8), pois a flecha é calculada no metro central das lajes e das vigas.

Figura 3.8 | Exemplificação das dimensões utilizadas para o cálculo da flecha

Seção Transversal de uma laje maciça



Fonte: elaborada pela autora.

$$I_c = \frac{bh^3}{12}$$

Os cálculos do momento de inércia de lajes pré-moldadas são mais complexos, pois envolvem diferentes materiais. Para tal, um engenheiro calculista deverá ser consultado.



Exemplificando

Imagine que você precisa calcular a flecha imediata de uma laje de concreto maciça biapoiada com 6 x 5 m e com altura de 10 cm, sabendo que a carga distribuída desta laje é de 650 kgf/m² e o módulo de elasticidade

dade do concreto utilizado é de 250 tf/cm².

Primeiramente, você precisa calcular a inércia da laje, aplicando a equação abaixo:

$$I_c = \frac{bh^3}{12} \rightarrow I_c = \frac{1 \times 0,1^3}{12} = 0,00008333m^4 = 8,3 \times 10^{-5} m^4$$

Para padronizarmos as unidades, teremos que o módulo de elasticidade será $E = 250.000 \times 10^4 \text{ kgf} / m^2$. Também destacamos que, como $\frac{L_x}{L_y} < 2$, a laje será armada em duas direções. Nestes casos, normalmente utiliza-se o maior comprimento para calcular a flecha, realizando o cálculo a favor da segurança. Após as considerações, na sequência devemos aplicar a equação da flecha imediata:

$$\delta = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 650 \times 6^4}{384 \times 250000 \times 10^4 \times 8,3 \times 10^{-5}} = 0,053m = 5,3cm.$$

Outro aspecto importante de ser verificado quanto à concepção estrutural das lajes está relacionado ao diâmetro das barras, que não deve ser maior que 1/10 da espessura da laje. Para a armadura positiva é recomendado utilizar o espaçamento entre 7 e 13 cm, e para a armadura negativa, entre 15 e 25 cm. Mas não se preocupe, estudaremos mais sobre isso nesta seção.



Assimile

A armadura negativa é aquela utilizada para absorver os esforços provenientes do momento fletor negativo e é usada em elementos estruturais submetidos a uma condição de carregamento de flexão. Essa armadura também pode ser utilizada para controlar a fissuração exagerada próxima aos apoios, na parte superior dos elementos estruturais.

Fissuras de canto nas lajes

Quando se tem lajes com bordas simplesmente apoiadas, surgem momentos fletores negativos que acarretam na tração no lado superior da laje. Conforme já estudamos, o concreto não apresenta boa resistência à tração, tendendo a fissurar.



Exemplificando

Para exemplificar, vamos imaginar uma abóbada com arcos em cruz sobre a qual será apoiada uma placa de material elástico, conforme ilustra a Figura 3.9.

Figura 3.9 | Momentos volventes atuando em lajes apoiadas



Fonte: Pilotto Neto (2017, [s.p.]).

Como a placa tem suas pontas sem apoio, elas tendem a se encurvar, gerando um esforço de tração na face superior. Os momentos gerados nos cantos são chamados de momentos volventes ou de torção. Para prevenir os efeitos dos momentos volventes, devem ser dispostas armaduras para evitar o surgimento de fissuras de canto nas lajes.

Para evitar a formação destas fissuras, armaduras de controle de fissuração podem ser utilizadas. Essas armaduras nada mais são do que barras de aço utilizadas para conter a fissuração nos locais onde o concreto está submetido a esforços de tração.

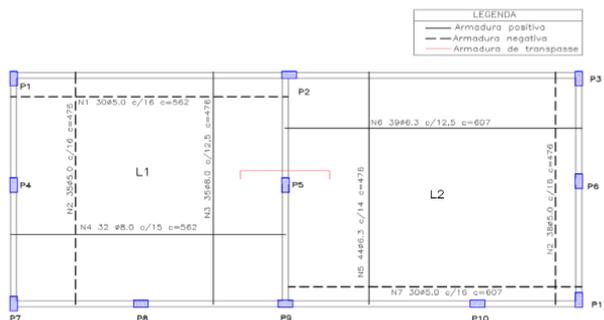
Detalhamento das armaduras em lajes

Dando sequência ao nosso estudo, agora você, arquiteto, aprenderá sobre o detalhamento de lajes. Este assunto é de fundamental importância, principalmente pelo fato de que você precisa estar apto a ler e entender projetos estruturais, principalmente se decidir trabalhar com a execução de obras.

Como temos diferentes tipos de lajes, podemos ter diferentes configurações de armaduras. Em geral, as armaduras de lajes são divididas entre positivas e negativas.

As lajes maciças têm configuração típica representada na Figura 3.10, na qual a armadura positiva está representada na linha contínua preta, a armadura negativa, na linha tracejada preta e a armadura de transpasse, na linha contínua vermelha. Quanto à nomenclatura utilizada para identificar as barras, vamos pegar o exemplo de N1, que é a armadura negativa da laje 1 (L1), é constituída por 30 barras de 5 mm de diâmetro espaçadas a cada 16 cm, as quais têm 562 cm de comprimento (N1 30 θ 5 C/ 16cm c=562). O mesmo se aplica às demais barras ilustradas.

Figura 3.10 | Detalhamento de lajes maciças de concreto



Fonte: elaborada pela autora.



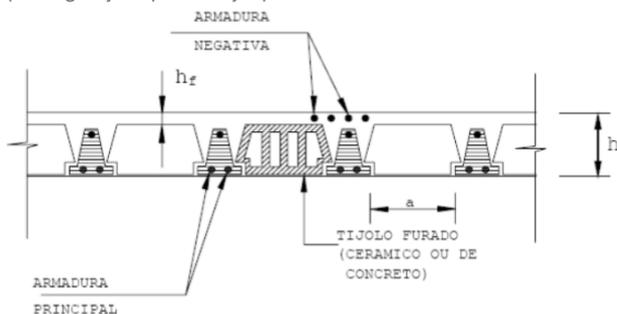
Refleta

Levando em consideração a nomenclatura utilizada para o detalhamento de lajes, qual é a diferença entre as armaduras positivas da laje 1 (L1) para a laje 2 (L2)? Caso as armaduras das lajes fossem invertidas no momento da execução, as lajes estariam em risco?

Vale destacar que, por questão de segurança, a armadura positiva é normalmente estendida até os apoios, penetrando nestes em torno de 6 a 10 cm. Para a armadura negativa, vale enfatizar que deve ser utilizada uma armadura de borda ao longo dos apoios que estiverem livres, para evitar a fissuração decorrente dos engastes parciais.

Em lajes pré-moldadas, tem-se a configuração usual ilustrada na Figura 3.11, independentemente do material de enchimento, as vigotas possuem uma armadura principal e a capa da laje, que é concretada posteriormente, também tem uma armadura negativa. A letra “h” indica a altura total da laje e as letras “ h_f ”, a espessura da capa de concreto.

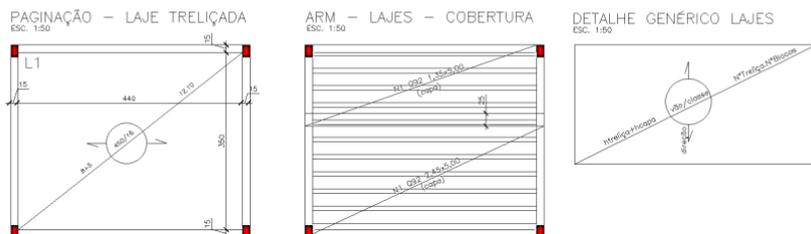
Figura 3.11 | Configuração típica de lajes pré-moldadas



Fonte: Vanderlei (2018, p. 9).

Em projeto, as lajes pré-moldadas são detalhadas conforme ilustra a Figura 3.12, na qual primeiramente está apresentada a paginação da laje, indicando a altura da treliça (h_t), a altura da capa (h_c), o vão e a classe, a direção da posição das vigotas e o número de treliças e de blocos. Na sequência, podemos visualizar o detalhamento da armadura de controle de fissuração da laje, normalmente adquirida em malhas (Q92 é uma malha comercializada). E, por fim, no último trecho tem-se o detalhe genérico das lajes, identificando os itens que devem ser apresentados na paginação de lajes treliçadas.

3.12 | Exemplo de detalhamento de laje pré-moldada



Fonte: elaborada pela autora.

Vale abrir parênteses sobre o processo executivo das lajes pré-moldadas, em que, após a colocação das vigotas e do material de preenchimento, a laje é concretada com a armadura de controle de fissuração. É importante destacar também que, para lajes pré-moldadas, os fabricantes normalmente passam catálogos com as informações de cada tipo de laje que eles fornecem, apresentando o vão que elas são capazes de vencer e suas características.

Como podemos observar, cada laje tem uma forma de detalhamento. Para não haver erros nos seus projetos, você deverá sempre colocar um detalhe genérico do que aquele detalhamento representa, conforme apresentado na Figura 3.12. Desta forma, evitará erros no momento da execução das lajes e problemas no futuro da sua vida profissional.

Sem medo de errar

Vamos relembrar a situação em que você está envolvido: seu escritório de arquitetura está trabalhando no projeto de uma residência com área útil em torno de 180 m² e seu estagiário levou alguns questionamentos sobre as flechas e sua verificação. Você deverá explicar a ele o que são flechas em lajes e qual a necessidade de que elas sejam verificadas.

Primeiramente, você, arquiteto, precisa saber que as flechas são deslocamentos que algumas estruturas sofrem sob a aplicação de carga e que existem

procedimentos para calculá-las, bem como limites toleráveis para cada elemento estrutural em determinadas condições, estabelecidas na NBR 6118.

As flechas em lajes devem ser verificadas a fim de comprovar que estão dentro das normas e de impedir a formação de fissuras e demais problemas estruturais. Dessa forma, não haverá um desconforto psicológico dos usuários e, principalmente, prejuízos à funcionalidade e à segurança da edificação. Caso as flechas em lajes sejam exageradas, poderá ocorrer danos nas alvenarias, nos pisos, nas tubulações e em outros elementos da construção, além de poder levar a estrutura à ruína.

Movendo adiante, para calcular a flecha, primeiramente você deverá definir o valor do vão L que será analisado. Para tal, precisamos fazer a divisão do maior vão (L_y) pelo menor vão (L_x) e analisar seu resultado.

Assim, temos que $\frac{L_y}{L_x} = \frac{9}{4} > 2$, dessa forma, podemos concluir que a laje maciça de concreto será armada em apenas uma direção e o vão utilizado nos cálculos será o menor, justamente diminuindo os esforços e, consequentemente, as flechas. Então, o vão L será igual a 4 m.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), a flecha deverá ser menor ou igual a $\frac{L}{250}$, respeitando o limite da aceitabilidade sensorial. Assim, o valor limite da flecha será de $\frac{4}{250} = 1,6 \text{ cm}$.

Agora, você precisa calcular a flecha imediata da laje. Aplicando os dados na equação da flecha imediata para lajes biapoiadas, temos:

$$\delta = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 800 \times 4^4 \times 12}{384 \times 250000 \times 10^4 \times 1 \times 10^3} = 0,0129 \text{ m} = 1,29 \text{ cm}$$

Desta forma, a flecha da laje está dentro do padrão requerido pela NBR 6118 para a aceitabilidade sensorial.

Avançando na prática

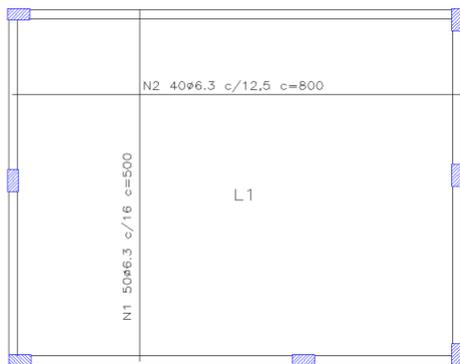
Detalhamento de armaduras em lajes

Descrição da situação-problema

Na sua carreira como arquiteto, você deverá ser capaz de interpretar os projetos estruturais das edificações. No caso das lajes, os projetos trazem as configurações das armaduras. Avaliando o projeto da Laje 1 (Figura 3.13), que

apresenta as armaduras positivas da laje, justifique o motivo de a Laje 1 (L1) ser armada em duas direções. Após isso, explique ao seu estagiário a que se referem cada uma as indicações da armadura, para que, se ele acompanhar a execução desta obra, saiba como conferir as armaduras da laje antes da concretagem.

Figura 3.13 | Detalhamento de uma laje maciça de concreto



Fonte: elaborada pela autora.

Resolução da situação-problema

Primeiramente, é necessário saber que, para determinar se a laje será armada em uma ou duas direções, basta verificar se $L_y > 2L_x$ ou $L_y \leq 2L_x$. Além disso, para determinar os valores de L_x e L_y , basta observar o comprimento das armaduras na Figura 3.13, pois o maior valor corresponde ao L_y e o menor, ao L_x .

Desta forma, teremos: $L_y > 2L_x \rightarrow 8 > 2 \times 5 \rightarrow 8 > 10$.

Observamos, então, que a inequação não é respeitada.

Aplicando $L_y \leq 2L_x$, teremos: $8 \leq 2 \times 5 \rightarrow 8 \leq 10$.

Logo, a laje será armada em duas direções.

Na seqüência, você deverá explicar a nomenclatura do projeto estrutural, a fim de capacitar seu estagiário a acompanhar a execução da obra no futuro e conferir a armadura da laje L1.

Desta forma, precisará explicar que N1 é a armadura positiva da laje 1 (L1), constituída por 50 barras de 6,3 mm de diâmetro espaçadas a cada 16 cm, as quais têm 500 cm de comprimento (N1 50 ϕ 6,3 C/ 16 cm c=500). O mesmo se aplica às barras de N2, constituídas por 40 barras de 6,3 mm de diâmetro espaçadas a cada 12,5 cm e com comprimento de 800 cm.

1. As deformações no concreto são inerentes às suas características reológicas e não dependem, exclusivamente, dos esforços que lhe sejam impostos. Diversos fatores podem levar ao crescimento de tensões internas e, conseqüentemente, às manifestações patológicas.

Sobre este assunto, leia as afirmativas e marque V para as verdadeiras e F para as falsas. Na seqüência, assinale a alternativa correta.

Entre as tensões internas que podem acarretar em manifestações patológicas, podemos citar o calor excessivo.

- () Armaduras com espaçamentos maiores dos que os determinados em projeto podem acarretar em problemas.
 - () A maioria das causas de manifestações patológicas não pode ser evitada, apenas corrigida.
- a) V - V - V.
 - b) F - V - F.
 - c) V - V - F.
 - d) V - F - F.
 - e) F - F - F.

2. Um dos mecanismos que podem causar tensões internas em uma laje, levando a manifestações patológicas é a retração do concreto, que é a diminuição do volume da peça concretada, devido à perda de parte da água de amassamento por evaporação.

Sobre a retração do concreto, avalie as afirmativas abaixo:

- I) Quanto menor a umidade relativa, maior tende a ser a retração por perda de água.
- II) Na retração, todas as partes de um elemento estrutural se deformam igualmente, acarretando no aparecimento de tensões e, conseqüentemente, à fissuração.
- III) A retração do concreto só ocorre em lajes maciças.
- IV) Quanto maior o elemento, maior tende a ser a fissuração.
- V) Para evitar a retração, deve-se prezar por uma cura adequada.
- VI) Quanto menor for a relação a/c, menos o concreto tende a sofrer retração.

Assinale a alternativa que apresenta apenas as afirmativas que estão corretas:

- a) Estão corretas as afirmativas I, III e VI, apenas.
- b) Estão corretas as afirmativas II, III e V, apenas.
- c) Estão corretas as afirmativas II, IV e VI, apenas.
- d) Estão corretas as afirmativas I, IV e V, apenas.
- e) Estão corretas as afirmativas III, V e VI, apenas.

3. As flechas são deslocamentos que as estruturas podem sofrer. Em lajes, caso as flechas estejam acima do limite permitido, além de causarem um desconforto psicológico, poderá ocorrer danos à construção. Calcular as flechas é essencial para verificar se o projeto está dentro das normas e alterá-lo, caso necessário.

Considere a laje de uma garagem medindo 12 x 6 m com espessura de 12 cm. Com base nestas informações e na teoria sobre cálculo de flecha em lajes, assinale a alternativa correta.

- a) O valor de L que deve ser considerado nas equações é obrigatoriamente o de 6 m.
- b) A flecha máxima permitida pela NBR 6118 é de 2,4 cm.
- c) Quanto maior é o módulo de elasticidade do material, maior é a flecha.
- d) O valor da carga sobre a viga é proporcional à flecha máxima.
- e) Caso a espessura da laje fosse aumentada para 15 cm, a flecha diminuiria.

Vigas em concreto armado

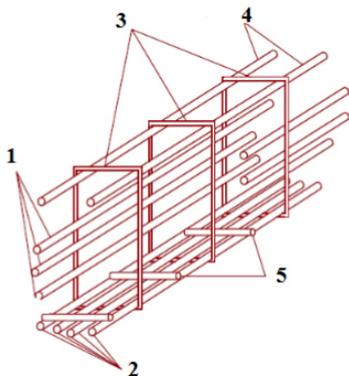
Diálogo aberto

Caro aluno, nas duas seções anteriores desta unidade de ensino você aprendeu sobre lajes. Nesta seção daremos continuidade aos estudos dos elementos estruturais horizontais em concreto armado, partindo agora para o estudo das vigas. Você conhecerá então o comportamento destes elementos estruturais, seus estados limites de utilização e também as configurações típicas de fissuras em vigas, seu pré-dimensionamento e detalhamento em projeto.

Lembre-se da problemática em que você está envolvido no seu escritório de arquitetura, em que você assinou um contrato com um novo cliente e trabalhará no projeto de sua residência. Após algumas reuniões, ficou definido que o sistema estrutural utilizado seria de concreto armado.

Imagine que neste projeto você precisará fazer o pré-dimensionamento das vigas, em concreto armado, e que uma das vigas é biapoiada e tenha 5 m de vão. De acordo com o pré-dimensionamento, qual deverá ser a altura dessa viga? Além disso, após o pré-dimensionamento você encerrou o

Figura 3.14 | Detalhamento da viga da residência do seu novo cliente



Fonte: adaptada de Pilotto Neto (2017).

projeto arquitetônico e repassou-o para um engenheiro civil parceiro do seu escritório, para que ele fizesse o cálculo estrutural da residência. Depois de realizados os cálculos, ele lhe retornou o projeto detalhado, para que conferisse a compatibilização.

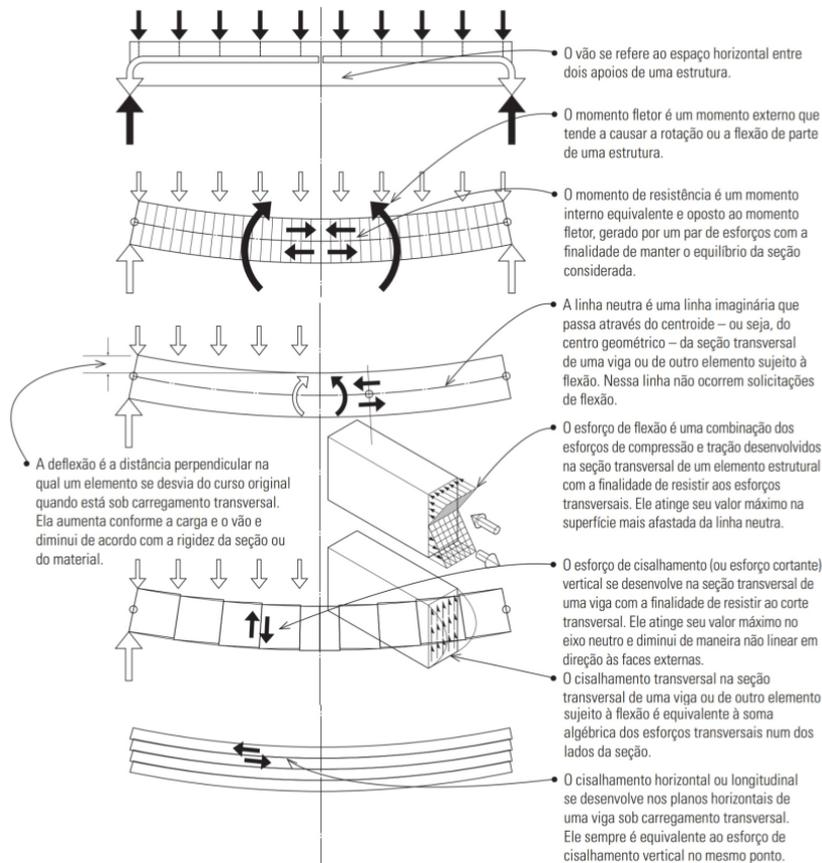
Você, arquiteto, repassou essa tarefa ao seu estagiário, que analisou o detalhamento das vigas e se deparou com a seguinte dúvida: quais são os nomes das armaduras indicadas no detalhamento apresentado na Figura 3.14? Quais são as funções destas armaduras no elemento estrutural?

É de suma importância que você saiba ler projetos e também entenda para quais esforços as armaduras são utilizadas nas estruturas de concreto. As informações para responder a estes questionamentos você encontrará no item **Não pode faltar**.

Bons estudos!

Vigas são elementos horizontais normalmente projetadas de tal forma que contornem as lajes de uma edificação e têm função de sustentar e transferir as cargas transversais até os elementos de apoio vertical. Para que você, arquiteto, comece a compreender mais o comportamento estrutural deste elemento tão importante das edificações, vamos analisar a Figura 3.15.

Figura 3.15 | Panorama geral e conceitos importantes sobre as vigas de concreto armado



Fonte: Ching, Onouye e Zuberbuhler (2015, p. 90).

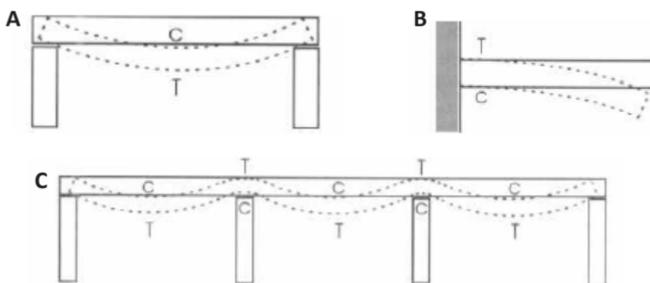
Comportamento das vigas de concreto armado

As vigas são elementos estruturais nos quais se tem a atuação de duas ações principais: a força cortante e o momento fletor, que resultam na flexão simples da viga. Portanto, em vigas de concreto armado, a armadura deve

ser dimensionada para suportar tanto os esforços de momento fletor, como também os de força cortante.

As vigas, assim como as lajes, contêm uma classificação de acordo com sua posição e sua quantidade de apoios, podendo ser classificadas em biapoiadas (solicitadas por tensões de compressão nas partes superiores e de tração nas inferiores), em balanço (solicitadas por tensões de tração nas partes superiores e de compressão nas inferiores) e contínuas (solicitadas por tensões de compressão nas partes superiores e de tração nas inferiores dos vãos e o inverso nos apoios). Você pode observar exemplos de vigas biapoiadas, em balanço e contínuas na Figura 3.16 (a), (b) e (c), respectivamente.

Figura 3.16 | Ilustração da classificação das vigas e da atuação de esforços de tração (T) e compressão (C)

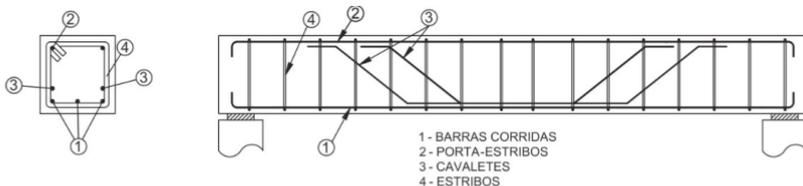


Fonte: Fay (2006, p. 75).

Vale destacar que a situação de vinculação (apoios) influencia de forma direta no dimensionamento, pois o comportamento do elemento estrutural quanto à tração e à compressão será determinado de acordo com a vinculação deste. Outro ponto importante de relembrarmos é que o concreto tem uma boa resistência à compressão, mas uma baixa resistência à tração. Logo, o concreto das vigas tende a fissurar nos locais tracionados.

Você, arquiteto, precisa saber que as armaduras são dimensionadas para suportar os esforços de tração e que existem alguns tipos básicos de armaduras utilizados em vigas, ilustrados na Figura 3.17.

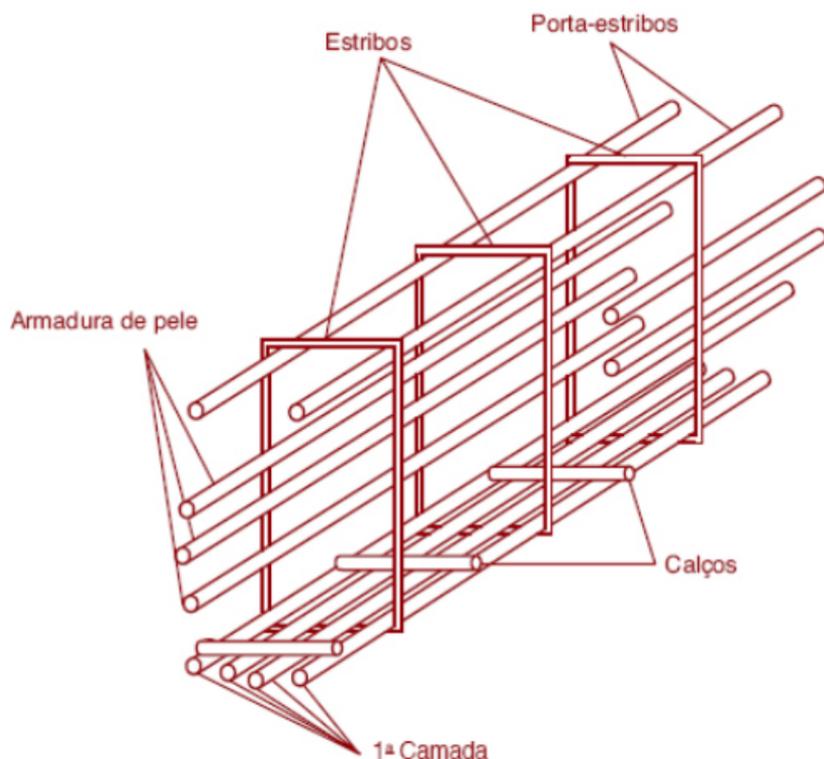
Figura 3.17 | Tipos básicos de armadura de vigas



Fonte: Fusco e Onishi (2017, p. 168).

De acordo com Fusco e Onishi (2017), as barras corridas têm função de absorver os esforços de tração oriundos da flexão. Os cavaletes, por sua vez, são barras dobradas nas quais os trechos inclinados formam parte da armadura transversal, que resistirá aos esforços de tração decorrentes do cisalhamento, e os trechos longitudinais fazem parte da armadura de flexão. A armadura de pele tem função de evitar a fissuração nos locais em que o concreto estará submetido a esforços de tração. Por fim, os estribos são a principal armadura transversal resistente aos esforços de tração decorrentes do cisalhamento e, para a ancoragem dessas armaduras, são utilizados os porta-estribos. Para ilustrar em perspectiva, podemos analisar a armadura da viga da Figura 3.18, ilustrando a armadura de pele, os estribos, porta-estribos, calços e 1ª camada de armadura.

Figura 3.18 | Distribuição da armadura de uma viga

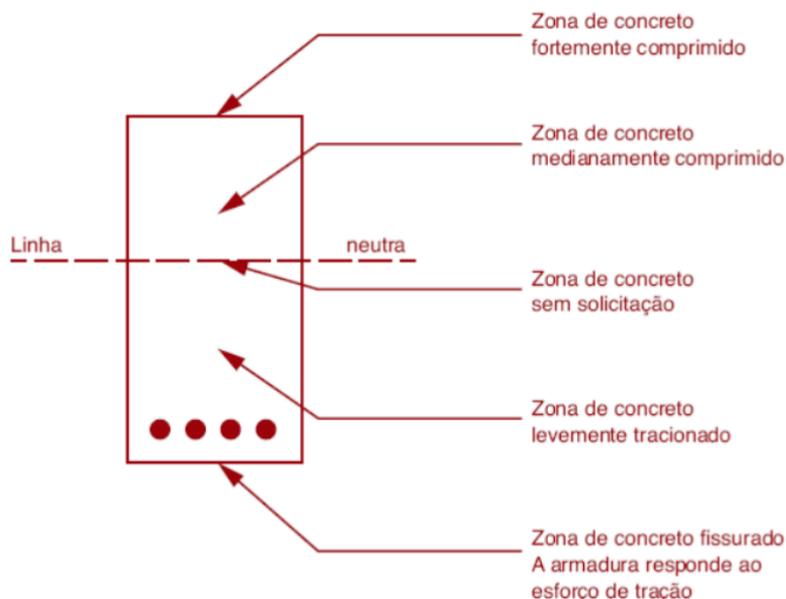


Fonte: adaptada de Pilotto Neto (2017).

Além disso, já estudamos que existem locais em que as vigas são solicitadas à tração e outros à compressão. Para entendermos melhor esse

comportamento, vamos analisar a Figura 3.19, que mostra os locais em que o concreto pode ser fortemente comprimido, medianamente comprimido, sem solicitação, levemente tracionado e também fissurado.

Figura 3.19 | Exemplificação dos locais ou zonas em que o concreto está submetido a ações na flexão simples



Fonte: Pilotto Neto (2017, p. 107).

Aplicações e estados limites de utilização

As vigas são aplicadas em todas as edificações em concreto armado e podem ser moldadas in loco, invertidas ou também podem ser pré-moldadas, como as pré-vigas.



Saiba mais

Para conhecer mais sobre as vigas invertidas, que são muito utilizadas por arquitetos, principalmente pelo fato de a viga ficar “escondida”, veja o vídeo: O CANAL DA ENGENHARIA. Viga invertida. 31 jan. 2017.

De acordo com Fusco e Onishi (2017), para a verificação da segurança das peças submetidas a forças cortantes, deve-se considerar os estados limites

últimos (ELU), também denominados estados limites de serviço (ELS). A partir destes, a resistência das peças é dada como esgotada.

Outro ponto que se deve ter cuidado é em relação aos estados limites últimos de escorregamento das ancoragens e da perda de aderência, que ocorrem quando, nos locais em que há possibilidade de escorregamento das armaduras tracionadas, o valor de cálculo das tensões de aderência atinge o valor de cálculo da resistência de aderência. Vale destacar que, pelo fato de as peças estarem submetidas à ação da força cortante, pode ocorrer fissuração.

Surgimento de fissuras

As fissuras típicas em vigas de concreto armado estão ilustradas na Figura 3.20. Essas fissuras são causadas por esforços de flexão, normalmente resultante de uma aplicação de carga superior à carga de projeto, armadura insuficiente ou ainda do escorregamento da armadura, por insuficiência de ancoragem.

Figura 3.20 | Fissuras por flexão



Fonte: Fusco e Onishi (2017, p. 186).

Essas fissuras aparecem lentamente, podendo ser corrigidas, mas, caso não forem, podem até levar a estrutura ao colapso.

Na sequência, temos as fissuras de cisalhamento (Figura 3.21), que se manifestam junto aos apoios e são resultado do esforço cortante. As principais causas deste tipo de fissuras estão relacionadas a uma carga maior do que a prevista inicialmente no projeto, estribos insuficientes ou ainda à utilização de concreto com baixa resistência

Figura 3.21 | Fissuras de cisalhamento



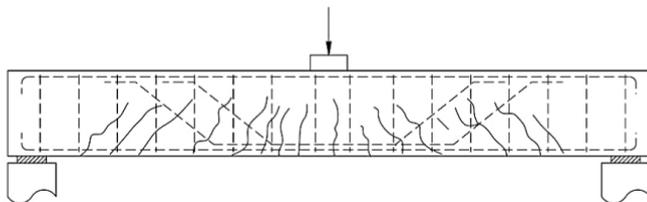
Fonte: Fusco e Onishi (2017, p. 187).

Diferentemente das causadas por flexão, as fissuras de cisalhamento se manifestam rapidamente e, por esse motivo, são bastante perigosas. Vale destacar que um projeto bem feito e uma execução acompanhada por profissional são formas de evitar o aparecimento das fissuras nas estruturas de

concreto. No entanto, essas citadas em vigas não são as únicas, pode-se ainda ter a formação de fissuras relacionadas à retração e/ou à deformação do concreto, ao escorregamento da armadura, à dilatação térmica, entre outros.

Os maiores problemas das estruturas de concreto armado estão ligados ao excesso de carga ou problemas de fundação. No caso das vigas, quando elas recebem uma carga muito elevada, podem chegar próximo ao estado limite último de solicitações normais, acarretando na fissuração apresentada na Figura 3.22.

Figura 3.22 | Tipo de fissuração típica de vigas próximas ao ELU



Fonte: Fusco e Onishi (2017, p. 169).



Refleta

Existem outros problemas relacionados à fissuração, não é mesmo? Você se lembra do que estudamos na segunda unidade? Quais outros problemas a fissuração pode acarretar? Quando as fissuras não são corrigidas e as estruturas estão em contato com ambientes agressivos, o que pode ocorrer com a armadura?

Pré-dimensionamento de vigas de concreto armado

De acordo com Bastos (2017), quando se fala na concepção das vigas, a preferência dos engenheiros e dos arquitetos é fazer com que elas fiquem embutidas nas paredes de vedação, de tal forma que não possam ser percebidas visualmente, melhorando a estética do ambiente. Para tanto, a largura das vigas deve ser escolhida em função da espessura final da parede, considerando as dimensões das unidades de alvenaria (tijolos cerâmicos, blocos de concreto etc.) e da espessura da argamassa de revestimento (reboco), nos dois lados da parede. Normalmente, o revestimento argamassado tem espessura que varia entre 1,5 cm e 2,0 cm, e o com gesso, em torno de 5 a 6 mm.

A altura das vigas, por sua vez, depende de diversos fatores, entre os quais podemos citar o vão, o carregamento e a resistência do concreto. A altura da viga precisa ser suficiente para que apresente uma boa resistência mecânica e uma baixa deformabilidade (flecha), e a resistência deve ser suficiente para que o elemento resista aos esforços internos e externos.



Assimile

Assim como as lajes podem apresentar flechas, as vigas também podem ter este comportamento. O cálculo das flechas é semelhante ao cálculo destas nas lajes, mas, para maiores verificações, um engenheiro calculista deverá ser consultado.

Para realizar um pré-dimensionamento da altura das vigas em construções de pequeno porte utilizando concretos de classe C20 e C25, existem diferentes casos:

- Quando se trata de tramos internos, basta dividir o vão (em cm) por 12;
- Quando são tramos externos ou vigas biapoiadas, basta dividir o vão por 10;
- No caso de balanços, o vão é dividido por 5.



Assimile

Você sabe o que são tramos internos e externos? Imagine a viga apresentada na Figura 3.23, o vão I e IV são os tramos externos e os vãos II e III os internos.

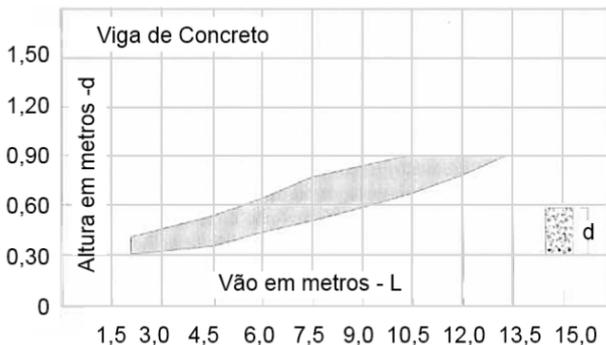
Figura 3.23 | Ilustração dos tramos internos e externos



Fonte: elaborada pela autora.

Outra forma simples de se realizar o pré-dimensionamento da altura de vigas em concreto armado é a partir da utilização do ábaco, apresentado na Figura 3.24. Nesse ábaco, basta você entrar com valor do vão da viga e encontrar sua altura, porém, ele não pode ser aplicado para vigas em balanço.

Figura 3.24 | Ábaco de pré-dimensionamento de vigas de concreto armado



Fonte: adaptada de Fay (2006).

Lembre-se: esses métodos e cálculos são apenas para um pré-dimensionamento que poderá ser utilizado no projeto arquitetônico. Para o dimensionamento efetivo da viga, um engenheiro calculista deverá ser consultado.



Exemplificando

Aplicando o pré-dimensionamento do ábaco, uma viga com vão de 7,5 m poderia ter, em média, uma altura de 50 a 75 cm.

Se aplicássemos o pré-dimensionamento repassado anteriormente, precisaríamos saber qual é a condição dessa viga:

- Caso ela fosse um tramo interno, a altura da viga seria $\frac{7,5}{12} = 0,63m$;
- Caso fosse um tramo externo, a altura seria $\frac{7,5}{10} = 0,75m$;
- Caso ela estivesse em balanço, a altura seria $\frac{7,5}{5} = 1,5m$.

Observe que, para as condições não em balanço, os valores de pré-dimensionamento são semelhantes. Mas lembre-se de que esse é apenas um pré-dimensionamento para a concepção estrutural. Para o projeto estrutural, um engenheiro deverá ser consultado.



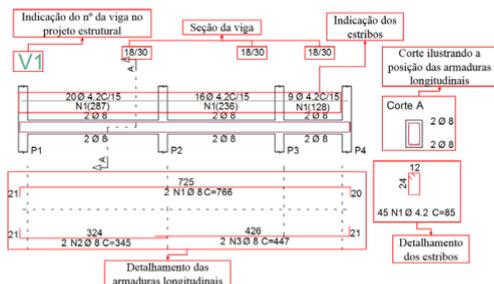
Refleta

Você já parou para pensar que quanto maior o vão de uma viga, mais esforços ela terá que resistir? Aumentando o vão, que outra medida da viga terá que aumentar para resistir aos esforços? Com o aumento do vão, o que tende a acontecer com as flechas?

Detalhamento de vigas de concreto armado

É muito importante que você, arquiteto, entenda sobre o detalhamento de vigas, principalmente para que possa ler projetos sem nenhuma dificuldade e, assim, acompanhar a execução de obras, garantindo que os projetos estruturais feitos pelos engenheiros sejam executados adequadamente nas obras. A Figura 3.25 ilustra como é realizado o detalhamento de vigas de concreto armado.

Figura 3.25 | Exemplo do detalhamento das vigas de concreto armado



Fonte: elaborada pela autora.

Vale destacar que a nomenclatura das armaduras, por exemplo, dos estribos ($20 \phi 4,2 c/ 15$) deve ser interpretada da mesma forma que o detalhamento das vigas. Relembrando que 20 é referente ao número de barras, 4,2 é o diâmetro das barras e 15 cm é o espaçamento entre elas.

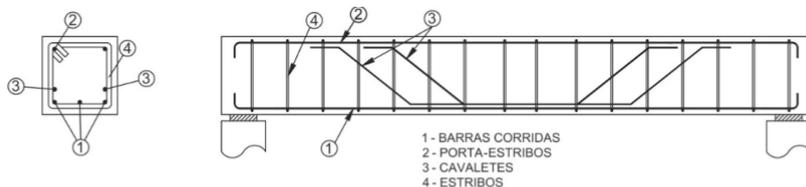
Desta forma, você adquiriu um conhecimento muito importante sobre as vigas de concreto armado, conhecendo os esforços atuantes nelas, como evitar a fissuração e identificar suas possíveis causas, como realizar o pré-dimensionamento da altura das vigas e também como detalhá-las em projeto. Tendo esse conhecimento, você não terá problemas na concepção estrutural e na execução de obras.

Sem medo de errar

Relembrando da problemática em que você está envolvido no seu escritório, era sua tarefa realizar o pré-dimensionamento de uma viga biapoiada com vão de 5 m, não é mesmo? Se utilizarmos o ábaco, podemos observar que, com um vão de 5 m, o pré-dimensionamento corresponde a alturas entre 40 e 60 cm. Se utilizarmos a divisão do vão por 10 (caso de vigas biapoiadas) teremos uma altura prévia de 50 cm. Você poderá utilizar as informações obtidas para os valores das alturas na concepção estrutural do projeto em que você está trabalhando.

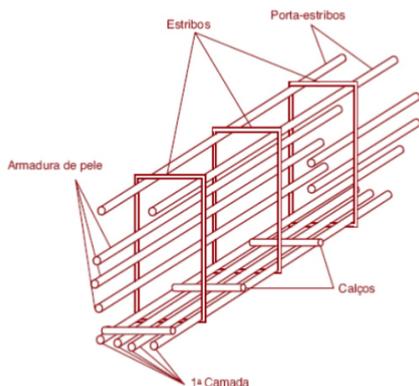
Mas o seu desafio não se encerrou ainda, pois, após a realização da concepção do projeto dentro do layout definido com o cliente, você enviou o projeto para um engenheiro civil parceiro de trabalho, para que ele fizesse o cálculo estrutural da residência. Depois de realizados os cálculos, ele lhe retornou o projeto detalhado, para que conferisse a compatibilização. Você, então, repassou a tarefa ao seu estagiário, que analisou o detalhamento das vigas e se deparou com algumas dúvidas quanto aos nomes das armaduras e suas funções no elemento estrutural. Você, arquiteto responsável por este estagiário, explicou que as armaduras são nomeadas conforme apresentado nas Figuras 3.17 e 3.18.

Figura 3.17 | Tipos básicos de armadura de vigas



Fonte: Fusco e Onishi (2017, p. 168).

Figura 3.18 | Distribuição da armadura de uma viga



Fonte: adaptada de Pilotto Neto (2017).

ração nos locais em que o concreto estará submetido a esforços de tração. Por fim, os estribos são a principal armadura transversal resistente aos esforços de tração decorrentes do cisalhamento e, para a ancoragem destas armaduras, são utilizados os porta-estribos.

É de suma importância que você saiba ler os projetos e também compreenda quais armaduras devem ser utilizadas nas estruturas de concreto para resistir a determinados esforços.

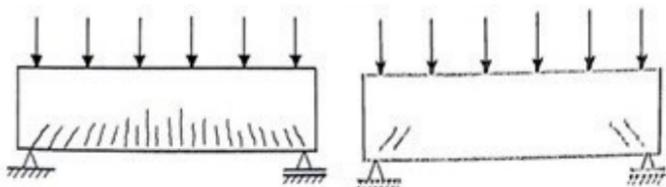
Avançando na prática

Identificando tipos de fissuras em vigas e suas causas

Descrição da situação-problema

Em seu escritório de arquitetura, um cliente lhe procurou solicitando a avaliação de um imóvel para que você pudesse elaborar um novo projeto arquitetônico para aquele espaço. Você fez uma avaliação preliminar e observou fissuras nas vigas conforme mostra a Figura 3.26. Além disso, informou que era necessário procurar um engenheiro estrutural para avaliar a estrutura, pois poderia haver danos permanentes. Seu cliente lhe perguntou quais poderiam ser as causas e as consequências de cada tipo de fissura. Quais informações você deverá repassar?

Figura 3.26 | Fissuras em vigas



Fonte: adaptada de Thomaz (1989).

Resolução da situação-problema

Você deverá explicar ao seu cliente que as fissuras que aparecem na região central da viga na sua parte inferior são resultantes de esforços de flexão, possivelmente causadas por uma carga superior à carga máxima projetada, mas também podem ser originadas de uma armadura insuficiente ou até mesmo de escorregamento desta, devido à insuficiência de ancoragem.

Já as fissuras que se manifestam próximas aos apoios são de cisalhamento, causadas pelo esforço cortante. Possivelmente a origem dessas fissuras estão relacionadas ao excesso de carga não previsto em projeto, porém também pode ser referente à insuficiência de estribos e à utilização de concreto de baixa resistência.

No caso das fissuras causadas por flexão, elas aparecem lentamente e podem ser corrigidas. Já as ocasionadas por cisalhamento se manifestam rapidamente e devem ser corrigidas o mais rápido possível. Quanto maior a demora para corrigir o problema das fissuras, maiores serão os problemas com infiltração de água nas armaduras, maior será o gasto com os reparos e maior será a chance de a estrutura chegar a danos irreversíveis ou até mesmo de entrar em colapso, sendo fundamental a análise de um engenheiro com experiência na área para apontar a solução mais eficiente, antes que seja iniciado o novo projeto arquitetônico.

Faça valer a pena

1. O pré-dimensionamento das estruturas de concreto, como lajes, vigas e pilares, é fundamental para que os arquitetos concebam projetos de forma consciente com as necessidades do projeto estrutural, as quais serão definidas por um engenheiro calculista.

Considerando que uma viga tem um vão de 10,5 m, mediante o uso do ábaco, analise as afirmativas.

- I) De acordo com o pré-dimensionamento, a altura da viga pode ser entre aproximadamente 70 e 90 cm.
- II) De acordo com o pré-dimensionamento, a altura da viga, pode ser menor do que 70 cm.
- III) Independentemente do pré-dimensionamento, um engenheiro calculista estrutural deverá confirmar as dimensões dos elementos estruturais.

Assinale a alternativa que apresenta apenas a(s) afirmativa(s) correta(s).

- a) Apenas a afirmativa I está correta.
- b) Apenas a afirmativa II está correta.
- c) Apenas a afirmativa III está correta.
- d) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- e) Apenas as afirmativas II e III estão corretas.

2. O concreto tem uma boa resistência à compressão, mas uma baixa resistência à tração. Por esse motivo, os elementos estruturais são elaborados com concreto armado, pois o aço tem uma elevada resistência à tração. Entre as armaduras utilizadas nas vigas de concreto armado, podemos citar os estribos, porta-estribos, armaduras longitudinais, calços e armadura de pele.

Qual destas armaduras é empregada para conter os esforços de tração decorrentes do cisalhamento? Assinale a alternativa correta.

- a) Porta-estribos.
- b) Armadura de pele.
- c) Armaduras longitudinais.
- d) Estribos.
- e) Calços.

3. As vigas têm uma classificação de acordo com a sua posição e a quantidade de apoios. Para cada tipo de apoio empregado, a viga reagirá de uma maneira diferente, modificando as suas tensões internas e interferindo no seu dimensionamento.

Considere as seguintes situações:

- I) Vigas solicitadas por tensões de tração nas partes superiores e de compressão nas inferiores.
- II) Vigas solicitadas por tensões de compressão nas partes superiores e de tração nas

inferiores na região dos vãos e solicitadas por tensões de compressão nas partes inferiores e de tração nas partes superiores na região dos apoios.

- III) Vigas solicitadas por tensões de compressão nas partes superiores e de tração nas partes inferiores.

As solicitações se referem, respectivamente, a (assinale a alternativa que apresenta a sequência correta):

- a) I - Vigas biapoiadas; II - contínuas; III - em balanço.
- b) I - Vigas em balanço; II - contínuas; III - biapoiadas.
- c) I - Vigas biapoiadas; II - em balanço; III - contínuas.
- d) I - Vigas contínuas; II - em balanço; III - biapoiadas.
- e) I - Vigas em balanço; II - biapoiadas; III - contínuas.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projetos de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: 2014.
- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: 2000.
- BASTOS, P. S. D. S. **Lajes de concreto**. Faculdade de Engenharia - Departamento de Engenharia Civil. Bauru: Unesp, 2015. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2019.
- BASTOS, P. S. D. S. **Vigas de concreto armado**. Faculdade de Engenharia - Departamento de Engenharia Civil. Bauru: Unesp, 2017. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Vigas.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2019.
- CHING, F. D. K.; ONOUYE, B. S.; ZUBERBUHLER, D. **Sistemas estruturais ilustrados**: padrões, sistemas e projeto. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- FAULIM (Departamento técnico). **Projeto de montagem** - treliça manual. 8. ed. Jumarim: Unesp, 2016.
- FAY, L. **Estruturas arquitetônicas**: composição e modelagem. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006.
- FUSCO, P. B.; ONISHI, M. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto**. São Paulo: Cengage Learning, 2017.
- HIBBELER, R. C. **Estática: Mecânica para engenharia**. 14. ed. São Paulo: Pearson Educacional do Brasil, 2017.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- PILOTTO NETO, E. **Caderno de Receitas de Concreto Armado – Lajes**. vol. 3. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto. Caderno de Receitas de Concreto Armado – Vigas**. Vol. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- THOMAZ, E. **Trincas em edifícios**: Causas prevenção e recuperação. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 1989.
- VANDERLEI, R. D. Notas de aula - Lajes nervuradas. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://www.gdace.uem.br/romel/MDidatico/EstruturasConcretoII/4-%20Lajes%20Nervuradas.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2018.

Unidade 4

Elementos verticais, estruturas pré-fabricadas e fundações em concreto

Convite ao estudo

Caro aluno, seja bem-vindo à última unidade de ensino da disciplina de Sistemas Estruturais I. Nesta unidade, continuaremos os estudos sobre as estruturas de concreto armado. Como já estudamos sobre as lajes e vigas, você aprenderá, nesta unidade, sobre os pilares, as estruturas de concreto pré-fabricado e, também, sobre as fundações, para que esteja apto a desenvolver a modelagem de projetos arquitetônicos desses elementos, conhecendo suas características e limitações. Desta forma, você terá conhecimento total sobre os elementos estruturais em concreto armado.

Suponha que no seu escritório você continuará o projeto residencial da unidade anterior – uma residência térrea de em torno 180 m², com uma suíte e dois quartos, dois banheiros, sala de estar e jantar, cozinha e lavanderia – e, agora, trabalhará a parte de pilares e fundações da edificação. É importante que você saiba identificar as características desses elementos, os esforços que eles estão submetidos e como deve ser feito o detalhamento das armaduras nos pilares de concreto armado. Para tanto, você precisa saber a resposta das seguintes perguntas: o que é flambagem? Quais elementos são submetidos à flambagem? Quais são as fundações rasas e profundas existentes? Quais são suas características?

Além disso, imagine que seu cliente tem propriedades rurais e está pensando em construir um galpão para guardar seu maquinário agrícola. Por ele já ter contratado seu escritório para efetuar o projeto e a execução da sua residência e ter gostado do seu trabalho, ele também te contratará para mais esse projeto e execução. Na sua primeira reunião com seu cliente, você apresentou a ele a possibilidade da execução do galpão em estruturas pré-fabricadas, por ser um sistema construtivo rápido de ser executado, principalmente para esse caso. Por ele não conhecer esse método construtivo, fez-lhe as seguintes perguntas: o que são estruturas pré-fabricadas? Quais são as vantagens e desvantagens desse sistema?

Você, como arquiteto, deverá saber responder a esses questionamentos levantados. Mas, não se preocupe, ao longo desta unidade de ensino você aprenderá. Bons estudos!

Pilares em concreto armado

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção, estudaremos sobre os pilares de concreto armado. Na unidade anterior, estudamos sobre os elementos horizontais de concreto, ou seja, as lajes e vigas. Os pilares são elementos verticais de concreto e serão o foco desta seção, na qual compreenderemos sobre o comportamento de pilares em concreto armado, a flambagem em pilares, as aplicações e os estados limites de utilização e, também, sobre o pré-dimensionamento e detalhamento desses elementos.

Você consegue observar como os estudos, desde a primeira unidade, estão interligados? Na primeira unidade, conceituamos o que era flambagem e o que ela ocasionava nos elementos estruturais. Agora, nesta seção, aplicaremos esse conhecimento no comportamento dos pilares, pois são elementos que, se não dimensionados corretamente, poderão sofrer deformações por flambagem.

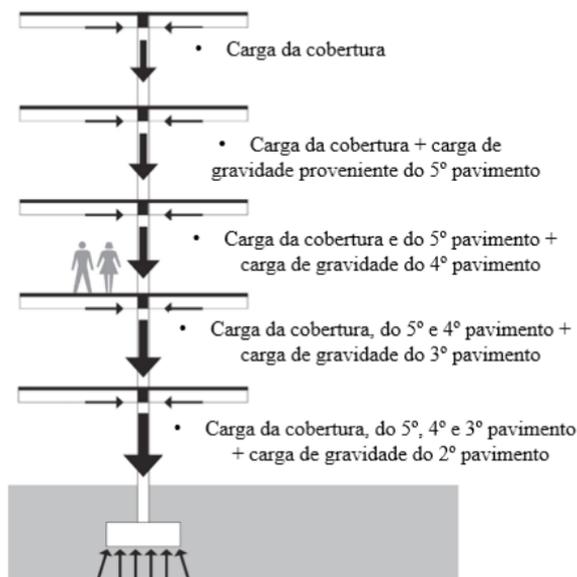
Imagine que, no projeto residencial em que está trabalhando, você estava explicando ao seu estagiário sobre o pré-dimensionamento dos pilares, que são elementos esbeltos, em que o esforço predominante é a compressão simples. Durante a sua explicação, seu estagiário lhe fez as seguintes perguntas: o que é a flambagem? Por que ela ocorre? O que é realizado para evitar problemas no elemento estrutural decorrente desse fenômeno? Como é realizado o pré-dimensionamento de pilares? Cabe a você explicar esses conceitos e aplicações ao seu estagiário.

Suponha que, após você explicar esses pontos, você solicitou que ele fizesse o pré-dimensionamento dos pilares do projeto residencial em que você está trabalhando. Sabendo que a altura dos pilares é de 3 metros, qual seria a melhor seção transversal para os pilares, de acordo com o pré-dimensionamento? Essa seção respeita a seção mínima estabelecida pela NBR 6118 (ABNT, 2014)?

Todos esses questionamentos são importantes, e as respostas deles você encontrará no *Não pode faltar*. Bom trabalho!

Na unidade anterior, aprendemos sobre os elementos horizontais em concreto armado. Antes mesmo de começarmos o estudo sobre os elementos verticais, você, arquiteto, precisa saber que o padrão dos elementos estruturais horizontais (lajes e vigas) deve estar intimamente relacionado ao padrão dos apoios verticais (pilares), pois a carga das lajes e vigas é repassada diretamente a esses elementos, os quais devem ser projetados para suportar as cargas e repassá-las às fundações, conforme ilustra a Figura 4.1.

Figura 4.1 | Ilustração do caminho das cargas das estruturas horizontais para as verticais



Fonte: adaptada de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2015, p. 155).

Se observarmos os tamanhos das flechas verticais, que estão relacionadas com as cargas aplicadas aos pilares, podemos verificar que, conforme a carga vai sendo repassada de um pavimento a outro, a flecha aumenta, justamente porque a carga também vai aumentando. Por esse motivo, em edifícios de vários andares, a seção do pilar do primeiro pavimento será sempre maior do que a do último. Isso só não ocorrerá se o projetista decidir padronizar o tamanho dos pilares, mas isso é efetuado apenas para edificações de pequenas dimensões, com o objetivo de evitar erro nos eixos dos pilares, facilitar a execução deles e reaproveitar as formas.



Assimile

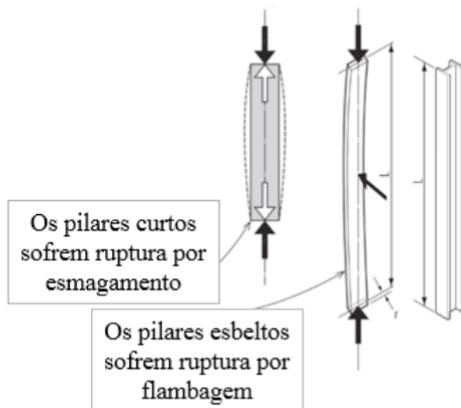
De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), pilares são elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes.

Outro ponto importante de observarmos é que os pilares recebem todas as cargas das vigas e lajes e, por esse motivo, são elementos de grande importância, pois, se entrarem em colapso, toda a estrutura pode ficar em risco.

Comportamento de pilares em concreto armado

De acordo com Ching, Onouye e Zuberbuhler (2015), os pilares são componentes estruturais rígidos e consideravelmente esbeltos, ou seja, possuem a dimensão de uma seção muito maior do que a dimensão da outra. Esses elementos são projetados, principalmente, para resistir aos esforços de compressão axial, conforme ilustra a Figura 4.2. Para os pilares de concreto, sofrer ações de compressão não é ruim, pois o concreto possui uma elevada resistência à compressão.

Figura 4.2 | Pilares curtos sofrendo ruptura por esmagamento, e pilares longos, por flambagem



Fonte: adaptada de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2015, p. 158).



Assimile

Flambagem é a perda de estabilidade lateral de uma peça ao sofrer compressão.

Por consequência da compressão axial, conforme ilustra a Figura 4.2, os pilares curtos podem sofrer ruptura por esmagamento do concreto, e os pilares longos, por flambagem. Vale destacar que a ruptura em pilares curtos só ocorre quando os esforços gerados pelas cargas de compressão axial excedem a resistência à compressão do material que compõe a seção transversal do pilar.

Nos pilares longos, o problema relacionado com a flambagem é que esta gera uma carga excêntrica, a qual produz uma distribuição desigual de esforços ao longo da seção, fazendo com que ocorra uma instabilidade lateral ou de torção dos pilares. Desta forma, o pilar começa a sofrer deformações, e sua estrutura interna não é capaz de voltar à seção para a condição inicial. Após a flambagem, qualquer carregamento adicional pode fazer com que o pilar sofra uma deflexão ainda maior, resultando, então, na ruptura.

Quando existem cargas excêntricas, os pilares podem sofrer flexão composta normal ou oblíqua, que ocorre pela atuação combinada da força normal e do momento fletor sobre o pilar.



Assimile

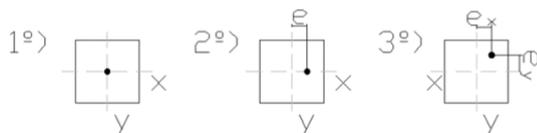
Cargas excêntricas são aquelas que não são aplicadas ao eixo dos elementos estruturais, gerando o que chamamos de excentricidade. Além disso, lembre que a flambagem pode ser definida pelo deslocamento lateral na direção de maior esbelteza, com força menor do que a de ruptura do material.



Exemplificando

Para que esses conceitos fiquem mais claros, observe a Figura 4.3.

Figura 4.3 | Carga centrada no 1º caso, carga excêntrica ao eixo x no 2º caso e carga excêntrica junto aos dois eixos (x e y)



Fonte: elaborada pela autora.

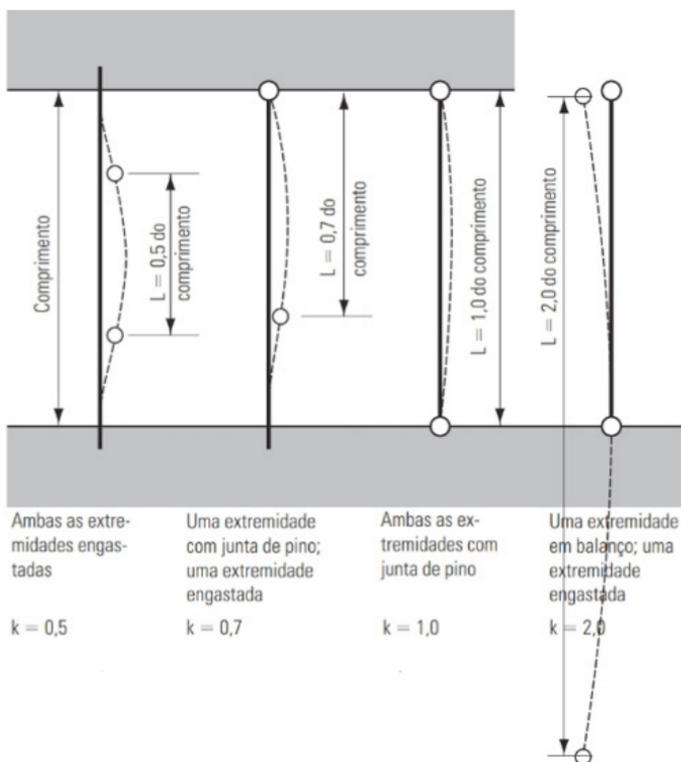
Quando temos uma carga centrada, o pilar sofrerá compressão simples. Já no segundo caso, quando se tem uma carga excêntrica a um dos eixos, o pilar sofrerá flexão composta normal e, por fim, no terceiro caso, flexão composta oblíqua. Tal fato ocorre porque, no segundo caso, haverá um momento atuando ao longo de um dos eixos. Já no terceiro caso, teremos a atuação de dois momentos, pois teremos a excentricidade tanto no eixo x quanto no y.

Flambagem em pilares

A flambagem em pilares não depende apenas da altura dos pilares, ela é influenciada também pelas tensões crescentes de compressão e pela liberdade de movimentação do pilar. Vale destacar que, quanto maior o índice, mais baixo será o esforço crítico que resultará na flambagem. Por esse motivo, os projetos estruturais buscam reduzir o índice de esbeltez por meio da redução do seu comprimento efetivo ou da maximização do raio de giração da sua seção transversal (CHING; ONOUYE; ZUBERBUHLER, 2015).

Como vimos até o momento, toda a disciplina está interligada. A redução do comprimento efetivo dos pilares está relacionada aos vínculos dele, conforme ilustra a Figura 4.4.

Figura 4.4 | Comprimento efetivo de flambagem de acordo com as diferentes situações de vínculo



Fonte: Ching, Onouye e Zuberbuhler (2015, p. 159).

O comprimento efetivo (L) é a distância entre os pontos de inflexão em um pilar sujeito à flambagem, e o fator de comprimento efetivo (k) é um coeficiente para se modificar o comprimento real de um pilar de acordo com as condições de suas extremidades. Ou seja, a partir da multiplicação do comprimento

do pilar pelo fator k , tem-se o comprimento efetivo L ($L = \text{comprimento} \times k$). Neste contexto, o menor comprimento de flambagem corresponde a pilares com as duas extremidades engastadas, pois quanto menor o comprimento de flambagem, maior será a capacidade de carregamento do pilar.



Refleta

Você consegue visualizar a influência dos vínculos no comprimento de flambagem? Qual seria a melhor solução para as edificações: pilares com menores ou maiores valores de k ?

Além disso, é importante que você saiba que existem métodos para evitar a flambagem, os quais serão aplicados pelo engenheiro calculista que realizará os projetos estruturais. Os estribos (armaduras transversais) são empregados justamente para evitar a flambagem das armaduras longitudinais, o travamento dos pilares também diminui a flambagem, pois reduz o comprimento de flambagem, entre outros.

Aplicações e estados limites de utilização

Os pilares de concreto armado são escolhidos para as construções convencionais, pois o concreto armado, conforme já estudamos, é uma boa solução para as edificações.

De acordo com Fusco e Onishi (2017), o projeto estrutural deve detalhar corretamente as armaduras, e nas peças armadas transversalmente, deve-se realizar a verificação da segurança considerando o estado limite último da força cortante, tanto à compressão quanto à tração, e também os estados limites últimos de escorregamento das ancoragens e perda de aderência.

Além disso, a NBR 6118 (ABNT, 2014) prevê que a seção dos pilares deve respeitar uma área mínima de 360 cm^2 e também ter como lado mínimo 19 cm, porém a mesma norma permite a utilização de pilares com lado entre 14 a 19 cm, desde que os esforços solicitantes sejam majorados de acordo com a Tabela 4.1 e que a área mínima respeite os 360 cm^2 .

Tabela 4.1 | Valores do coeficiente adicional γ_n para pilares

b (cm)	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

Fonte: Porto e Fernandes (2015, p. 93).

Portanto, quando você, arquiteto, propuser em uma concepção estrutural um pilar com uma das dimensões menores do que 19 cm, saiba que o engenheiro calculista terá que majorar a carga do pilar utilizando o coeficiente adicional γ_n .

Outro ponto que deve ser observado é em relação às imperfeições geométricas que podem ocorrer nos pilares. De acordo com Porto e Fernandes (2015), a NBR 6118 relata que, para verificar o estado limite último (ELU) em estruturas reticuladas, essas imperfeições geométricas do eixo dos elementos estruturais devem ser consideradas.

Pré-dimensionamento e detalhamento

Antes de iniciarmos os estudos sobre o pré-dimensionamento e detalhamento, é importante que você, arquiteto, saiba como local os pilares quando for realizar a concepção estrutural. Recomenda-se iniciar a locação dos pilares pelos cantos da planta baixa. Na sequência, os pilares deverão ser localados nas extremidades internas, de tal forma que estejam embutidos nas paredes, não atrapalhando o projeto arquitetônico.

Além disso, indica-se a locação dos pilares de forma a estarem alinhados, formando pórticos com as vigas e contribuindo para a estabilidade da edificação. Normalmente, os pilares são localados de tal forma que seus eixos tenham entre 4 e 6 metros de distância. O maior problema relacionado a pilares com distâncias muito grandes está associado à produção de vigas com dimensões incompatíveis, que resultam em maiores custos à construção, pois, além das dimensões maiores das vigas, os pilares necessitarão de seções transversais maiores, com maiores taxas de armadura, dificultando também a montagem da armadura e das formas, entre outros.

Em contrapartida, pilares muito próximos também não são recomendados, pois podem acarretar em problemas de sobreposição da fundação ou da área de solo onde a tensão é distribuída, além do aumento do consumo de materiais e de mão de obra, afetando os custos desfavoravelmente. Portanto, quando você, arquiteto, estiver trabalhando na concepção de um projeto, leve todos esses pontos em consideração. Mas, lembre-se de que um engenheiro deverá realizar o cálculo estrutural.

Conforme já estudamos nesta seção, a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece algumas dimensões mínimas para pilares que devem ser respeitadas no pré-dimensionamento. Apenas para lembrarmos, a área mínima dos pilares deve ser de 360 cm², e a menor dimensão dos pilares deve ser de 19 cm, entretanto são permitidos pilares com seções entre 19 e 14 cm, caso os esforços sejam majorados.

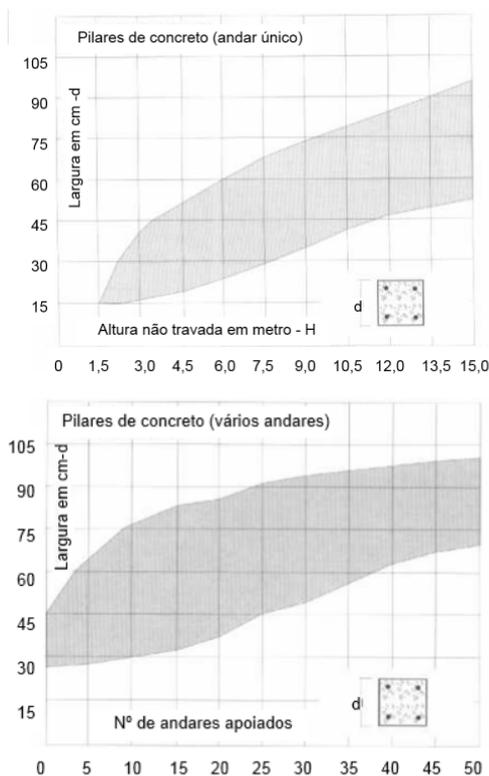


Saiba mais

Pesquise mais sobre os limites de dimensões estabelecidos na NBR 6118 (ABNT, 2014), disponível na Biblioteca Virtual (clique no ícone do parceiro Target GEDWeb). O item que trata sobre esse assunto é o 13.2, nas páginas 73 a 78.

Para o pré-dimensionamento dos pilares, podemos utilizar os ábacos apresentados na Figura 4.5. Quando se tratar de uma edificação em andar único, o primeiro ábaco deverá ser utilizado e, quando se tratar de vários andares, o segundo ábaco é o mais indicado. Para utilizar o primeiro ábaco, basta entrar com a altura do pilar sem nenhum travamento e escolher uma largura para este que esteja dentro do intervalo. Para o segundo ábaco, é necessário entrar com o número de andares apoiados sobre aquele determinado pilar, retirando também a largura da seção dentro do intervalo determinado.

Figura 4.5 | Pré-dimensionamento de pilares em andar único e em vários andares



Fonte: adaptada de Fay (2006, p. 88-89).

Podemos observar que, a partir dos ábacos, as seções transversais dos pilares são quadradas. Muitas vezes, em projetos estruturais, as seções retangulares são mais empregadas, justamente para que os pilares fiquem embutidos nas alvenarias. Porém, este é só um pré-dimensionamento para a concepção do projeto arquitetônico, pois, para o projeto estrutural, um engenheiro deverá ser consultado.



Refleta

Para uma edificação de cinco pavimentos, quais seriam as seções indicadas para os pilares de cada pavimento? Seria vantajoso, neste caso, trabalhar com diferentes seções?



Exemplificando

Imagine que você, arquiteto, esteja trabalhando na concepção de um projeto arquitetônico de um andar, apenas, e precisa localizar os pilares para passar ao projetista estrutural a localização deles, de forma a não interferirem no projeto arquitetônico. Considere que a altura dos pilares é de 2,5 metros, desta forma, utilizando o ábaco, a seção pode ter entre 15 a 30 cm. Porém, se calcularmos a área de uma seção quadrada de 15 cm, observamos que ela não atingirá a área mínima exigida pela norma. Desta forma, o mais sábio a se fazer é adotar uma seção quadrada de 19 cm de lado, atingindo a área mínima estabelecida na NBR 6118.

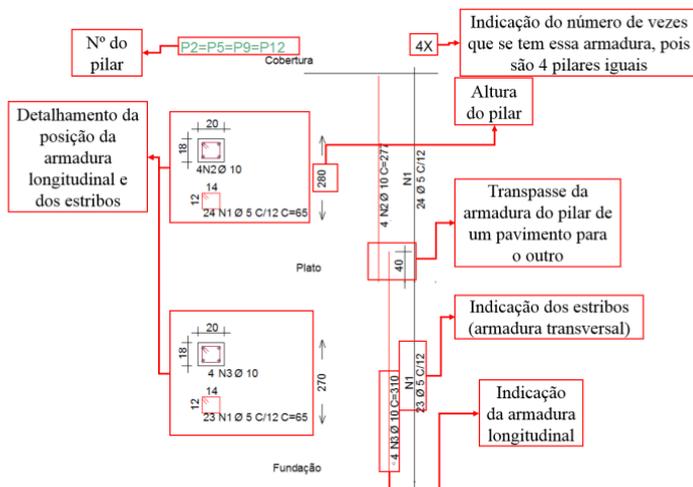
Caso estivéssemos trabalhando com um edifício com mais de um pavimento, cada pavimento pode apresentar uma diferente seção de pilar, pois o pilar do primeiro pavimento precisa sustentar a carga dos pilares dos pavimentos acima dele. Observe que, no ábaco, pede-se para entrar com o número de andares apoiados, e não simplesmente com o número de pavimentos.

Existem também arquitetos que preferem manter a seção transversal do pilar ao longo de todos os andares, primeiramente, por se tratar de um pré-dimensionamento. Mas, quando são poucos pavimentos, a maioria dos engenheiros calculistas também prefere essa solução, pois pode-se reutilizar as formas dos pilares para todos os pavimentos, além de facilitar a execução.

Quanto ao detalhamento do projeto estrutural, pode-se seguir o exemplo repassado na Figura 4.6. Lembre-se de que o detalhamento do projeto é fundamental para que a execução seja realizada de forma adequada, portanto o projeto precisa estar claro e bem detalhado. Além disso, você, como

arquiteto, precisa ter conhecimento deste detalhamento, para que saiba ler projetos e, assim, possa conferir a colocação das armaduras nas obras em que acompanhar a execução.

Figura 4.6 | Exemplo de detalhamento de projetos estruturais de pilares em concreto armado



Fonte: elaborada pela autora.

Sendo assim, agora, você já adquiriu diversos conhecimentos importantes sobre o comportamento de pilares, suas características, pré-dimensionamento e detalhamento. Aplique esse conhecimento quando for realizar a concepção dos projetos arquitetônicos, tomando cuidado com a locação dos pilares e sabendo como interpretar os projetos estruturais. Ainda, é importante que você saiba que a maioria dos problemas relacionado às estruturas é voltada a erros no projeto estrutural (principalmente, relacionados à carga aplicada) ou a erros na execução das edificações. Quanto ao projeto estrutural, a atribuição é dos engenheiros civis, mas, quanto à execução das estruturas, você, como arquiteto, tem atribuição para emitir Registro de Responsabilidade Técnica (RRT) de execução de obras. Portanto, haja com responsabilidade e não se esqueça dos conceitos importantes repassados até o momento.

Sem medo de errar

Relembrando da situação que você está envolvido no seu escritório, em que você e seu estagiário estão trabalhando na continuidade de um projeto para um cliente, com foco, agora, nos pilares da edificação. Enquanto você explicava ao seu estagiário sobre as particularidades dos pilares, ele lhe

questionou sobre alguns pontos, relacionados, principalmente, à flambagem e ao pré-dimensionamento de pilares.

Você explicou a ele que a flambagem é a perda de estabilidade lateral de uma peça ao sofrer compressão e que, caso o projeto estrutural não tenha levado em consideração esse aspecto, o pilar tende a se deformar, podendo até levar a estrutura ao colapso. A flambagem ocorre em pilares longos, quando cargas excêntricas são geradas, fazendo com que haja uma distribuição desigual de esforços ao longo da seção, resultando na instabilidade lateral ou de torção dos pilares. Desta forma, o pilar começa a sofrer deformações, e sua estrutura interna não é capaz de voltar à seção para a condição inicial.

Para evitar a flambagem, várias medidas podem ser tomadas pelo engenheiro calculista durante a elaboração do projeto estrutural, entre elas, pode-se citar o dimensionamento correto dos estribos e o travamento dos pilares.

Quanto ao pré-dimensionamento dos pilares, você explicou que é para fins da concepção do projeto, pois, após o projeto arquitetônico estar finalizado, um engenheiro realizará o projeto estrutural. Porém, você, como arquiteto, pode indicar os locais onde os pilares não influenciarão no projeto de arquitetura, para tal, o pré-dimensionamento é importante, assim como a locação dos pilares.

Após todas essas explicações, você solicitou que seu estagiário fizesse o pré-dimensionamento dos pilares do projeto residencial em que você está trabalhando. Sabendo que a altura dos pilares é de 3 metros, ele deveria indicar a melhor seção transversal para os pilares e verificar se ela respeita o estabelecido na NBR 6118 (ABNT, 2014).

A partir do uso do ábaco da Figura 4.5, do *Não pode faltar*, podemos analisar que, para uma altura de 3 metros, quando se trata de apenas um pavimento, a dimensão do pilar pode ser, em média, entre 16 e 43 cm. Como a área de seção mínima para os pilares é de 360 cm^2 e o lado mínimo é de 19 cm, o indicado seria utilizar seções entre 20 e 40 cm de lado, de tal forma que estas estejam compatíveis com o projeto arquitetônico. Vale destacar que o pré-dimensionamento utilizado é apenas para seções quadradas, mas o engenheiro calculista poderá propor soluções retangulares, fazendo com que os pilares fiquem embutidos na alvenaria, melhorando o design do ambiente.

Pré-dimensionamento de pilares para múltiplos pavimentos

Descrição da situação-problema

Na concepção do projeto de um triplex, você precisará informar a locação dos pilares para o projetista estrutural de forma que seu projeto arquitetônico esteja consolidado. Considere que a altura dos pilares será de 3 metros nos pavimentos inferiores e de 4,5 metros no pavimento superior, onde será a área de lazer. Utilize os ábacos da Figura 4.5, do *Não pode faltar*, e a NBR 6118 (ABNT, 2014) para definir o pré-dimensionamento mais indicado para a seção quadrada dos pilares de cada pavimento. Caso se deseje optar por uma seção constante para os pilares de toda a edificação, qual será o valor indicado no pré-dimensionamento?

Resolução da situação-problema

Iniciando o pré-dimensionamento pelo pavimento superior, deve-se utilizar o ábaco para andar único. Para a altura de 4,5 metros que foi solicitada, o pilar deverá ter uma seção quadrada com largura de, aproximadamente, 20 a 50 centímetros. No andar intermediário, deverá utilizar o ábaco para vários andares, sendo o valor de andares apoiados igual a 1. Nesse caso, a largura do pilar deverá ser de, aproximadamente, 27 a 45 centímetros. Por fim, no pavimento inferior, considerando dois andares apoiados, o pilar deverá ter largura de aproximadamente 28 a 60 centímetros.

A NBR 6118 estabelece que a seção de um pilar deve ter, no mínimo, 19 centímetros de lado, podendo ser de 14 centímetros, desde que a área da seção seja, no mínimo, de 360 cm^2 . Sendo assim, como pelo ábaco se estabelece uma seção quadrada e o valor de sua aresta, todos os pré-dimensionamentos encontrados se enquadram na norma.

Por se tratar de uma edificação de apenas três pavimentos, é indicado padronizar a seção do pilar, a fim de evitar erros no processo executivo, bem como reutilizar as formas. Nesse caso, deverá ser definido um intervalo, no qual todas as seções dos pilares estejam compreendidas. Verificando as seções encontradas pelo ábaco, temos:

- Pavimento inferior: 20 a 50 cm.
- Pavimento intermediário: 27 a 45 cm.

- Pavimento superior: 28 a 60 cm.

Assim, o intervalo pré-dimensionado para o valor da seção quadrada única será entre 28 e 45 centímetros.

Faça valer a pena

1. Aprendemos que as armaduras são utilizadas nas estruturas de concreto armado para diversos propósitos e que o detalhamento delas é de fundamental importância para que o projeto seja executado corretamente. Cada armadura tem uma função específica nas estruturas.

Neste contexto, qual é a armadura utilizada em pilares para combater os esforços de flambagem? Assinale a alternativa correta.

- Armadura de transpasse.
- Armadura longitudinal.
- Armadura transversal.
- Armadura de ancoragem.
- Armadura positiva.

2. Pilares são elementos estruturais verticais de grande importância no projeto estrutural de edificações. Esses elementos estão submetidos a cargas de compressão axial, a qual, normalmente, é centrada, mas quando existem cargas excêntricas, os pilares podem sofrer flexão composta normal ou oblíqua, que ocorre pela atuação combinada da força normal e do momento fletor sobre o pilar.

Qual das situações apresentadas a seguir é acarretada na flexão composta oblíqua? Assinale a alternativa correta.

- Carga no centro do pilar, não resultando em momentos.
- Carga excêntrica a um dos eixos, resultando em momentos nos dois eixos.
- Carga excêntrica a um dos eixos, resultando em um momento em apenas um dos eixos.
- Carga excêntrica aos dois eixos (x e y), resultando no momento em x .
- Carga excêntrica aos dois eixos (x e y), resultando em momento nos dois eixos.

3. A flambagem em pilares não depende apenas da altura dos pilares, ela é influenciada também pelas tensões crescentes de compressão e pela liberdade de movimentação do pilar. Desta forma, quanto maior o índice de esbelteza, mais baixo será o esforço crítico que resultará na flambagem.

Quanto ao travamento dos pilares, qual acarreta em uma menor flambagem? Assinale a alternativa correta.

- a) Ambas as extremidades engastadas.
- b) Uma extremidade com junta de pino e outra engastada.
- c) Ambas as extremidades com junta de pino.
- d) Uma extremidade em balanço e outra engastada.
- e) Duas extremidades rotuladas.

Estruturas pré-fabricadas de concreto

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção, estudaremos sobre as estruturas de concreto pré-fabricadas. Você sabia que a construção civil tem sido considerada uma indústria atrasada quando comparada a outros ramos industriais? Tal consideração é baseada no fato de ela apresentar, de maneira geral, baixa produtividade, grande desperdício de materiais e baixo controle de qualidade.

Uma das tecnologias presentes no mercado que busca diminuir esse atraso é a associação das técnicas à utilização de elementos pré-moldados e pré-fabricados de concreto. Se essa tecnologia tem essas características, você, como arquiteto, precisa conhecê-la.

Estudaremos, nesta seção, primeiramente, uma introdução aos elementos pré-fabricados; na sequência, aprenderemos sobre o processo de produção dessas estruturas, suas vantagens e desvantagens; e, por fim, conheceremos exemplos da aplicação dessa tecnologia em obras residenciais e prediais.

Relembrando da situação em que você está envolvido no seu escritório de arquitetura, no qual o seu cliente pediu para que, em paralelo ao projeto residencial que você está elaborando, trabalhasse também na concepção de um galpão, pois ele tem propriedades rurais e está precisando construir um galpão para guardar seu maquinário agrícola.

Por ele já ter contratado seu escritório para efetuar o projeto e a execução da sua residência e ter gostado do seu trabalho, ele também te contratará para mais esse projeto e execução. Na sua primeira reunião com seu cliente, você apresentou a ele a possibilidade da execução desse galpão em estruturas pré-fabricadas, por ser um sistema construtivo rápido de ser executado, principalmente para a construção de galpões. Considerando também que o galpão ficará na fazenda do seu cliente, onde existe uma grande área disponível para a construção do canteiro de obras.

Pelo fato do seu cliente não conhecer esse método construtivo, ele solicitou que você listasse as vantagens e desvantagens deste sistema, pois ele está disposto a avaliar a viabilidade da aplicação desse método para a construção do galpão na sua propriedade rural. Quais informações você deverá repassar a ele? Quais cuidados devem ser tomados com as peças pré-fabricadas? Qual é a grande vantagem da utilização de pré-fabricados na construção de galpões para armazenamento de implementos agrícolas?

Você, como arquiteto, deverá saber responder a esses questionamentos levantados, mas não se preocupe, pois ao longo desta seção você aprenderá tudo sobre os pré-fabricados. Bons estudos!

Não pode faltar

Como você deve ter percebido ao longo dos nossos estudos de Sistemas Estruturais I, a tecnologia dos sistemas estruturais vêm evoluído constantemente, permitindo que os processos construtivos se tornem cada vez mais seguros, eficazes e que otimizem o tempo da construção. Os sistemas pré-moldados e pré-fabricados são um exemplo disso.

Introdução às estruturas pré-fabricadas

Um grande avanço na área dos sistemas estruturais foi a concepção e o desenvolvimento das estruturas pré-fabricadas e pré-moldadas. Esse sistema é largamente utilizado em diversos tipos de construção, tem boa versatilidade arquitetônica, reduz o tempo de execução da obra, além de permitir rígido controle de segurança e ter um bom custo-benefício.



Assimile

Quando uma estrutura é moldada fora do seu local definitivo, diz-se que é uma estrutura pré-moldada. De acordo com a NBR 9062 (ABNT, 2017), as estruturas pré-moldadas podem ser confeccionadas tanto no local da obra quanto em uma fábrica. No caso de serem confeccionadas em uma fábrica, fora do canteiro de obras, elas são chamadas de pré-fabricadas. É importante que haja essa distinção, pois toda estrutura pré-fabricada é pré-moldada, mas a recíproca nem sempre é verdadeira. Embora haja distinção entre os termos, as requisições de qualidade e padronização solicitadas pela norma são as mesmas.



Exemplificando

O elemento é considerado pré-fabricado se for realizado em uma indústria de pré-fabricados, a qual tenha um elevado controle de qualidade. O concreto pré-moldado, por sua vez, poderá ser executado em locais mais rudimentares, sem um controle tecnológico tão rigoroso. Como exemplo de uma estrutura de concreto pré-moldado, podemos citar elementos estruturais pré-moldados em um canteiro de obras, que posteriormente serão desformados, transportados e alocados no local previsto em projeto.

Elementos de concreto pré-fabricados, como telhas, pilares, lajes e vigas, são utilizados em grandes construções, como shoppings, aeroportos, estádios, edifícios comerciais e residenciais, estacionamentos e pavilhões industriais, mas também em edificações menores, como coberturas, galpões, escadarias e até mesmo residências. As figuras 4.7 e 4.8 ilustram exemplos de elementos pré-fabricados.

Figura 4.7 | Peças pré-fabricadas



Fonte: Pré-fabricados (2015, p. 18).

Figura 4.8 | Telhas e escadas pré-fabricadas



a)



b)

Fonte: Pré-fabricados (2015, p. 140 e 145).



Refleta

As inovações surgem quando se enfrenta uma dificuldade e se busca uma solução. Você pode imaginar em qual contexto surgiu a necessidade de se ter estruturas de concreto pré-fabricadas?

Processo de produção das estruturas pré-fabricadas

A confecção das estruturas pré-fabricadas requer rígido cumprimento dos procedimentos e das normas, para que se possa garantir a confiabilidade dos produtos executados. Além da fabricação propriamente dita, o armazenamento interno e o transporte dessas peças até o local da obra também requerem cuidados específicos.

Na produção do concreto armado pré-fabricado, podem ser utilizados aços CA-50 e CA-60, de acordo com a NBR 7480 (ABNT, 2007). Já no caso da fabricação de lajes, painéis, telhas e estacas, quando se utilizar concreto protendido, devem ser utilizados fios e cordoalhas, conforme as normas NBR 7482 (ABNT, 2008a) e NBR 7483 (ABNT, 2008b).



Saiba mais

Para adquirir mais conhecimento sobre as especificações normativas quanto ao uso de concreto pré-moldado e protendido, leia as normas disponíveis na Biblioteca Virtual: NBR 9062 (ABNT, 2017) e NBR 7480 (ABNT, 2007).

Durante a concretagem das peças, deve-se ter cuidado especial com o acabamento destas, observando rigidamente a etapa de vibração, para garantir um acabamento perfeito. Para eliminar o processo de vibração, pode-se utilizar o concreto autoadensável (CAA), o qual reduzirá o índice de formação de bolhas e proporcionará um melhor acabamento superficial, quando comparado ao concreto convencional.

Conforme já estudamos, para a confecção de peças pré-fabricadas, normalmente, é utilizado o cimento CP V ARI, pela sua rápida cura e desforma. Mas é preciso ter atenção com processo de desforma, pois, para garantir que as peças sejam resistentes a todos os esforços empregados durante o transporte, içamento e montagem, o processo de desforma só poderá ocorrer assim que as resistências iniciais especificadas forem atingidas.

O tempo de cura do concreto pré-fabricado é variável, cerca de sete dias, quando o cimento CP V ARI é empregado. A cura do concreto pré-fabricado pode ser feita da maneira tradicional, cobrindo a superfície do concreto com água, ou impedindo a evaporação da água, cobrindo a superfície com um filme plástico. Também, pode ser utilizada a cura térmica, na qual se aplica vapor de água na superfície, agilizando a reação de hidratação do cimento. Dessa forma, o período entre o término da concretagem e o saque da peça da sua forma será reduzido, otimizando o uso das formas e reduzindo a quantidade de formas necessárias.

Quando a peça estiver finalizada, sua qualidade deverá ser testada por meio de ensaios em laboratório através da análise de corpos de prova, verificando se os valores de resistência à compressão, ao módulo de elasticidade, entre outras propriedades, estão dentro do solicitado em projeto. Também, devem conferidas as tolerâncias dimensionais e geométricas, como paralelismo entre as faces, rugosidade, cilindricidade, simetria, entre outras, que podem ser requisitadas.

Figura 4.9 | Ensaio de cisalhamento em laje alveolar e controle dimensional em pilar



Fonte: Pré-fabricados (2015, p. 190 e 191).

Para evitar trincas, fissuras e outros danos à peça acabada, a desforma e o transporte interno devem ser cuidadosamente realizados. Para tal, os equipamentos de transporte, como pontes rolantes e pórticos, devem estar com sua manutenção em dia, e os procedimentos de segurança e os limites dos equipamentos devem ser respeitados. Também, podem ser inseridas alças nas peças, para facilitar e padronizar o ponto por onde elas serão içadas.

Para o transporte até o local da obra, deve-se solicitar uma carreta que cumpra as exigências de carga e de dimensões das peças a serem transportadas. Naturalmente, a manutenção deve estar em dia, evitando falhas mecânicas que poderão resultar em prejuízos às peças.

As peças devem ser protegidas com calços, para evitar que sejam danificadas por choque ou atrito devido à movimentação do veículo, conforme ilustra a Figura 4.10, devendo-se ter cuidado especial com as quinas das peças, para que o acabamento não seja prejudicado.

Figura 4.10 | Transporte de grandes peças de concreto pré-fabricado



Fonte: Pré-fabricados (2015, p. 73).

Também devem ser utilizadas cintas ou cabos de aço na amarração das peças, impedindo que elas deslizem, o que poderia causar danos a elas e até mesmo graves acidentes.

A rota do transporte deve ser bem avaliada, evitando locais de trânsito intenso, onde acelerações e desacelerações seriam constantes. Dentro das possibilidades, também é importante evitar rotas nas quais o asfalto é de má qualidade, a fim de evitar solavancos.

Para descarregar as peças na obra e realizar sua movimentação no interior do canteiro de obras, é preciso utilizar equipamentos, como muncks, guindastes e gruas, atendendo às recomendações do fabricante, a fim de se evitar acidentes e danos às estruturas. A Figura 4.11 ilustra a instalação de pilares e vigas pré-fabricadas.

Figura 4.11 | Instalação de pilares e vigas pré-fabricadas com auxílio de autogruas



Fonte: Pré-fabricados (2015, p. 22).

Vantagens e desvantagens dessa solução

As estruturas pré-fabricadas, como o próprio nome sugere, são estruturas fabricadas fora do canteiro de obras em uma fábrica especializada, fazendo com que o espaço do canteiro de obras seja otimizado, pois não será necessário separar uma área para fim de preparar as estruturas para que sejam moldadas *in loco*. Neste contexto, o canteiro não necessita de um local para armação das ferragens, sem deixar de mencionar que a velocidade de execução da obra aumenta muito quando esse método é utilizado, pois os

elementos não precisarão ser concretados e também não será necessário aguardar o período de cura deles para iniciar o carregamento.

De acordo com Van Acker (2002), outra vantagem de se produzir estruturas em um fabricante especializado e com mão de obra treinada para esse fim é a otimização do processo. Como a confecção dessas estruturas é padronizada, há uma redução da possibilidade de falhas e aumento na homogeneidade das peças.

As fábricas também podem contar com um processo automatizado no preparo da armadura, na montagem das formas e no lançamento do concreto, o que possibilita um controle de qualidade superior ao que seria oferecido na obra, garantindo segurança à edificação.



Assimile

Quando há a padronização de construções ou elementos construtivos, existe um menor custo no desenvolvimento e na produção, além de menor desperdício de material, levando a um custo final mais atrativo em um menor tempo. Além disso, quando há empresas especializadas na produção de elementos de concreto, há maior facilidade de fiscalização e maior confiabilidade, garantindo que todas as normas sejam seguidas.

Para se utilizar concreto pré-fabricado em uma obra, alguns pontos devem ser respeitados. Primeiramente, é preciso avaliar se na obra em questão a relação custo-benefício será satisfatória. Também, é necessário verificar os modelos de elementos estruturais fornecidos e padronizados, para avaliar se será melhor adequar o projeto aos elementos já padronizados ou desenvolver novos modelos de elemento para a obra.

Além disso, deve-se considerar as restrições para utilização dos pré-fabricados, como a previsão dos espaços para a instalação, facilidades para transporte e montagem e todos os detalhes necessários para a execução do projeto.

É importante que, desde o início do projeto, seja previsto em quais pontos se utilizará a estrutura com a pré-moldagem. Em casos nos quais se queira apenas substituir o método de molde no local pelo pré-fabricado já durante a execução da obra, muitas situações conflitantes poderão ser enfrentadas, as quais causarão problemas relacionados com a incompatibilidade das estruturas com o padrão das fábricas, a impossibilidade de montagem dos pré-fabricados por falta de espaço no canteiro de obras, entre outros. Ou seja, o projeto precisa ser concebido como uma estrutura pré-fabricada, não como uma estrutura moldada *in loco*, na qual serão realizadas adaptações.

Outro fator importante a ser considerado no projeto é a modulação. A utilização de múltiplas peças iguais otimizará a confecção destas, permitindo a fabricação de uma maior quantidade com o mesmo recurso, o que interferirá diretamente no custo da obra, porém poderá limitar o projeto arquitetônico.

No projeto, deve-se também prever as tolerâncias dimensionais. Algumas variações entre o projetado e o executado podem ocorrer tanto na produção como no canteiro de obras. Na fábrica, podem ocorrer variações nas medidas, no alinhamento ou nas formas; no canteiro de obras, pode haver desvio dos eixos e dos níveis da construção. Também, durante a montagem, pode haver alguma divergência no posicionamento e alinhamento dos elementos.

Essas variações nas dimensões executadas devem ser permitidas e, para que não haja dificuldades na execução, é preciso prever tolerância nas ligações entre os elementos e também prever necessidade de almofadas de apoio.

A NBR 9062 (ABNT, 2017) padroniza e fixa as condições de execução e controle nas estruturas de concreto pré-fabricado, tanto para concreto armado quanto para concreto protendido, bem como a interação entre as estruturas pré-fabricadas e as estruturas moldadas *in loco*.

Agora que já conhecemos as principais características dos pré-fabricados, seu processo produtivo e suas vantagens e desvantagens, passaremos para o estudo de alguns exemplos com a aplicação dessa solução.

Exemplos de aplicação dessa solução em obras residenciais e prediais

Obras de grande porte e que exigem grande velocidade de construção utilizam, em sua maioria, os elementos de concreto pré-moldado, mas as aplicações desse sistema são inúmeras. No Brasil, diversas construções famosas utilizam esse método.



Saiba mais

Cada aplicação de concreto pré-fabricado tem suas peculiaridades. Aprenda mais sobre essas aplicações:

VAN ACKER, Arnold. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**. Traduzido por Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo, SP: Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2002. p. 16-22. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/Manual%20Fib.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2018.

A Figura 4.12 ilustra a utilização e montagem através de guias de peças de concreto pré-fabricado na Arena Fonte Nova, em Salvador. Utilizou-se concreto pré-fabricado nas arquibancadas, vigas e pilares, entre outros elementos. Na sequência, a Figura 4.13 mostra a construção de um hospital na cidade de São José do Rio Preto, na qual foi utilizado o concreto pré-fabricado em pilares, vigas, lajes alveolares, escadas, terças e calhas.

Figura 4.12 | Utilização de concreto pré-fabricado em uma obra de grande porte



Fonte: Pré-fabricados (2015, p. 141).

Figura 4.13 | Utilização de concreto pré-fabricado em uma obra de porte médio



Fonte: Pré-fabricados (2015, p. 18).

Tanto em grandes obras com custos finais bilionários como em obras residenciais de pequeno porte pode-se utilizar a tecnologia do concreto pré-fabricado. Cabe a você, como arquiteto, conhecer as novidades do mercado e recomendar a melhor solução para os seus clientes. Lembre-se de que o projeto de estruturas pré-fabricadas deverá ser realizado por um engenheiro com experiência, mas você tem atribuição para executar obras, logo precisa conhecer as particularidades desses elementos e os cuidados na sua execução.

Agora que você já conhece as estruturas pré-fabricadas, vamos relembra-los a situação em que está envolvido no seu escritório de arquitetura. Seu cliente lhe contratou para realizar um galpão, além do projeto residencial que você já estava trabalhando. O galpão será implantado nas propriedades rurais do seu cliente e será utilizado para guardar o maquinário agrícola da fazenda.

Na sua primeira reunião com seu cliente sobre o galpão, você apresentou a ele a possibilidade da execução da obra em estruturas pré-fabricadas, por ser um sistema construtivo rápido de ser executado, principalmente para a construção em questão.

Pelo fato do seu cliente não conhecer esse método construtivo, ele lhe fez alguns questionamentos e solicitou que você fizesse uma listagem das vantagens e desvantagens da aplicação do sistema de pré-moldados para a execução do galpão, para que ele possa analisar a viabilidade desse método.

Você deverá, então, repassar a ele as seguintes informações:

Vantagens:

- Rapidez na execução.
- Otimização do canteiro de obras.
- Otimização dos processos de execução.
- Redução da possibilidade de falhas.
- Aumento da homogeneidade das peças.
- Maior controle de qualidade.
- Menor desperdício de material.
- Maior confiabilidade.

Desvantagens:

- Necessita de mão de obra qualificada.
- É necessário ter espaço no canteiro de obras para a movimentação das peças, assim como local para os equipamentos necessários para locá-las nos pontos previstos em projeto.
- Projeto precisa prever tolerâncias dimensionais, pois algumas variações entre o projeto e o executado são normais.

Vale destacar que, quanto mais padronizada forem as edificações, melhor será o custo benefício da utilização de pré-fabricados.

Mas, agora, depois de listar as vantagens e desvantagens desse método construtivo, você precisa ligá-los à edificação que o seu cliente construirá. Primeiramente, seu cliente falou que há um grande espaço na fazenda para servir de canteiro de obras, então a necessidade de espaço para manusear e locar os elementos pré-moldados não será um problema.

Você deverá, ainda, apresentar ao seu cliente que a solução em pré-fabricados é ideal para a construção do galpão, pois além de todas as vantagens citadas, galpões são facilmente modulados, fazendo com que as peças pré-fabricadas sejam padronizadas, permitindo a fabricação delas com um menor custo, o que influenciará positivamente no custo da obra.

Desta forma, seu cliente conseguirá perceber que essa tecnologia é a melhor solução para a construção do galpão.

Controle da qualidade no processo produtivo de estruturas pré-moldadas

Descrição da situação-problema

Um antigo cliente do seu escritório de arquitetura está fazendo um novo projeto para a construção de uma galeria comercial, na qual haverá intenso fluxo de pessoas. Dada a necessidade de rápida conclusão do projeto, seu cliente decidiu optar pela utilização de concreto pré-fabricado. No entanto, por ser a primeira vez que ele utilizará esse método, ainda tem dúvidas sobre a confiabilidade desse sistema. Então, ele solicitou que você selecionasse o fornecedor das peças de concreto pré-fabricado e que se certificasse da qualidade desses produtos. Quais pontos você deverá avaliar e quais cuidados deverá tomar para que as peças cheguem à obra com a qualidade desejada?

Resolução da situação-problema

Primeiramente, você deverá se certificar de que o fornecedor escolhido utiliza matéria-prima de boa qualidade, de acordo com as normas para cada tipo de peça. Você deverá conferir o acabamento exterior da peça, garantindo, assim, que a etapa de vibração foi bem executada ou que se utilizou concreto de boa qualidade.

Você deverá observar se o processo de desforma foi bem executado e que ocorreu no tempo certo, observando os testes para as resistências iniciais especificadas. Além disso, será preciso conferir se os ensaios de resistência à compressão, o módulo de elasticidade, entre outras propriedades realizadas nos corpos de prova, apresentaram resultados dentro do exigido pelo projeto.

Outro ponto importante é a conferência das tolerâncias dimensionais e geométricas. Você deverá avaliar o paralelismo entre as faces, a rugosidade, a cilíndricidade, as dimensões da peça, dentre outros fatores que se fizerem necessários.

Por fim, você deverá se certificar que o transporte da peça até o local da obra seja adequado, observando se o veículo de transporte é próprio para esse transporte, se a rota é a melhor possível, além de garantir que o descarregamento das peças na obra seja feito da maneira recomendada.

Dessa forma, você garantirá ao seu cliente que todas as especificações do projeto serão cumpridas e que a obra terá garantia de funcionalidade, segurança e velocidade de execução.

1. As estruturas de concreto pré-fabricado caracterizam-se por ser uma tecnologia que traz diversas vantagens para a construção civil, principalmente quando comparadas às estruturas de concreto moldadas *in loco*. Essa tecnologia já é aplicada no Brasil para construções comerciais e residenciais.

Leia as afirmativas a seguir:

- I. As peças pré-moldadas apresentam rapidez na execução da obra.
- II. Estas peças não necessitam de mão de obra qualificada para a execução.
- III. As estruturas pré-moldadas apresentam um elevado controle de qualidade e também otimizam o canteiro de obras.
- IV. A partir do uso de estruturas pré-moldadas, há uma redução da possibilidade de falhas.

Assinale a alternativa correta.

- a) As afirmativas I e III estão corretas, apenas.
- b) As afirmativas I e IV estão corretas, apenas.
- c) As afirmativas III e IV estão corretas, apenas.
- d) As afirmativas I, II, III e IV estão corretas.
- e) As afirmativas I, III e IV estão corretas, apenas.

2. A utilização de processos construtivos industrializados que reduzem o trabalho em obra tem ganhado destaque no mercado brasileiro, sendo que o sistema de estruturas pré-fabricadas de concreto pode ser usado em qualquer tipo de obra, em especial, naquelas que priorizam a repetitividade de peças.

Sobre os pré-fabricados, leia as afirmativas e marque V para as verdadeiras e F para as falsas.

- () Quando uma estrutura é moldada fora do seu local definitivo, diz-se que é uma estrutura pré-moldada.
- () Quando as estruturas são confeccionadas em uma fábrica fora do canteiro de obras, elas são chamadas de pré-fabricadas.
- () Toda estrutura pré-fabricada é pré-moldada.
- () Toda estrutura pré-moldada é pré-fabricada.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta entre verdadeiros e falsos.

- a) V - V - F - V.
- b) V - F - F - V.
- c) F - V - F - V.
- d) V - V - V - F.
- e) F - V - V - F.

3. A confecção das peças de concreto pré-fabricadas requer rígido controle da sua qualidade. É necessário que as normas e as boas práticas sejam seguidas para que o produto final tenha a qualidade desejada e possa ser empregado com segurança.

Sobre a confecção de elementos de concreto pré-fabricado, avalie as afirmativas a seguir:

I. Na fabricação de telhas de concreto protendido pré-fabricado, deve-se utilizar aço CA-50.

II. O processo de vibração é indispensável na produção de peças pré-fabricadas.

III. Variações nas dimensões e na geometria solicitadas no projeto são permitidas dentro de um limite.

IV. Para se otimizar o tempo de cura é possível aplicar vapor de água na superfície da peça.

Estão corretas as afirmativas:

a) I, II e III, apenas.

b) I, III e IV, apenas.

c) II e IV, apenas.

d) III e IV, apenas.

e) II e III, apenas.

Elementos de fundação em concreto

Diálogo aberto

Caro aluno, encerraremos os nossos estudos de Sistemas Estruturais I aprendendo sobre as fundações das edificações. Você deve estar se perguntando o porquê de as fundações serem o último tópico do nosso estudo, já que nas obras elas são as primeiras a serem executadas. Mas você já parou para pensar que, para as fundações serem dimensionadas, todas as cargas das edificações, inclusive o peso próprio dos elementos estruturais, precisam ser determinados? Desta forma, as fundações são projetadas após a finalização dos projetos estruturais das lajes, vigas e pilares.

As fundações fazem parte da infraestrutura da edificação e são de grande importância para a estabilidade das obras. Mas, se analisarmos os custos das fundações e compararmos com o custo total da obra, as fundações são consideradas baratas. Porém, caso haja erro de projeto ou de execução que acarrete em patologia de fundação, como os recalques, para corrigi-lo, os custos são muito maiores. Por esse motivo, você precisa ter muito cuidado quando executar a fundação em obras.

Relembrando da problemática em que você, enquanto arquiteto, em seu escritório, já trabalhou sobre as lajes, vigas e pilares do projeto residencial de um cliente. Agora, chegou a hora de solucionar os problemas relacionados à fundação dessa edificação. É importante que você saiba que o projeto de fundações deve ser elaborado por um engenheiro geotécnico com experiência na área, devido à complexidade envolvida, pois caso seja feito de forma inadequada, as patologias serão muito sérias, custosas e de difícil solução.

Nós vimos até aqui que as cargas nas edificações passam pelas lajes, vigas e pilares e são encaminhadas até a fundação das edificações, as quais têm a função de transmitir a carga ao solo. Imagine que no projeto da residência térrea em que você está trabalhando chegou o momento de analisar qual será o tipo de fundação utilizado. Quais cuidados são necessários nesta escolha? Quais são os fatores que influenciam na escolha das fundações?

Suponha que o solo do terreno em que a casa que você está projetando é um solo de baixíssima resistência, que o nível d'água está abaixo de 10 metros de profundidade e que a edificação não tem uma concentração de cargas elevada, porém as casas da vizinhança são antigas. Qual seria a solução ideal para esse projeto? Qual é a justificativa para a sua escolha? Quais são as características dessa fundação?

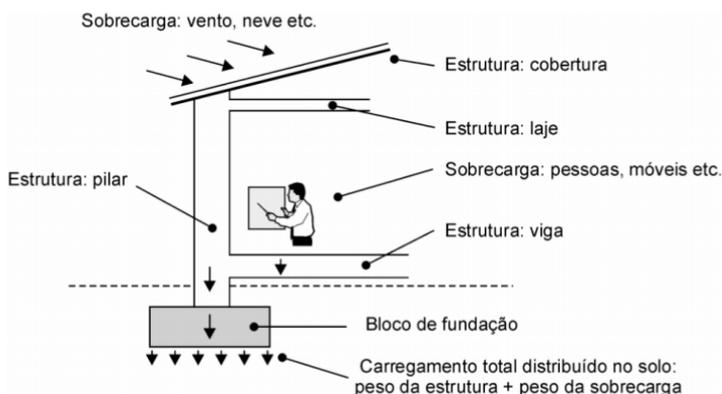
Você encontrará todas as informações para responder a esses questionamentos no *Não pode faltar*. Bons estudos!

Não pode faltar

Introdução às fundações

As fundações são elementos estruturais que devem ser dimensionados para suportar e transmitir para o solo todas as cargas da edificação. Sendo assim, as fundações recebem as cargas dos pesos próprios dos elementos estruturais e também as sobrecargas acidentais, e essas cargas são transmitidas ao solo, conforme ilustra a Figura 4.14.

Figura 4.14 | Esquema das cargas atuantes nas fundações



Fonte: Salgado (2014, p. 46).



Assimile

Você já parou para pensar que as fundações são os primeiros elementos estruturais a serem executados na obra, porém são os últimos a serem dimensionados? Tal fato ocorre porque, para dimensioná-las, é necessário o conhecimento de todas as cargas que atuam na edificação, as quais são determinadas apenas após a finalização do projeto estrutural.

Nós estudaremos nesta seção que existem diversos tipos de fundações e veremos que cada tipo é indicado para uma determinada aplicação que envolve diversos fatores. Entre os pontos principais que influenciam na escolha das fundações para as edificações, podemos citar as limitações das obras circunvizinhas, as cargas que a fundação terá que suportar, a resistência do solo e a profundidade do lençol freático. Entenderemos os cuidados que precisam ser tomados sobre esses pontos na sequência:

- **Limitações da vizinhança:** existem canteiros de obras que são rodeados por residências antigas. Nestes casos, é necessário empregar metodologias executivas de fundações que não gerem muita vibração, evitando o aparecimento de patologias nas edificações circunvizinhas. Além disso, deve-se, primeiramente, visitar a obra para verificar a existência de alagados e afloramento de rochas, que podem prejudicar a implantação da obra.
- **Cargas:** o projeto estrutural definirá quais são as cargas que serão repassadas à fundação, sendo que o solo deve ter a resistência e rigidez necessárias para não sofrerem ruptura, bem como não apresentar deformações excessivas.
- **Características do solo (resistência do solo e profundidade do lençol freático):** existem alguns ensaios geotécnicos que podem ser realizados para determinar essas características. Esses ensaios são importantes, pois existem fundações que não podem ser executadas abaixo do lençol freático. Para a análise da resistência do solo, o ensaio mais utilizado é o SPT (*Standard Penetration Test*). Outro aspecto que deve ser considerado está relacionado com o tipo de solo, pois existem metodologias que são mais indicadas para solos argilosos, por exemplo.

A partir do conhecimento dos limitantes para a escolha das fundações, podemos partir para o estudo das classificações das fundações.

Tipos de fundação e aplicações

A classificação das fundações se dá pela profundidade na qual ocorre a transferência da carga da edificação para o solo e pela forma de transferência dessa carga ao solo. As fundações são consideradas rasas ou superficiais quando a transferência da carga se dá nos primeiros três metros de profundidade, e profundas quando possuem profundidades maiores que três metros; também, podem ser consideradas diretas, quando a transferência de carga se dá pela base da fundação, e indiretas, quando a transferência da carga se dá, principalmente, pelo atrito lateral, tendo uma pequena contribuição da resistência da ponta.

As fundações superficiais são os blocos, sapatas e radiers, e as profundas são as estacas e tubulões. Estudaremos cada um desses tipos de fundação nesta unidade.

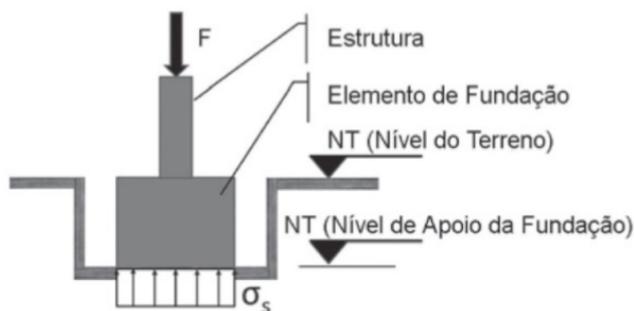
Fundações superficiais

As fundações rasas são os blocos, sapatas e radiers. Conforme já estudamos, nestas fundações, a transferência da carga se dá nos primeiros três

metros de profundidade, e a carga da edificação é transmitida diretamente pela base da fundação ao solo de suporte, sendo desprezada qualquer outra forma de transferência das cargas. Por esse motivo, além de essas fundações serem classificadas como rasas, também são classificadas como diretas.

Outro aspecto importante é que a profundidade (H) desse tipo de fundação deve ser inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação (B), ou seja, $H < 2 \times B$. A Figura 4.15 apresenta um desenho esquemático de uma fundação rasa e direta.

Figura 4.15 | Desenho esquemático de fundação rasa e direta



Fonte: Pinheiro, Crivelaro e Pinheiro (2015, p. 54).

Os **blocos**, de acordo com Pinheiro, Crivelaro e Pinheiro (2015), são elementos isolados de fundações superficiais que não são armados, pois são dimensionados para que o próprio material em que o bloco for executado resista às tensões de tração. Eles podem ser executados de diversos materiais, entre eles: concreto simples, tijolos maciços ou pedras. As fundações em blocos, normalmente, são utilizadas quando a camada resistente do solo está entre 0,5 m e 1,0 m de profundidade.

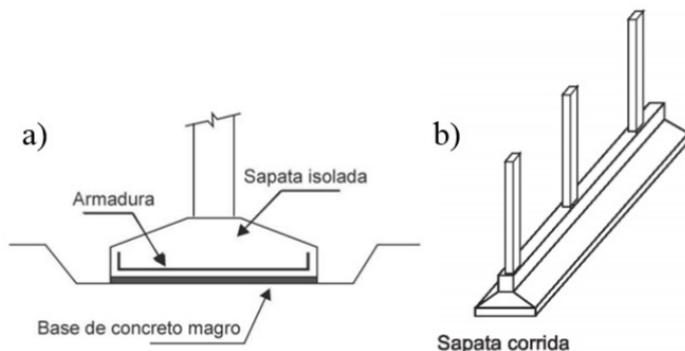
Além dos blocos isolados, que acabamos de estudar, existem também os blocos corridos. Esses elementos são mais utilizados em construções de pequeno porte e têm as mesmas características dos blocos, porém são utilizados de forma contínua, imediatamente abaixo da viga baldrame.

Outro tipo de fundação rasa e direta são as **sapatas**, as quais são executadas em concreto armado, em que o concreto tem função de resistir aos esforços de compressão, e o aço, aos esforços de tração.

Assim como os blocos, existem diferentes tipos de sapatas, entre elas, as sapatas isoladas, corridas, associadas e alavancadas. A sapata isolada é aquela que tem a função de transmitir a carga para o solo de um único pilar. Sua base, geralmente, é piramidal, conforme ilustra a Figura 4.16a.

As sapatas corridas são utilizadas de forma contínua, para suportar a carga de elementos alongados, como muros e paredes, conforme ilustra a Figura 4.16b. As sapatas associadas, por sua vez, são utilizadas para transmitir a carga de dois ou mais pilares. Esse tipo de sapata é empregado quando existem pilares muito próximos e não podem ser utilizadas as sapatas isoladas, pois estas ficariam sobrepostas.

Figura 4.16 | (a) Exemplo de sapatas isoladas e (b) corridas



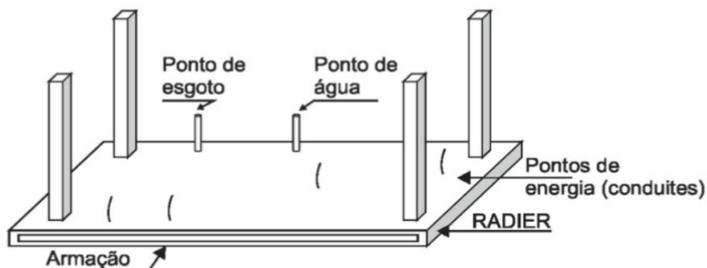
Fonte: Salgado (2014, p. 48 e 51).

Por fim, as sapatas alavancadas são utilizadas em condições de divisa, pois a fundação não pode ultrapassar as divisas do terreno, mesmo que isto seja no subsolo. Neste caso, utiliza-se uma viga alavanca entre duas sapatas.

Esses são os tipos de sapatas que podem ser utilizados, lembrando que se deve escolher a sapata adequada para cada situação, pois cada uma tem características distintas. De forma geral, as sapatas são indicadas para terrenos onde o solo é estável e com boa resistência nas camadas mais superficiais. As principais vantagens da utilização de sapatas são o baixo custo, baixo consumo de concreto, rapidez na implantação e facilidade de execução, já que dispensa uso de equipamentos ou ferramentas especiais.

Dando continuidade aos estudos das fundações rasas, agora estudaremos sobre os **radiers**. Esses elementos são similares às lajes, porém apoiados no solo, e não em vigas e pilares. Neles, são apoiados todos os pilares e os carregamentos da edificação, conforme ilustra a Figura 4.17.

Figura 4.17 | Exemplo de radier



Fonte: Salgado (2014, p. 50).

Este tipo de fundação é utilizado quando as edificações se encontram em locais onde o solo tem baixa resistência para a utilização de sapatas. Como a tensão é igual à força aplicada pela área, aumentando a área da fundação, distribuem-se as cargas aplicadas, reduzindo a tensão no solo. Além disso, para a aplicação desta solução em fundação, o lençol freático precisa estar abaixo do nível de execução do radier.



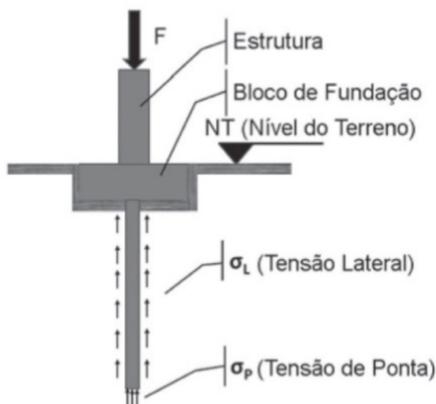
Refleta

Tendo conhecimento sobre as fundações rasas, caso se tenha um solo com uma resistência muito baixa e é necessária a escolha da fundação para se projetar uma residência de pequeno porte nele, qual seria a solução mais indicada para a fundação e por quê?

Fundações profundas

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), as fundações profundas são elementos que transmitem as cargas provenientes da construção para o solo em profundidades maiores que três metros. Além disso, quando a carga é transmitida para o solo por meio da ponta (base), da área lateral (fuste) ou de ambas, conforme ilustra a Figura 4.18, as fundações também são classificadas como indiretas. Nas fundações profundas, o comprimento é significativamente maior do que a sua seção transversal.

Figura 4.18 | Esquemática de uma fundação profunda e indireta



Fonte: Pinheiro *et al.* (2015, p. 54).

As fundações profundas são utilizadas quando o solo não tem resistência suficiente para suportar as cargas da edificação sem grandes deformações nos três primeiros metros de profundidade, ou também quando se tem limitação quanto à profundidade do lençol freático. Para pequenas edificações, a combinação de fatores adversos de suporte de carga pode resultar na necessidade de se recorrer ao uso de fundações profundas. Estacas e tubulões são exemplos de fundações profundas.

Os **tubulões** são fundações profundas que possuem base alargada para transmitir a carga dos pilares ao solo.



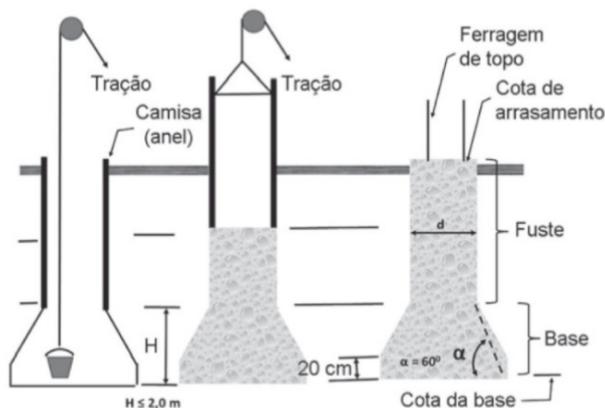
Exemplificando

Como os tubulões transmitem a carga pela base e possuem mais de três metros de profundidade, são classificados como fundações profundas e diretas. Diferentemente do que muitos pensam, nem todas as fundações profundas são classificadas como indiretas.

A escavação para a construção dos tubulões pode ser manual ou mecânica, e a profundidade da escavação deve ser suficiente para encontrar terreno firme e resistente. Os tubulões mais utilizados são os tubulões a céu aberto e a ar comprimido (pneumático).

O tubulão a céu aberto é utilizado em terrenos acima do nível de água, e suas partes estão nomeadas na Figura 4.19. Vale destacar que, de acordo com a NR 18, o diâmetro “d” dos tubulões a céu aberto escavados manualmente deve ser de, pelo menos, 80 cm, para que o operador possa trabalhar livremente.

Figura 4.19 | Exemplo do processo executivo dos tubulões a céu aberto



Fonte: Pinheiro *et al.* (2015, p. 64).

Existem riscos quanto à execução dos tubulões, principalmente em relação à formação de gases nocivos à saúde, que podem até levar a óbito o operário que estiver dentro do tubulão. Além disso, dependendo do tipo do solo, como os pouco coesivos ou arenosos, pode haver desmoronamento do furo, o que novamente coloca em risco a vida do operário. Por esse motivo, deve-se tomar muito cuidado quanto à utilização desse tipo de fundação profunda.

Os tubulões a ar comprimido, por sua vez, são utilizados quando o nível do lençol freático é alto e é difícil de realizar seu rebaixamento, colocando o furo em risco de desmoronamento. A profundidade máxima dos tubulões a ar comprimido é de cerca de 30 metros abaixo do nível da água (PINHEIRO *et al.*, 2015). Para a operação na construção de tubulões a ar comprimido, devem ser respeitadas as normas de segurança especificadas na NR 15 (Anexo 6).

É importante, que você, arquiteto, saiba que um engenheiro com experiência em fundações deverá realizar o projeto. Você precisa saber quais são os tipos de fundações, suas aplicações, limitações e cuidados, pois tem atribuição para executar obras, o que inclui a confecção das fundações.

Dando sequência ao nosso estudo sobre fundações profundas, estudaremos sobre as estacas. As **estacas** são elementos de fundação caracterizados por uma pequena seção transversal e um grande comprimento. Existem diversos tipos de estacas, e sua classificação pode ser de acordo com seu processo de execução, dividindo as estacas em moldadas *in loco* ou cravadas.

As estacas cravadas podem ser pré-moldadas de concreto, de madeira ou metálicas, e podem ser cravadas em solos compressíveis, a partir do uso de bate-estacas. Porém, o processo de cravação gera vibrações, que pode causar manifestações patológicas nas obras vizinhas. Por esse motivo, quando se

optar por estacas cravadas, deve-se tomar muito cuidado com as obras da vizinhança, se possível, fazer uma vistoria e um laudo fotográfico antes do início da obra.

As estacas pré-moldadas de concreto apresentam uma boa resistência e permitem prévia inspeção do material e, por serem construídas em locais controlados, a qualidade dos materiais é maior. As estacas de madeira, por sua vez, são recomendadas para solos com granulometria fina com pequenos comprimentos, nos quais o nível de água é estável. A variação do nível d'água pode acelerar a degradação da estaca, já que ela está suscetível ao apodrecimento pelo crescimento de microrganismos, ação de insetos e ataque por brocas marinhas (BUDHU, 2013).

Por fim, a última das estacas cravadas é a metálica. Estas, normalmente, são confeccionadas em perfis de aço laminados ou soldados. As seções transversais são as mais diversas, e os cuidados que devem ser tomados são em relação à corrosão do material utilizado. Essas estacas são indicadas para solos de ambiente não corrosivo e de elevada capacidade de carga.

Além dessas estacas cravadas, existe a estaca mega, que também é conhecida como estaca prensada ou de reação. Esse tipo de estaca é comumente utilizado como reforço para uma fundação já existente e com o objetivo de aumentar a capacidade de carga ou para correção de manifestações patológicas.

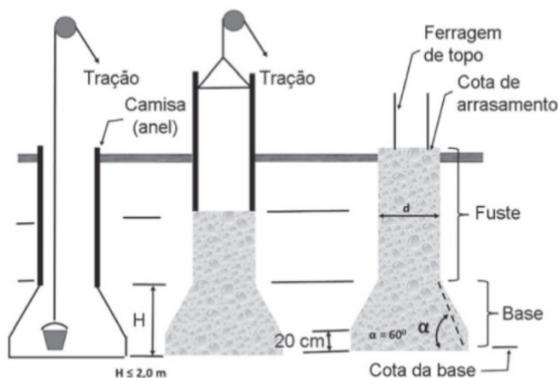
As estacas moldadas *in loco* são muito utilizadas em centros urbanos, por gerarem pouca ou nenhuma vibração, permitirem a inspeção do solo ao longo da escavação e atravessarem camadas mais resistentes que as estacas cravadas. Porém, como desvantagem, tem-se a dificuldade e/ou ausência do controle tecnológico no processo de execução, principalmente nos tipos mais simples. Outro aspecto importante de ser citado é que a execução em solos abaixo do nível d'água requer alguns cuidados específicos.

As estacas escavadas podem ser executadas com trado manual ou mecanizado. As estacas do tipo broca são amplamente utilizadas em projetos de pequenas edificações envolvendo cargas menores. Essas estacas são executadas por um trado de 15 a 25 cm de diâmetro, com profundidades de até seis metros. Para a execução delas, primeiramente, é realizado o furo com um trado manual até a profundidade requerida em projeto. Na sequência, por meio de um pilão, o fundo é compactado e o concreto é lançado e adensado e, por fim, colocam-se as esperas dos pilares. Quando há a necessidade de diâmetros e profundidades maiores, trados mecanizados sem fluidos estabilizantes são utilizados para a execução do furo. Essas estacas são amplamente utilizadas para obras de pequeno e médio porte e alcançam, em média, 20 metros de profundidade, e diâmetros que podem variar entre 0,25 a 1,00 metro, mas só podem ser utilizadas acima do nível d'água. Para obras de

grande porte, as estacas escavadas podem ser executadas abaixo do nível d'água com o auxílio de estabilizantes, podendo ser lama bentonítica ou polímero.

As estacas Franki são executadas a partir da cravação de um tubo de ponta fechada. Elas têm uma grande área de base, superfície lateral muito rugosa e podem ser executadas em grandes profundidades, inclusive abaixo do nível d'água. O processo construtivo das estacas Franki está apresentado na Figura 4.20, e nele o concreto vai sendo apiloado até atingir uma determinada profundidade especificada.

Figura 4.20 | Processo executivo da estaca Franki

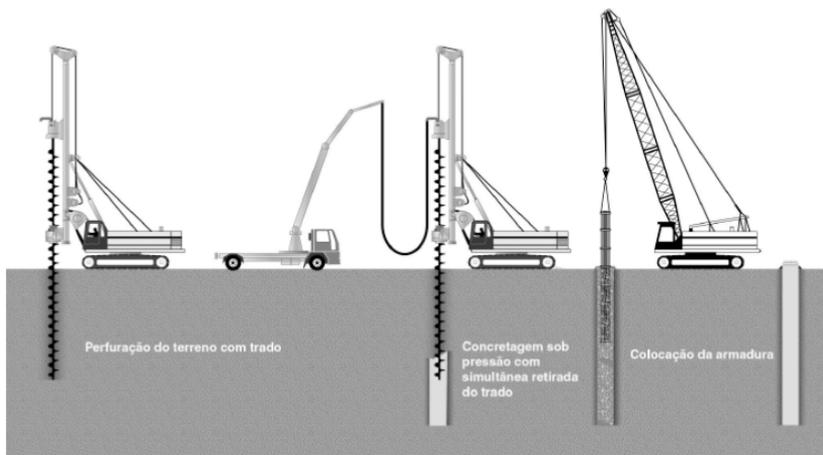


Fonte: Caputo, Caputo e Rodrigues (2015, [s.p.]).

A execução da estaca Strauss, por sua vez, gera pouca vibração e se inicia com a abertura do furo com profundidades de um a dois metros. Na sequência, um tubo dentado é colocado e o furo é executado utilizando-se uma piteira (sonda de percussão) para perfuração. Após o furo ser executado, lança-se o concreto, o qual é apiloado em camadas.

Além dessas estacas, tem-se também a estaca hélice contínua, a qual é realizada a partir de um trado helicoidal contínuo. Após o trado atingir a profundidade requerida em projeto, é realizada a injeção do concreto por uma haste localizada no centro do trado conforme este é retirado. Na sequência, a armadura é posicionada, conforme ilustra a Figura 4.21.

Figura 4.21 | Processo executivo da estaca hélice contínua



Fonte: Caputo, Caputo e Rodrigues (2015, [s.p.]).

Esse tipo de estaca apresenta uma grande vantagem por não provocar vibração durante sua instalação, sendo, portanto, muito usada nos centros urbanos e na construção de edifícios com elevadas cargas. Além disso, a estaca do tipo hélice contínua é completamente monitorada, permitindo um melhor controle de qualidade na execução. No Brasil, as maiores máquinas têm capacidade para escavar diâmetros de até 1,50 m, com 39 m de profundidade. Como desvantagem, essa estaca apresenta um elevado custo e, por esse motivo, o custo benefício de sua aplicação deverá ser bem avaliado.

Outra estaca que pode ser utilizada em obras de médio e grande porte e no caso de problemas de fundação, para o reforço estrutural, é a estaca raiz.



Saiba mais

Para conhecer mais sobre as fundações rasas e profundas e seus detalhes construtivos, leia o Capítulo 3, do livro *Técnicas e Práticas Construtivas para edificações*, disponível na sua biblioteca digital.

SALGADO, J. *Técnicas e práticas construtivas para edificações*. 3. ed. rev. São Paulo: Érica, 2014. p. 46-58. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536505725>. Acesso em: 16 jan. 2019.

É importante ressaltar que se você for o responsável técnico pela execução da obra, deverá conferir com cuidado a locação das fundações, pois se ela for realizada fora dos pontos especificados em projeto, isso impactará em toda a edificação, causando diversos problemas.

Agora que você já adquiriu um vasto conhecimento sobre as fundações, vamos relembra da problemática que você está envolvido no seu escritório. Você está trabalhando em um projeto residencial pequeno, para um cliente, e chegou a hora de decidir qual é a fundação ideal para aquela edificação. As características do projeto e do terreno onde a edificação será executada são:

- Solo do terreno tem baixíssima resistência.
- Nível d'água abaixo de 10 metros de profundidade.
- Edificação não tem uma concentração de cargas elevadas.
- Vizinhança é composta por casas antigas.

Frente a essas informações, para escolher a fundação mais adequada, você precisa ter alguns cuidados em relação a três fatores que influenciam de forma direta na escolha das fundações:

- **Limitações da vizinhança:** como o terreno em que a edificação será construída está rodeado de residências antigas, não se deve aplicar uma fundação que gere vibração, pois esta pode acarretar em manifestações patológicas nas edificações circunvizinhas. Além disso, é importante que você visite o local da obra para verificar a existência de alagados e afloramento de rochas, que podem prejudicar a implantação da obra e das fundações.
- **Cargas:** estudamos que as cargas serão definidas no projeto estrutural, mas, no caso da nossa problemática, a edificação tem uma baixa concentração de cargas, por ser de pequeno porte.
- **Características do solo (resistência do solo e profundidade do lençol freático):** aprendemos também que existem ensaios geotécnicos que podem ser realizados para determinar essas características. Mas, no caso da problemática em questão, o solo do terreno onde a residência será executada tem baixíssima resistência, e o lençol freático se encontra abaixo de 10 metros de profundidade.

Tendo conhecimento dessas características, a fundação mais adequada para a situação seria o radier. Os raders são elementos similares às lajes, classificados como fundações rasas e diretas, pois a carga é repassada ao solo nos primeiros três metros de profundidade pela base da fundação.

Essa solução de fundação seria a ideal, pois eles são aplicados quando as edificações se encontram em locais onde o solo tem baixa resistência para a utilização de sapatas. Como os raders têm uma grande área e a tensão é

igual à força aplicada pela área, as cargas são distribuídas em uma área maior, reduzindo a tensão aplicada no solo.

Além disso, no caso do terreno da edificação residencial, o lençol freático está abaixo de 10 metros, não existindo problemas em relação a ele para a execução do radier.

Avançando na prática

Indicação de fundações para obras de médio porte com solo resistente apenas em profundidade

Descrição da situação-problema

Imagine que você acabou de fechar um contrato com um novo cliente, no qual você construirá um edifício de quatro pavimentos em um solo com resistência e profundidades maiores do que 3 metros. Pela obra ser de médio porte, qual fundação você entende que deverá ser indicada ao seu cliente? Quais são as características de diâmetro e profundidade desta estaca? Como ela é executada? Lembre-se sempre de buscar indicações que apontem o melhor custo-benefício para o seu cliente.

Resolução da situação-problema

Por se tratar de uma obra de médio porte, a qual, consecutivamente, terá cargas consideráveis, uma das soluções é a adoção de estacas escavadas mecanicamente. Elas são amplamente utilizadas para obras de médio porte e alcançam, em média, 20 metros de profundidade e diâmetros que podem variar entre 0,25 e 1,00 metro.

Além disso, você, enquanto arquiteto, precisa entender que não poderá indicar uma fundação superficial para uma situação como essa, em que o solo não tem resistência em pequenas profundidades (menores do que 3 metros). A estaca hélice contínua também não seria a solução ideal, pois, por se tratar de uma edificação de médio porte, o custo da fundação seria muito elevado. Lembrando que essa estaca é indicada para obras de grande porte, com elevadas cargas.

Para a execução dessas estacas, primeiramente, é realizado um furo com um trado mecanizado até a profundidade requerida em projeto. Na sequência, por meio de um pilão, o fundo é compactado e o concreto é lançado e

adensado e, por fim, colocam-se as esperas dos pilares. Desta forma, a estaca que mais se enquadra para a aplicação é a estaca escavada mecanicamente, mas lembre-se de que um engenheiro especialista em fundações deverá realizar o projeto de fundações, mas você precisa conhecer as fundações e seus processos construtivos, para que saiba executá-los corretamente.

Faça valer a pena

1. As fundações possuem diferentes classificações, dependendo da profundidade de transferência da carga ao solo e também da forma de transferência dessa carga. As fundações podem ser classificadas como profundas, rasas ou superficiais, diretas e indiretas.

Os tubulões são classificados como:

- a) Fundações rasas, apenas.
- b) Fundações rasas e diretas.
- c) Fundações profundas e diretas.
- d) Fundações profundas e indiretas.
- e) Fundações profundas, apenas.

2. As estacas são elementos de fundação caracterizados por uma pequena seção transversal e um grande comprimento. Existem diversos tipos de estacas, e sua classificação pode ser de acordo com seu processo de execução, dividindo as estacas em moldadas *in loco* ou cravadas.

Dentre as estacas estudadas, existe uma que não é indicada para ser executada em locais com variação do lençol freático. Qual é essa estaca? Assinale a alternativa correta.

- a) Cravada de madeira.
- b) Estaca Franki.
- c) Estaca Strauss.
- d) Estaca pré-moldada de concreto.
- e) Tubulão a ar comprimido.

3. As estacas são elementos de fundação profunda executadas por equipamentos e ferramentas, podendo ser cravadas ou perfuradas (moldadas *in loco*). Esses elementos de fundação são caracterizados por grandes comprimentos e seções transversais pequenas. As estacas cravadas podem ser pré-moldadas de concreto, de madeira ou metálicas, as quais podem ser cravadas em solos compressíveis, a partir do uso de bate-estacas.

Dentre as características, vantagens e limitações das estacas cravadas, leia as frases e julgue-as como verdadeiras (V) ou falsas (F).

- () O processo de cravação das estacas gera vibração, o que pode acarretar em manifestações patológicas nas obras vizinhas.
- () As estacas pré-moldadas de concreto são cravadas e apresentam como desvantagem sua baixa resistência.
- () As estacas pré-moldadas de madeira não são indicadas para locais com variação do lençol freático, pois estão suscetíveis ao apodrecimento.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta entre V e F:

- a) V – V – V.
- b) F – F – F.
- c) V – F – V.
- d) F – V – F.
- e) V – F – F.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 7480** – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. ABNT. **NBR 7482** – Fios de aço para estruturas de concreto protendido - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2008a.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. ABNT. **NBR 7483** – Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2008b.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. ABNT. **NBR 6122** – Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. ABNT. **NBR 6118** – Projetos de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. ABNT. **NBR 9062** – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria SSMT nº 24, de 14 de setembro de 1983**. NR 15 – Atividades e Operações Insalubres. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR-15.pdf>. Acesso em: 1º nov. 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria MTPS nº 208, de 8 de dezembro de 2015**. NR 18 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR18/NR18atualizada2015.pdf>. Acesso em: 1º nov. 2018.

BUDHU, M. **Fundações estruturas de contenção**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N.; RODRIGUES, J. M. A. **Mecânica dos solos e suas aplicações - Mecânica das rochas, fundações e obras de Terra**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. v. 2.

CHING, F. D. K.; ONOUE, B. S.; ZUBERBUHLER, D. **Sistemas estruturais ilustrados: padrões, sistemas e projeto**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

FAY, L. **Estruturas arquitetônicas: composição e modelagem**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2006.

FUSCO, P. B.; ONISHI, M. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto**. São Paulo: Cengage Learning Editores, 2017.

PINHEIRO, A. C. F. B.; CRIVELARO, M.; PINHEIRO, R. G. B. **Projetos de fundações e terraplenagem**. São Paulo: Érica, 2015.

PORTO, T. B.; FERNANDES, D. **Curso básico de concreto armado**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

PRÉ-FABRICADOS de concreto. **Curso básico ABCIC**. São José do Rio Preto: Associação Brasileira da Construção Industrializada em Concreto, 2015. Disponível em: <http://wwwwp.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/C.%20Basico%20Abcic.pdf>. Acesso em: 31 out. 2018.

SALGADO, J. **Técnicas e práticas construtivas para edificações**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2014.

VAN ACKER, A. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Traduzido por Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo, SP: Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2002. Disponível em: <http://wwwwp.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/Manual%20Fib.pdf>. Acesso em: 31 out. 2018.

ISBN 978-85-522-1444-1



9 788552 214441 >