

INOVAÇÃO:

da idéia ao produto



Os produtos de engenharia estão por toda parte. O computador em que estas palavras foram escritas é um exemplo óbvio, assim como o ar-condicionado que nos mantém (e nossos computadores) confortáveis, apesar do calor e da umidade do lado externo do prédio – que também é um produto de engenharia.

Quando viajamos fisicamente, em geral dirigimos um carro em ruas e avenidas com túneis e pontes, e quando viajamos mentalmente, usamos telefones, vídeos, fax e computadores em rede. Tudo isso é produto do projeto de engenharia, fabricação e construção. De fato, o mundo das experiências diárias beneficia-se das práticas de engenharia e tecnologia e o mundo, por sua vez, molda tais atividades a certo contexto. Mas o que é engenharia, quais são suas origens e como os engenheiros a praticam? Qual é a tecnologia, quais são as raízes e como isso se relaciona com o resto das demais atividades? Este livro explora tais questões.

O processo evolutivo de um computador, desde o conceito inicial do inventor até a chegada do produto em nossa mesa, ou da materialização de uma ponte monumental, desde o sonho de um engenheiro até uma estrutura espetacular, raramente é um processo direto. Pode exigir anos de pesquisa e desenvolvimento penosos e lentos, seguido de semanas de imensas atividades. Além disso, cada projeto de engenharia é influenciado pela idiosincrasia de cada engenheiro, empresa, comunidade e mercado. E existem outras variáveis a serem consideradas: econômicas, políticas, estéticas e éticas. Ademais, cada projeto de engenharia depende fortemente da disponibilidade de matéria-prima. E apesar de a engenharia ser a arte de rearranjar materiais e forças da natureza, essas implacáveis leis da natureza sempre estão impondo condições aos engenheiros, determinando os tipos de rearranjos que podem ser feitos ou não.

Este livro tenta elucidar os diversos aspectos inter-relacionados da engenharia. Porém, em vez de começar com grandes estruturas ou sistemas, resultante de aplicações de matemática e ciência, o livro começa focalizando alguns objetos familiares. Eles podem parecer tão simples que

não requerem qualquer engenharia sofisticada. No entanto, esses objetos, ainda que não sejam produtos da engenharia avançada, aplicam os mesmos princípios gerais de engenharia. Um autodidata e talentoso inventor que cria um produto inovador e ganha milhões de dólares com uma idéia brilhante aplica os mesmos processos daqueles usados por uma pessoa graduada em engenharia. Em essência, esse processo é semelhante ao desenvolvimento de uma espaçonave para coletar poeira em Marte e trazê-la de volta à Terra. Um produto aparentemente simples e familiar pode ser resultado do conceito, desenvolvimento, fabricação e marketing que envolveu grandes dificuldades.

Engenharia é um processo humano fundamental, que tem sido praticado desde os primórdios da civilização. Hoje, os métodos foram profissionalizados e formalizados, e sua natureza, baseada em cálculos matemáticos, tem sido muito aperfeiçoada com o uso do computador. Contudo, as habilidades e a disciplina exigidas para se praticar uma boa engenharia são as mesmas daquelas exigidas de um artesão no passado. A engenharia moderna é baseada na matemática e em outras ciências, mas sua prática ainda requer grande dose de raciocínio lógico a respeito dos materiais, estruturas, energia, entre outros aspectos. Matemática e ciências nos ajudam a analisar as idéias e transformá-las em produtos. Mas essas ferramentas analíticas, por si só, não geram as idéias. Temos que pensar e agir sobre a natureza e as coisas existentes para descobrir como elas podem ser alteradas e melhoradas para melhor atingir os objetivos considerados benéficos à humanidade.

A engenharia diferencia-se da natureza científica porque esta se preocupa primordialmente com a compreensão do mundo como ele é, enquanto a engenharia faz o projeto e o desenvolvimento de coisas que ainda não existem ou não estão disponíveis de forma adequada. A engenharia, através da história, tem lidado com problemas como a água não estar disponível onde era preciso, minerais não estarem próximo das usinas, materiais de construção tendo que ser transportados. Antigos engenheiros eram chamados para erigir grandes monumentos, criar defesa contra inimigos e mover pessoas e mercadorias através de terrenos acidentados e águas encapeladas. Na Renascença, engenheiros como Leonardo da Vinci tiveram muitas idéias inexequíveis para a época, e outros, como Galileu, criaram os fundamentos dos métodos analíticos que os estudantes aprendem até hoje em escolas de engenharia. A Revolução Industrial permitiu a proliferação de novas máquinas e técnicas de fabricação, que, por sua vez, impulsionaram os avanços da ciência, tecnologia e comércio em escala internacional, como os conhecemos hoje.

A história da engenharia é rica em casos de sucesso. Eles são a base não somente para as técnicas, mas também para as raízes culturais da engenharia. Quando se estudam casos passados, não importa quão superada seja a tecnologia usada, ela

pode nos fornecer importantes ensinamentos de como abordar alguns dos maiores desafios atuais e chegar a uma solução satisfatória. As histórias de como os engenheiros abordam seus problemas e tomam decisões têm muito a nos ensinar sobre a própria engenharia.

ESTUDOS DE CASO

Os estudos de caso sobre desenvolvimentos de produtos e processos específicos nos permitem entender a engenharia no contexto mais amplo. Embora os casos estudados apresentem diferentes graus de detalhe e complexidade, existem características comuns de engenharia entre eles. Cada caso apresentado aqui poderia ser expandido, convertendo-se em um livro, analisando as alternativas que poderiam ter sido seguidas ou quais melhorias ainda poderiam ser introduzidas. Isso demonstra que nenhum problema de engenharia é completamente solucionado de maneira satisfatória para todos. Engenharia é a arte do compromisso e sempre cabem melhorias no mundo real. Engenharia é, também, a arte da praticidade. Engenheiros sabem quando devem finalizar seus projetos para começar a fabricar ou construir.

O clipe de papel, por exemplo, é, aparentemente, tão simples e insignificante como objeto que podemos usá-lo sem sequer percebê-lo. No Capítulo 2, o clipe de papel é submetido a um exame minucioso do ponto de vista tecnológico para tirar lições a respeito de projeto. Na verdade, o projeto e a fabricação de um clipe de papel é um desafio enorme, como o caso revela. O clipe de papel mais conhecido até hoje, chamado de Gem, está longe de ser um produto perfeito. Desde que o Gem foi introduzido no mercado, no final do século XIX, outros inventores patentearam projetos alternativos. Olhando atentamente para o Gem e algumas das centenas de patentes para sua melhoria, verifica-se que um determinado projeto de engenharia, mesmo não sendo o melhor, pode acabar dominando o mercado.

No Capítulo 3, o estudo do lápis ilustra as análises e quantificações que os engenheiros podem fazer dos objetos que funcionam, a fim de aperfeiçoá-los. Todos sabem que a ponta do lápis se quebra se a apertamos com força. Mas qual é a intensidade dessa força? Como usuários de lápis, podemos ser prudentes e apertar bem de leve, de maneira que a ponta nunca se quebre, mas existem circunstâncias em que é necessário apertar mais forte, como quando precisamos preencher formulários de várias vias. Somente após quebrar algumas pontas aprendemos a evitar mais quebras. Podemos usar nossas experiências passadas para saber o limite da pressão que podemos exercer sem quebrar a ponta. Podemos, também, aprender que a ponta tem menos chance de quebrar se usarmos um lápis de melhor qualidade, se usarmos o lápis mais na vertical ou se a ponta estiver menos

afiada. Alternativamente, podemos mudar de marca ou usar um tipo de lápis que foi melhorado com a introdução de uma ponta mais resistente e que não se quebra tão facilmente. Tais observações têm implicações com estruturas e sistemas de engenharia.

O longo e árduo caminho do desenvolvimento que se segue a partir do conceito inicial ou mesmo da patente é exemplificado na história do zíper, apresentada no Capítulo 4. A origem e história desse produto, que hoje é o fecho de deslizamento contínuo, mostram a importância do apoio financeiro e uma boa dose de paciência para transformar uma boa idéia em um sucesso comercial. O problema de desenvolver um zíper confiável e fabricá-lo de maneira econômica resultou em enormes desafios técnicos aos engenheiros envolvidos. Além disso, criar um mercado viável para o produto provou ser uma tarefa igualmente difícil.

Outro produto comum que coloca virtualmente um laboratório de engenharia em nossas mãos é a lata de alumínio para bebidas, produto apresentado no Capítulo 5. O estudo das origens e das restrições em que o produto foi desenvolvido nos ensina, entre outras coisas, a importância das falhas na engenharia. A lata de alumínio não foi desenvolvida com um fim em si mesma, mas como componente central de uma infra-estrutura confiável de distribuição de bebidas para bilhões de pessoas. Quando números tão grandes estão envolvidos, o custo unitário tem um papel decisivo no projeto e produção de um produto competitivo.

Apesar da grande importância das questões econômicas, a realidade tecnológica continua sendo o mais determinante fator para o engenheiro definir um produto. Por exemplo, quando se faz o projeto de uma lata de bebida, os engenheiros precisam criar um produto que não contamine o líquido ou que não seja amassado ao ser manuseado sem cuidado, apresentando também facilidade para ser aberto e ingerido. Além disso, as latas de alumínio são bastante convenientes, mas consomem enorme quantidade de materiais e energia, representando um potencial problema ambiental. Analisar as dificuldades para superar os muitos desafios e ver como engenheiros e outros profissionais têm lidado com tais problemas nos ajuda a entender a correlação entre engenharia, economia e meio ambiente em geral. Uma latinha de alumínio isolada é uma coisa, mas aos bilhões representa uma situação bem diferente.

A história do aparelho de fax, contada no Capítulo 6, é a saga de um equipamento sofisticado que se iniciou no século XIX. Contudo, não se transformou em uma máquina de fácil uso, como é atualmente, porque não havia uma infra-estrutura eficiente de rede de comunicações pela qual as informações pudessem fluir com eficiência e qualidade. A extraordinária difusão do uso de aparelhos de fax, que começou nos anos 1980, foi possibilitada pelas regulamentações governamentais, elaboração de normas e aspectos culturais, e não apenas pelo puro desenvol-

vimento tecnológico. A engenharia nunca pode funcionar efetivamente no vácuo, desconectada da sua realidade econômica, social e cultural.

O projeto e o desenvolvimento modernos em engenharia devem realizar-se dentro de um contexto mundial como no caso do jato comercial. O Capítulo 7 apresenta a história do Boeing 777, avião de duas turbinas e larga fuselagem, que foi introduzido comercialmente em 1995. Esse caso também permite examinar o crescente papel dos computadores, não somente no projeto, teste e fabricação, mas também na operação de algumas das máquinas e sistemas mais complexos ao final do século XX. A enorme capacidade e poder demonstrados pelos sistemas de computadores, tanto em *hardware* como em *software*, usados em tais aplicações, criam o contexto para a atuação dos engenheiros no século XXI.

Nem todos os engenheiros sonham em criar grandes aeronaves ou outras estruturas monumentais, porque alguns contentam-se em criar obras menos ostensivas, mas mais efetivas, por exemplo, reservatórios de água mais seguros, aterros sanitários ou conservação do meio ambiente. A engenharia, em geral, está intrinsecamente ligada aos problemas sociais. Isso pode não ficar tão evidente como no caso do suprimento e tratamento de água, apresentado no Capítulo 8. Nessa área, até mesmo quando o engenheiro está trabalhando sozinho em sua mesa, computador ou prancheta, o seu trabalho deve conectar-se com todos os níveis técnicos e não-técnicos envolvidos no problema. Na verdade, nenhum produto ou sistema que um engenheiro projeta ou analisa pode funcionar isolado de um sistema social maior, e os melhores projetistas e analistas são justamente aqueles que estão sempre conscientes das inter-relações entre os fatores e conseqüências do projeto.

A história dos projetos de grandes pontes serve para ilustrar a complexidade dos grandes projetos, especialmente devido à interferência da política ambiental. No Capítulo 9, a história da ponte sobre a baía de São Francisco, ligando a cidade de São Francisco a Oakland, mostra a longa fase de gestação, típica dos grandes projetos, assim como as numerosas alternativas oferecidas ao longo do caminho. Um projeto dessa magnitude envolve muitos problemas e interesses correlacionados, os quais devem ser resolvidos. Estes incluem a navegação por debaixo da ponte, concorrência com as balsas, capacidade de fluxo, financiamento, retorno do financiamento, aspectos estéticos e muitos outros aspectos.

No fim do século XX, engenheiros foram muito influenciados pela introdução de diversos tipos de sistemas, e a antiga arte da edificação não é uma exceção. O papel essencial que os elevadores e outros sistemas têm representado na evolução dos arranha-céus modernos é apresentado no Capítulo 10. O que pode ser considerado basicamente como um esforço da engenharia estrutural, envolve também avanços das engenharias elétrica, mecânica e ambiental. Tais interações, ultrapas-

sando as barreiras tradicionais entre as profissões, crescem a cada dia e, certamente, serão características marcantes da engenharia do século XXI.

Do ponto de vista da engenharia podemos notar aplicações da tecnologia mesmo nos objetos mais simples que encontramos na nossa vida cotidiana. Admiramos os produtos elegantes da engenharia e os vemos como exemplos a serem imitados, mas também podemos criticar as soluções pobres na engenharia. Com isso, pode-se compreender melhor como as coisas funcionam e como podem ser melhoradas. Os bons inventores, projetistas e engenheiros costumam ser receptivos à crítica construtiva. Desse modo, estão em constante evolução. Se estivéssemos satisfeitos com tudo ao nosso redor, não teríamos nenhuma proposta de melhoria e o mundo ficaria estático.

Embora algumas pessoas sejam conservadoras, correndo poucos riscos, essa atitude leva também à estagnação do progresso, rejeitando os sonhos dos engenheiros, políticos e pessoas progressistas em geral. De fato, alguns engenheiros acreditam que sem a criação de produtos melhores e mais econômicos, a profissão de engenheiro estaria irresponsavelmente comprometendo os recursos limitados, devido ao superdimensionamento de todas as coisas, desde latas de bebidas até pontes. Enquanto produtos e sistemas seguros de todas as formas são obviamente muito importantes para a sociedade que os financia, cada dólar desperdiçado pode fazer falta às outras necessidades, como conservação e manutenção. No mundo real, tais questões estão intrinsecamente relacionadas aos problemas políticos e sociais. Problemas aos quais engenheiros nunca ficarão imunes.