

1

O que é engenharia de estruturas?

Introdução

Neste capítulo, discutiremos o que, de fato, é uma estrutura. O profissional que lida com estruturas é o Engenheiro de Estruturas. Analisaremos o papel do Engenheiro de Estruturas no contexto de outros profissionais no ramo da construção. Também examinaremos as exigências estruturais de uma edificação e revisaremos as várias partes de uma estrutura e o modo como se inter-relacionam. Por fim, você receberá algumas orientações de como usar este livro dependendo do curso que você está fazendo ou da natureza de seu interesse em estruturas.

Estruturas no contexto da vida cotidiana

Há um novo movimento evidente nas grandes cidades britânicas. Estruturas industriais da era vitoriana estão sendo transformadas em apartamentos de luxo. *Shopping centers* antigos e ultrapassados dos anos 60 estão sendo derrubados e estão surgindo substitutos atraentes e contemporâneos. Conjuntos habitacionais construídos há mais de 40 anos estão sendo demolidos e substituídos por habitações sociais mais adequadas. Deslocamentos sociais estão ocorrendo: jovens profissionais estão começando a morar nos centros das cidades e novos serviços, como cafeterias, bares e restaurantes, estão surgindo para atendê-los. Todos esses novos aproveitamentos exigem novos edifícios ou a reforma de edifícios antigos. Todo edifício precisa ter uma estrutura. Em alguns desses novos edifícios, a estrutura será externa (ou estará exposta) – em outras palavras, o esqueleto estrutural do edifício estará visível para os passantes. Em muitos outros, a estrutura estará oculta. Mas, quer possa ser vista ou não, a estrutura é uma parte essencial de qualquer edifício. Sem ela, não haveria edifício.

O que é uma estrutura?

A estrutura de uma edificação (ou de outro objeto) é responsável por manter intacta a forma da edificação sob a influência das forças, das cargas e de outros fatores ambientais aos quais ela está sujeita. É importante que a estrutura como um todo (ou qualquer parte dela) não desmorone, rompa ou se deforme até um grau inaceitável quando sujeita a tais forças ou cargas.

O estudo de estruturas envolve a análise das forças e tensões que ocorrem em uma estrutura e o projeto de componentes adequados para suportar tais forças e tensões.

Como analogia, considere o corpo humano, que compreende um esqueleto de 206 ossos. Se qualquer dos ossos do seu corpo se quebrasse, ou se qualquer das juntas entre esses ossos se deslocasse ou travasse, seu corpo lesionado “falhariá” estruturalmente (e causaria bastante dor).

Exemplos de componentes estruturais (ou “elementos”, como são chamados pelos engenheiros estruturais) incluem os seguintes:

- vigas de aço, pilares, tesouras de telhado e pórticos espaciais
- vigas de concreto armado, pilares (ou colunas), lajes, paredes de contenção e fundações



Figura 1.1 Skyline do sul de Manhattan, Nova York.

Essa é uma das maiores concentrações de arranha-céus do mundo: limitações de espaço na ilha de Manhattan fizeram com que a construção de edifícios se expandisse para o alto, em vez de para os lados, e a presença de rochas sólidas viabilizaram as fundações para essas altíssimas estruturas.

- vigotas de madeira, pilares, vigas de madeira laminada colada e tesouras de telhado
- paredes e pilares de alvenaria

Para um exemplo de uma coleção densamente agrupada de estruturas, veja a Figura 1.1.

O que é um engenheiro?

Conforme mencionado na introdução, o público em geral não conhece exatamente o trabalho de um engenheiro. “Engenheiro” não é a palavra correta para a pessoa que vai consertar sua máquina de lavar ou a máquina de xerox do escritório. Na verdade, a palavra engenheiro vem do francês *ingénieur*, que se refere a alguém que usa sua engenhosidade para solucionar problemas. Um engenheiro, portanto, é um solucionador de problemas.

Quando compramos um produto – como um abridor de garrafa, uma bicicleta ou um pão – estamos na verdade comprando a solução de um problema. Você compraria um carro, por exemplo, não porque deseja ter uma tonelada de metal estacionada na frente da sua casa, mas por causa do serviço que ele é capaz de lhe prestar: um carro soluciona um problema de transporte. Há muitos outros exemplos:

- Uma lata de ervilhas resolve um problema de fome.
- Um andaime resolve um problema de alcance.
- Um lustre-móveis resolve um problema de limpeza.
- Uma casa ou um apartamento resolve um problema de acomodação.
- Uma universidade resolve um problema de educação.

Um engenheiro de estruturas resolve o problema de garantir que uma edificação – ou outra estrutura – seja adequada (em termos de resistência, estabilidade, custo, etc.) para o uso a que será destinada. Aprofundaremos este assunto mais adiante neste capítulo. Um engenheiro de estruturas não costuma trabalhar sozinho; ele é parte de uma equipe de profissionais, como veremos.

O engenheiro de estruturas no contexto de profissões

Se eu lhe perguntasse sobre os profissionais envolvidos no projeto de edificações, na sua lista provavelmente constaria os seguintes:

- arquiteto
- engenheiro de estruturas
- supervisor de orçamentos (*quantity surveyor*)

Obviamente, esta não é uma lista exaustiva. Há muitos outros profissionais envolvidos no projeto de edificações (como os fiscais de obras e os gerentes de projeto) e muitos outros ofícios e profissões envolvidos na construção de edificações em si, mas, para simplificar, vamos ater nossa discussão aos três listados.

O arquiteto é responsável pelo projeto de uma edificação no que diz respeito sobretudo à sua aparência e a qualidades ambientais, como níveis de iluminação e isolamento acústico. Seu ponto de partida é o desejo/a necessidade do cliente. (O cliente geralmente é a pessoa ou a organização que está pagando pela realização da obra.)

O engenheiro de estruturas é responsável por assegurar que a edificação seja capaz de suportar com segurança todas as forças às quais pode estar sujeita e que não irá se deformar nem fissurar indevidamente com o uso.

No Reino Unido e em muitas outras localidades, o *quantity surveyor* (supervisor de orçamentos) é responsável por estimar medições e preços da obra a ser realizada – e por fazer um acompanhamento dos custos conforme os trabalhos avançam.

Assim, em resumo:

1. O arquiteto assegura que a edificação tenha boa aparência.
2. O engenheiro (de estruturas) assegura que ela se sustente.
3. O supervisor de orçamentos assegura que sua construção seja econômica.

Essas são definições bastante simplistas, é claro, mas bastarão para nossos propósitos.

Acontece que eu não sou arquiteto e não sou supervisor de orçamentos. (Meu pai é supervisor de orçamentos, mas não é ele quem está escrevendo este livro.) Contudo, sou um engenheiro de estruturas e este livro é sobre engenharia de estruturas. Então, no restante deste capítulo, iremos explorar o papel do engenheiro de estruturas de forma mais detalhada.

Compreensão estrutural

A função básica de uma estrutura é transmitir forças do ponto onde a carga é aplicada até o ponto de apoio e, conseqüentemente, até as fundações no solo. (Examinaremos o significado da palavra “carga” em maior profundidade no Capítulo 5, mas, por enquanto, considere carga como qualquer força que esteja agindo externamente em uma estrutura.)

Toda estrutura precisa satisfazer aos seguintes critérios:

1. Estética – precisa ter um bom visual.
2. Economia – não deve custar mais do que o cliente possa pagar; se possível, menos que isso.
3. Facilidade de manutenção.
4. Durabilidade – isso significa que os materiais utilizados devem ser resistentes a corrosão, esboroamento (pedaços caindo fora), ataque químico, apodrecimento e ataque de insetos.
5. Resistência a incêndios – embora poucos materiais sejam capazes de resistir por completo aos efeitos do fogo, é importante que uma edificação resista a incêndios por tempo suficiente para que seus ocupantes sejam evacuados em segurança.

A fim de garantir que uma estrutura se comporte dessa maneira, precisamos desenvolver uma compreensão e uma conscientização de como a estrutura funciona.

Segurança e funcionalidade

São duas as principais exigências de qualquer estrutura: deve ser **segura** e deve ser **funcional**. “Segura” significa que a estrutura não deve colapsar – seja em parte ou no todo. “Funcional” significa que a estrutura não deve se deformar indevidamente sob os efeitos de deflexões, fissuras ou vibrações. Vamos discutir esses pontos detalhadamente.

Segurança

Uma estrutura precisa sustentar as cargas esperadas sem colapsar – seja como um todo ou apenas em parte. A segurança neste aspecto depende de dois fatores:

1. O **carregamento** que a estrutura deve sustentar foi corretamente estimado.
2. A resistência dos **materiais** que são utilizados na estrutura não se deteriorou.

A partir disso, fica evidente que precisamos saber como determinar a carga sobre qualquer parte de uma estrutura. Aprenderemos a fazer isso mais adiante no livro. Ademais, sabemos que os materiais se deterioram com o passar do tempo se não receberem a manutenção apropriada: o aço pode sofrer corrosão, o concreto pode esboroar ou sofrer carbonatação e a madeira pode apodrecer. O engenheiro de estruturas deve levar tudo isso em consideração ao projetar qualquer edificação.

Funcionalidade

Uma estrutura deve ser projetada de modo a não sofrer deflexões e fissuras indevidas com o uso. É difícil ou mesmo impossível eliminar por completo essas coisas – o importante é que a deflexão e as fissuras sejam mantidas dentro de certos limites. É preciso assegurar também que a vibração não exerça um efeito adverso sobre a estrutura – isso é especialmente importante em partes de edifícios que contenham fábricas ou maquinário.

Se, ao caminhar sobre o piso de um edifício, você sentir que o piso deforma ou “cede” sob seu peso, isso pode deixá-lo preocupado com a integridade da estrutura. Deflexão excessiva não significa necessariamente que o piso está prestes a desmoronar, mas, como pode deixar as pessoas inseguras, a deflexão precisa ser “controlada” – em outras palavras, deve ser mantida dentro de certos limites. Para dar outro exemplo, se o lintel sobre o vão de uma porta deflete demais, isso pode causar um abaulamento do marco logo abaixo, impedindo a abertura e o fechamento da porta.

As fissuras são feias e podem ou não ser indicativas de um problema estrutural. Mas elas podem, por si só, causar problemas. Caso ocorra, por exemplo, uma fissura na face externa de uma parede de concreto armado, a chuva pode penetrar e causar a corrosão da armadura dentro do concreto, o que, por sua vez, levará ao esboroamento do concreto.

A composição da estrutura de um edifício

A estrutura de um edifício contém vários elementos, e a responsabilidade sobre a adequação de cada um deles cabe ao engenheiro de estruturas. Nesta seção, examinaremos brevemente suas respectivas formas e funções. Esses elementos serão analisados de forma mais aprofundada no Capítulo 3.



Figura 1.2 Estrutura do telhado do centro comercial Quartier 206, em Berlim. Uma estrutura de telhado bastante “musculosa”!

O telhado de um edifício protege as pessoas e os equipamentos das intempéries. Um exemplo de uma estrutura de telhado é exibido na Figura 1.2.

Se você planeja comprar uma casa no Reino Unido que tenha telhado plano, pense bem. Alguns sistemas utilizados para impermeabilização de telhados planos se deterioram com o tempo, levando a vazamentos e a reformas potencialmente caras. O mesmo alerta vale para construções anexas que empregam telhados planos, como varandas e extensões.

As paredes podem ter inúmeras funções. A mais óbvia delas é a de **sustentação de carga** – em outras palavras, a sustentação de qualquer parede, piso ou telhado sobre ela. Mas nem todas as paredes sustentam cargas. Dentre as outras funções de uma parede estão:

- divisão de recintos dentro de um edifício – definindo assim seu formato e extensão
- impermeabilização
- isolamento térmico – manter o calor dentro (ou fora)
- isolamento acústico – manter o barulho fora (ou dentro)
- resistência a fogo
- segurança e privacidade
- resistência lateral (horizontal) a cargas exercidas por solo, vento ou água retidos

Preste atenção na parede mais perto de você enquanto lê estas palavras. É provável que ela esteja sustentando uma carga? Quais outras funções essa parede cumpre?

Um **piso** proporciona apoio para os ocupantes, móveis e equipamentos em uma edificação. Os pisos em andares superiores de uma edificação são sempre **suspensos**, o que significa que se estendem sobre paredes ou vigas de sustentação. Lajes térreas podem se assentar diretamente sobre o solo.

Escadarias possibilitam deslocamento vertical entre diferentes andares de uma edificação. A Figura 1.3 mostra uma escadaria de concreto em um edifício de vários andares. Fugindo ao comum, a escadaria fica totalmente visível do lado de fora do edifício. Como essa escadaria é sustentada estruturalmente?



Figura 1.3 Uma escadaria bastante visível. Como ela é sustentada? Mais adiante no livro, você aprenderá sobre balanços.

Fundações representam a interface entre a estrutura da edificação e o solo abaixo dela. Uma fundação transmite todas as cargas de uma edificação para o solo, o qual limita o grau de assentamento (sobretudo assentamento desigual) de uma edificação. Por isso, solos com falhas em sua composição são evitados ou desconsiderados.

Numa pequena ilha arenosa no Caribe, um hotel de poucos andares estava sendo construído como parte de um *resort* maior. O empreiteiro do hotel (um indivíduo um tanto excêntrico) achou que poderia economizar dinheiro construindo sem fundações. Ele bem que poderia ter levado a cabo a ideia, não fosse por um engenheiro supervisor que percebeu que as paredes levantadas não pareciam estar assentadas sobre nada mais rígido do que areia.

Uma discussão acalorada se seguiu entre a equipe responsável pelo projeto e o empreiteiro, o qual não apenas admitiu de pronto que nenhuma fundação fora preparada como também afirmou que, em sua opinião, aquilo realmente não era necessário. Em um país desenvolvido, o empreiteiro teria sido demitido no ato e provavelmente seria processado, mas as coisas eram um pouco mais livres e leves neste canto do Caribe.

Porém, a natureza impôs sua própria retaliação. Naquela noite, uma tempestade tropical se abateu, o mar inundou a ilha... e a estrutura parcialmente construída foi todinha levada pelas águas.

Em edificações, geralmente é necessário sustentar pisos ou paredes sem qualquer interrupção ou divisão do espaço abaixo. Nesse caso, é usado um elemento horizontal chamado de *viga*. Uma viga transmite as cargas que suporta para pilares ou paredes em suas extremidades.



Figura 1.4 Um edifício convencional envolvido por uma estrutura externa envidraçada. As duas estruturas parecem ser completamente independentes uma da outra.

Um *pilar* é um elemento vertical de sustentação de carga que geralmente suporta vigas e/ou outros pilares. Leigos costumam chamá-las de colunas ou postes. Elementos individuais de uma estrutura, como vigas e pilares, muitas vezes são chamados de elementos.

A Figura 1.4 mostra uma combinação incomum de duas estruturas separadas.

Algumas palavras para os estudantes em cursos de arquitetura

Se você está estudando arquitetura, talvez esteja se perguntando por que precisa estudar estruturas. O objetivo deste livro não é transformá-lo num engenheiro estrutural totalmente qualificado, mas, como arquiteto, é importante que você entenda os princípios do comportamento estrutural. Além do mais, com algum treinamento básico, não há motivo pelo qual os arquitetos não possam projetar elementos estruturais simples (como vigotas de madeira para sustentar pisos) por conta própria. Em projetos de maior porte, arquitetos trabalham em equipes multidisciplinares que costumam incluir engenheiros estruturais. Portanto, é importante compreender a função do engenheiro estrutural assim como a linguagem os termos empregados por esses profissionais.

Como o estudo de estruturas afeta a formação de um arquiteto?

Caso você esteja em um curso de graduação em arquitetura, terá aulas sobre estruturas ao longo do curso. Também terá de fazer trabalhos acadêmicos envolvendo o projeto arquitetônico de edificações para satisfazer certos requisitos. É essencial perceber que todas as partes da edificação precisam ser sustentadas. Sempre faça a si mesmo a pergunta: “Como minha edificação vai parar em pé?”. Lembre-se: se sua maquete de um edifício tiver dificuldade de parar em pé, é muito improvável que a versão real consiga parar!