



INTRODUÇÃO À ENGENHARIA MECÂNICA

TRADUÇÃO DA
3ª EDIÇÃO
NORTE-AMERICANA

JONATHAN WICKERT • KEMPER LEWIS

Introdução à Engenharia Mecânica

Tradução da 3ª edição norte-americana

Jonathan Wickert

Iowa State University

Kemper Lewis

University at Buffalo—SUNY

Edição SI preparada por

Shaligram Tiwari

Indian Institute of Technology Madras

Revisão técnica

Júlio César de Almeida

Professor adjunto do curso de Engenharia Mecânica da UFPR e Professor colaborador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFPR

Tradução

Noveritis do Brasil



DEDICATÓRIA

Para Karen e Rebecca pela paciência e encorajamento durante este projeto.

Jonathan Wickert

Para o Senhor por Sua graça e para Laura, Kamryn e Kanden por sua surpreendente paciência, apoio e amor.

Kemper Lewis

Sumário

CAPÍTULO 1 A Profissão de Engenharia Mecânica 1

- 1.1 Visão global 1
 - Os elementos da engenharia mecânica 1
- 1.2 O que é engenharia? 3
- 1.3 Quem são os engenheiros mecânicos? 8
 - Dez principais conquistas feitas pela engenharia mecânica 10
- 1.4 Opções da carreira 19
- 1.5 Programa típico de estudo 20

Capítulo 2 Projeto Mecânico 28

- 2.1 Visão geral 28
- 2.2 O processo do projeto 31
 - Desenvolvimento dos requisitos 35
 - Projeto conceitual 36
 - Projeto detalhado 36
 - Produção 40
- 2.3 Processos de manufatura 43
- 2.4 Estudo de caso no projeto conceitual: veículos movidos por molas 49
 - O primeiro conceito: a mola e a alavanca 50
 - Segundo conceito: trem de engrenagens composto 51
 - Terceiro conceito: engrenagem com engrenamento intermitente 53
- 2.5 Estudo de caso em infraestruturas elétricas urbanas 54
 - Desenvolvimento de requisitos 54
 - Projeto conceitual 55
 - Projeto detalhado 56
- 2.6 Estudo de caso em projeto auxiliado por computador: produção não invasiva de imagens médicas 57

Capítulo 3 Capacidades de Comunicação e Resolução Técnica de Problemas 67

- 3.1 Visão geral 67
- 3.2 Abordagem geral para resolução de problemas técnicos 71
- 3.3 Sistemas e conversões de unidades 72
 - Unidades básicas e derivadas 73
 - Sistema internacional de unidades 73
 - Sistema de unidades usual dos Estados Unidos 75
 - Conversões entre unidades SI e USCS 78
- 3.4 Dígitos significativos 82
- 3.5 Uniformidade dimensional 83
- 3.6 Estimativas na engenharia 90
- 3.7 Capacidade de comunicação na engenharia 94
 - Comunicação escrita 95

Comunicação gráfica 96
Apresentações técnicas 97

Capítulo 4 Forças em Estruturas e Máquinas 108

4.1 Visão geral 108
4.2 Forças em componentes retangulares e polares 110
Componentes retangulares 110
Componentes polares 110
4.3 Resultante de várias forças 112
Método da álgebra vetorial 112
Método do polígono 113
4.4 Momento de uma força 116
Método do braço da alavanca perpendicular 117
Métodos das componentes do momento 118
4.5 Equilíbrio de forças e momentos 122
Partículas e corpos rígidos 122
Diagramas de corpo livre 124
4.6 Aplicação do projeto: mancais de rolamentos 130

Capítulo 5 Materiais e Tensões 152

5.1 Visão geral 181
5.2 Tração e compressão 154
5.3 Comportamento dos materiais 159
5.4 Cisalhamento 170
5.5 Materiais utilizados na engenharia 174
Metais e suas ligas 175
Cerâmicas 176
Polímeros 176
Materiais compostos 177
5.6 Coeficiente de segurança 181

Capítulo 6 Engenharia dos Fluidos 198

6.1 Visão geral 198
6.2 Propriedades dos fluidos 200
6.3 Pressão e força de flutuação 207
6.4 Fluxos laminar e turbulento de fluidos 211
6.5 Escoamento de fluidos em tubulações 214
6.6 Força de arrasto 219
6.7 Força de sustentação 227

Capítulo 7 Sistemas Térmicos e de Energia 241

7.1 Visão geral 241
7.2 Energia mecânica, trabalho e potência 243
Energia potencial gravitacional 243
Energia potencial elástica 243

- Energia cinética 244
- Trabalho de uma força 244
- Potência 245
- 7.3 Calor como energia em trânsito 247
 - Poder calorífico 248
 - Calor específico 249
 - Transferência de calor 251
- 7.4 Conservação e conversão de energia 257
- 7.5 Motores térmicos e eficiência 261
- 7.6 Estudo de caso 1: motores de combustão interna 266
 - Ciclo do motor de quatro tempos 267
 - Ciclo do motor de dois tempos 270
- 7.7 Estudo de caso 2: geração de energia elétrica 271
- 7.8 Estudo de caso 3: motores a jato 279

Capítulo 8 Transmissão de Movimento e Potência 289

- 8.1 Visão geral 289
- 8.2 Movimento de rotação 291
 - Velocidade angular 291
 - Trabalho e potência em movimentos de rotação 293
- 8.3 Aplicação do projeto: engrenagens 296
 - Engrenagens cilíndricas 297
 - Cremalheira e pinhão 301
 - Engrenagens cônicas 301
 - Engrenagens helicoidais 301
 - Engrenagens sem fim 303
- 8.4 Velocidade, torque e potência em sistemas de engrenagens 305
 - Velocidade 306
 - Torque 307
 - Potência 308
- 8.5 Trens de engrenagens simples e compostas 308
 - Trem de engrenagens simples 308
 - Trem de engrenagens compostas 310
- 8.6 Aplicação de projeto: acionamento por correia e corrente 315
- 8.7 Sistema planetário de engrenagens 321

Apêndice A Alfabeto grego 340

Apêndice B Revisão de trigonometria 341

- B.1 Graus e radianos 341
- B.2 Triângulos retângulos 341
- B.3 Identidades 342
- B.4 Triângulos oblíquos 343

Índice remissivo 344

Prefácio ao estudante

Objetivo

Este livro apresentará a você o campo sempre emergente da engenharia mecânica e irá auxiliá-lo a avaliar como os engenheiros projetam máquinas e equipamentos, contribuindo com a sociedade no mundo inteiro. Como o título sugere, este livro não é nenhuma enciclopédia nem um tratado exaustivo da disciplina. Tal tarefa seria impossível de cumprir em um livro dirigido a estudantes e, ademais, nossa perspectiva é a de que o currículo tradicional da graduação seja apenas um de vários passos dados ao longo de uma carreira para toda a vida. Na leitura deste livro, você descobrirá a “floresta” da engenharia mecânica, examinando algumas de suas “árvores” e, ao longo do caminho, conhecerá elementos interessantes e práticos de uma profissão chamada engenharia mecânica.

Abordagem e conteúdo

Este livro foi escrito para estudantes que se encontram no primeiro ou segundo ano de engenharia mecânica. Procuramos abordar, de maneira equilibrada, através dos capítulos, as habilidades necessárias para solucionar problemas, projetos, análises da engenharia e a moderna tecnologia. A apresentação começa com uma descrição narrativa sobre o trabalho dos engenheiros mecânicos, o que eles fazem e qual impacto podem causar (Capítulo 1). Sete “elementos” da engenharia mecânica são enfatizados desde o Capítulo 2 ao 8. Algumas das aplicações que você encontrará neste livro incluem infraestruturas urbanas sustentáveis, prototipagem rápida, motores a explosão, robótica, tecnologia esportiva, imagem produzida por ressonância magnética, motores a jato, dispositivos microfluidos, transmissões automáticas e energia renovável.

O que você poderia aprender com este livro? Em primeiro lugar, descobrirá quem são os engenheiros mecânicos, o que fazem e que tipo de desafios técnicos, sociais e ambientais eles solucionam com as tecnologias que criam. A Seção 1.3 traz detalhes sobre a lista das dez maiores conquistas da profissão. Ao observar esta lista, você reconhecerá como a profissão contribuiu para sua vida cotidiana e para a sociedade em geral. Em segundo lugar, você descobrirá que a engenharia mecânica representa um esforço prático com o objetivo de projetar instrumentos que funcionem, que tenham uma produção econômica e sejam seguros e responsáveis em relação ao impacto ambiental. Em terceiro lugar, você aprenderá a fazer alguns dos cálculos, estimativas e aproximações rápidas que os engenheiros mecânicos podem realizar enquanto resolvem problemas técnicos e comunicam seus resultados. Para realizar tais tarefas melhor e mais rápido, os engenheiros mecânicos combinam matemática, ciência, ferramentas de projeto mecânico auxiliadas por computador e habilidades práticas.

Após a leitura deste livro, você não vai se tornar um perito em engenharia mecânica, mas esta não é a nossa intenção nem deveria ser a sua. Se o nosso objetivo for atingido, porém, você vai estabelecer uma fundação sólida no que se refere às habilidades para solucionar problemas, projetar equipamentos e conduzir análises. Tais habilidades poderão representar a base para sua futura contribuição à profissão de engenheiro mecânico.

Prefácio do professor

Abordagem

Este livro destina-se a um curso que forneça uma introdução à engenharia mecânica durante o primeiro ou segundo ano. Na última década, muitas faculdades e universidades renovaram o conteúdo programático de seus cursos de engenharia com o objetivo de posicionar conteúdos de engenharia para o início de seus programas. Especialmente para o primeiro ano do curso, os formatos variam amplamente e podem incluir seminários sobre “quem são os engenheiros mecânicos” e “o que fazem”, suas experiências em projetos, habilidades para solucionar problemas, análises básicas e estudos de casos. No segundo ano do curso, o foco reside em elaborações de projetos, contato com ferramentas computacionais que auxiliam a engenharia, princípios da ciência da engenharia e uma dose saudável de máquinas e equipamentos produzidos pela engenharia mecânica.

Os cursos centrais da grade curricular da ciência da engenharia (por exemplo, resistência dos materiais, mecânica dos fluidos e dinâmica) têm progredido desde a Segunda Guerra Mundial até atingirem seus estados presentes, relativamente amadurecidos. Por outro lado, pouca ou nenhuma padronização existe entre os cursos introdutórios de engenharia mecânica. Com limitados materiais didáticos específicos para tais cursos, cremos que ainda exista uma boa oportunidade para atrair estudantes, motivando-os com uma visão do que se espera deles mais adiante, e fornecendo-lhes uma base sólida para habilidades de condução de análises, resolução de problemas e realização de projetos.

Objetivos

Durante o desenvolvimento da terceira edição deste livro, nosso objetivo foi proporcionar uma fonte de informações que pudesse ser utilizada pelos professores que apresentam a engenharia mecânica aos estudantes do primeiro e segundo anos dos cursos. Esperamos que a maioria dos cursos inclua o material apresentado nos Capítulos 1 ao 3. Com base no nível e nas horas dedicadas ao curso, os professores podem selecionar tópicos adicionais dos Capítulos 4 ao 8. Assim, a Seção 5.5, sobre a seleção de materiais, é em grande parte autossuficiente e fornece ao estudante de nível introdutório uma visão geral das diferentes classes de materiais da engenharia. Da mesma forma, as descrições da Seção 7.6 até a 7.8, sobre motores de combustão interna, usinas elétricas e motores a jato, são expositivas por natureza, e aquele material pode ser incorporado em estudos de caso para demonstrar o funcionamento de alguns equipamentos importantes da engenharia mecânica. Rolamentos de contato, engrenagens e correias de transmissão são igualmente discutidos nas Seções 4.6, 8.3 e 8.6.

Este livro reflete nossas experiências e filosofia ao introduzir para os estudantes iniciantes o vocabulário, as habilidades, as aplicações e as motivações da profissão de engenheiro mecânico. Esta obra foi motivada, em parte, pelo ensino de cursos introdutórios de engenharia mecânica em nossas respectivas universidades. Coletivamente, esses cursos incluem aulas, projetos de manufatura e auxiliados por computador, laboratórios de dissecação de produtos (um exemplo discutido na Seção 2.1) e projetos de planejamento em equipe (um exemplo disso pode ser visto nas Seções 2.4 e 2.5, no contexto da conceitualização do projeto). Vários exemplos e estudos de casos também são discutidos para demonstrar aos estudantes a realidade do que estão aprendendo, incluindo a lista das principais conquistas da Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (Seção 1.3), os quatorze “grandes desafios” da Academia Nacional de Engenharia (NAE) (Seção 2.1), inovação de projeto e patentes (Seção 2.2), infraestruturas urbanas de geração de energia (Seção 2.5), engenharia auxiliada por computador (Seção 2.6), perda da sonda espacial Orbitador Climático de Marte (*Mars Climate Orbiter*) e o erro durante o reabastecimento do voo 143 da Air Canada (Seção 3.1), o desastre de derramamento de óleo da Deepwater

Horizon (Seção 3.6), o desastre do Challenger (Seção 3.7), o desastre do Hotel Hyatt, em Kansas City (Seção 4.5), o projeto de Masdar City (Seção 5.2), o projeto de materiais avançados (Seção 5.5), os dispositivos microfluídicos (Seção 6.2), o fluxo sanguíneo no interior do corpo humano (Seção 6.5), tecnologia esportiva (Seções 6.6 e 6.7), energias renováveis (Seção 7.5), motores a explosão (Seção 7.6), a geração de energia solar (Seção 7.7) e as nanomáquinas (Seção 8.3).

Os destaques intitulados “Foco em . . .”, em cada capítulo, são utilizados para ressaltar alguns dos tópicos mais interessantes ali considerados e outros conceitos emergentes da engenharia mecânica.

Conteúdo

Nossa intenção certamente não é, de forma alguma, que este livro esgote as matérias do campo da engenharia mecânica, e estamos certos de que ele não será lido com esse objetivo. Muito pelo contrário: ao ensinar alunos do primeiro e segundo anos, estamos cientes de que “menos realmente significa mais”. Na medida do possível, resistimos ao impulso de acrescentar mais uma seção em determinado assunto e tentamos manter o aspecto útil e cativante do material, segundo a perspectiva do leitor. De fato, muitos tópicos de suma importância para os engenheiros mecânicos foram simplificados ou nem foram incluídos neste livro. E isso foi proposital (ou, admitimos, por distração nossa). Entretanto, estamos confiantes de que, no devido tempo ao longo do curso de engenharia mecânica, os alunos serão expostos aos assuntos que foram aqui omitidos.

Do Capítulo 2 ao 8, selecionamos um subconjunto de “elementos” da engenharia mecânica que pode ser suficientemente apreendido pelos alunos dos anos iniciais do curso para que possam desenvolver as habilidades a fim de realizar análises, fazer projetos e resolver problemas.

Essa abrangência de tópicos foi escolhida para facilitar o uso deste livro dentro dos limites dos cursos, que acabam assumindo vários formatos. Como há mais conteúdo neste livro do que seria possível abranger em um semestre de curso, os professores encontrarão uma fonte razoável de matéria, que poderá ser utilizada de acordo com seus critérios. Em especial, esse conteúdo foi selecionado para:

1. Combinar formação, maturidade e interesses dos alunos logo no início dos estudos da engenharia;
2. Expor os alunos a princípios mecânicos de projeto significantes no desenvolvimento de soluções inovadoras para desafios técnicos que a nossa sociedade enfrenta;
3. Auxiliar os alunos a pensar de modo crítico e aprender boas habilidades para resolução de problemas, principalmente no que diz respeito a formular hipóteses sólidas às aproximações de ordem de grandeza, à revisão de resultados e à aferição de unidades;
4. Ensinar aspectos da ciência da engenharia mecânica e o empirismo que pode ser aplicado já no primeiro e segundo anos do curso;
5. Expor os alunos a uma ampla variedade de máquinas, projetos inovadores, tecnologia e equipamentos e à natureza prática da engenharia mecânica;
6. Motivar por meio de aplicações que envolvam o desenvolvimento de infraestruturas urbanas, nanomáquinas, aeronaves, naves espaciais, robótica, engrenagens, produtos de consumo, transmissões de automóveis, geração de energia renovável, e assim por diante.

Na medida do possível, para os níveis de primeiro e segundo anos, a exposição, os exemplos e os problemas indicados para resolução em casa foram elaborados a partir de aplicações reais. Você não encontrará neste livro massas em planos inclinados ou sistemas de blocos e equipamentos. Acreditamos que a engenharia é uma atividade visual e gráfica, por isso, enfatizamos especialmente a qualidade e importância das fotografias e ilustrações, muitas das quais foram fornecidas por meus colegas na indústria, agências federais e pela academia. O objetivo desta obra é destacar a realidade e motivar os alunos por meio de exemplos interessantes que lhes ofereçam um vislumbre do que poderão estudar nos cursos subsequentes e exercer ao longo de suas carreiras.

Novidades da Terceira Edição

Na preparação da terceira edição, fizemos muitas das mudanças esperadas: seções foram reescritas e reorganizadas, novos materiais foram introduzidos e alguns removidos, novos exemplos foram criados e pequenos erros, corrigidos. Quase 90 novos exercícios foram desenvolvidos e mais figuras foram incluídas.

Tentamos manter-nos fiéis à filosofia das primeiras edições, enfatizando a importância da profissão de engenheiro mecânico na resolução de problemas globais, incluindo novas informações no Capítulo 1 sobre tendências profissionais, desenvolvimento tecnológico, caminhos de carreira na engenharia mecânica e áreas de conhecimento. Além disso, no Capítulo 1, introduzimos uma figura atualizada ilustrando a organização dos tópicos da engenharia mecânica tanto nesta edição quanto num currículo típico de um curso de engenharia mecânica. Essa figura é usada em cada capítulo para ilustrar graficamente como o conteúdo do capítulo se posiciona em relação ao estudo geral da engenharia mecânica.

Uma mudança significativa desta edição foi a mudança do Projeto Mecânico no Capítulo 2, refletindo a crescente importância de princípios sólidos de projeto no desenvolvimento de produtos e sistemas da área. No Capítulo 2, foram incluídos novos materiais sobre inovação de projeto, os Grandes Desafios da Academia Nacional de Engenharia, processo de projeto, produção customizada e um estudo de caso sobre projeto de infraestruturas urbanas de geração de energia. Os tópicos seguintes foram integrados aos capítulos restantes: resolução de problemas técnicos, comunicação escrita e gráfica e figuras significantes (Capítulo 3); lei de Newton do movimento (Capítulo 4); tecnologia esportiva (Capítulo 6); notação atualizada e exemplo de geração de energia solar (Capítulo 7).

Todos os exemplos foram inseridos em um formato pedagógico otimizado, contendo o enunciado do problema, a abordagem, a solução e a discussão. Em especial, a parte da discussão destina-se a destacar o porquê de a resposta numérica ser interessante ou fazer sentido de modo intuitivo. Equações literais ao longo dos cálculos numéricos são apresentadas. Em todo o livro, as dimensões que aparecem nesses cálculos são manipuladas e simplificadas explicitamente para reforçar as boas habilidades utilizadas na solução dos problemas.

Os destaques intitulados “Foco em . . .” contêm a matéria conceitual ou aplicada em forma de tópicos, o que amplia a abrangência do livro sem desviar seu rumo. Os novos destaques no “Foco em . . .” incluem o dinâmico campo da engenharia mecânica; arqueologia de produto; estimativas de engenharia usando o desastre de Deepwater Horizon; práticas ineficientes de comunicação; projeto de cidades sustentáveis; tecnologia material avançada; dispositivos microfluídicos; fluxo de fluidos através de superfícies largas; consumo global de energia; energia renovável; projeto, políticas e inovação; nanomáquinas; e veículos movidos à energia limpa.

Assim como nas duas primeiras edições, tentamos tornar o conteúdo da terceira edição facilmente acessível a qualquer estudante que tenha uma formação secundária normal em matemática e física. Os assuntos tratados neste livro não dependem de conhecimentos matemáticos além de álgebra, geometria e trigonometria (revistas no Apêndice B) e, em especial, evitou-se utilizar produtos vetoriais, integrais, derivadas ou equações diferenciais. De modo coerente, não foi incluído, propositadamente, nenhum capítulo que trate de dinâmica, sistemas dinâmicos ou de vibrações mecânicas. Manteve-se o foco nos alunos iniciantes do curso de engenharia mecânica, muitos dos quais estudarão cálculo simultaneamente. Pensando nesses alunos, acreditamos que elevar o nível de complexidade matemática somente iria contrariar a missão geral deste livro.

Agradecimentos

Teria sido impossível desenvolver as três edições deste livro sem as contribuições de várias pessoas e organizações e, portanto, em primeiro lugar, gostaríamos de expressar nosso apreço por elas. Apoio generoso me foi dado pelo Marsha and Philip Dowd Faculty Fellowship, cujo objetivo é fomentar as

iniciativas educacionais na área de engenharia, e pela National Science Foundation pelas iniciativas de arqueologia de produto no Capítulo 2. Adriana Moscatelli, Jared Schneider, Katie Minardo e Stacy Mitchell auxiliaram na realização deste projeto, produzindo as várias ilustrações. O auxílio técnico da sra. Jean Stiles, que fez a revisão textual do livro foi indispensável. Apreciamos bastante todas as contribuições que ela fez.

Nossos colegas, alunos de doutorado e professores assistentes das universidades Carnegie Mellon University, Iowa State University e University at Buffalo – SUNY forneceram muitos comentários e sugestões valiosas enquanto produzíamos as edições. Gostaríamos de agradecer especialmente a Adnan Akay, Jack Beuth, Paul Steif, Allen Robinson, Shelley Anna, Yoed Rabin, Burak Ozdoganlar, Parker Lin, Elizabeth Ervin, Venkataraman Kartik, Matthew Brake, John Collinger, Annie Tangpong, Matthew Iannacci, Erich Devendorf, Phil Cormier, Aziz Naim, David Van Horn, Brian Literman e Vishwa Kalyanasundaram por seus comentários. Somos igualmente gratos aos alunos de nossos cursos de: Fundamentos da Engenharia Mecânica (Carnegie Mellon), Introdução à Prática da Engenharia Mecânica (University at Buffalo – SUNY) e Processo e Métodos de Projeto (Universidade at Buffalo – SUNY). O interesse coletivo, os *feedbacks* e o entusiasmo sempre propiciaram momentos preciosos de ânimo para que eu prosseguisse. Joe Elliot e John Wiss bondosamente ofereceram as informações sobre o dinamômetro de motores e a pressão dos cilindros utilizadas na abordagem sobre os motores a explosão no Capítulo 7. As soluções de vários dos problemas propostos para resolução extra-classe foram esboçadas por Brad Lisien e Albert Costa, dos quais aprecio muito o bom trabalho e esforços conscientes. Também somos gratos a Philip Odonkor, que esboçou exercícios e soluções adicionais e realizou pesquisas para as seções “Foco em . . .” desta terceira edição.

Além disso, os seguintes revisores da primeira e segunda edições nos permitiram tirar proveito de suas perspectivas e experiência de ensino: Terry Berreen, Monash University; John R. Biddle, da California State Polytechnic University (em Pomona); Terry Brown, University of Technology de Sidney; Peter Burban, Cedarville University; David F. Chichka, George Washington University; Scott Danielson, Arizona State University; William Hallett, University of Ottawa; David W. Herrin, University of Kentucky; Robert Hocken, da University of North Carolina (em Charlotte); Damir Juric, do Georgia Institute of Technology; Bruce Karnopp, University of Michigan; Kenneth A. Kline, Wayne State University; Pierre M. Laroche, do Florida Institute of Technology; Steven Y. Liang, Georgia Institute of Technology; Per Lundqvist, Royal Institute of Technology (Estocolmo); William E. Murphy, University of Kentucky; Petru Petrina, Cornell University; Anthony Renshaw, da Columbia University; Timothy W. Simpson, Pennsylvania State University; K. Scott Smith, University of North Carolina (em Charlotte); Michael M. Stanasic, University of Notre Dame; Gloria Starns, Iowa State University; David J. Thum, California Polytechnic State University (San Luis Obispo); e David A. Willis, Southern Methodist University. Somos muito gratos por seus comentários detalhados e sugestões úteis.

Em todos os sentidos, apreciamos muito interagir com a equipe editorial da Cengage Learning. Chris Shortt, o editor, e Randall Adams, o editor de compras, estiveram tão comprometidos com o desenvolvimento de um produto de alta qualidade quanto os editores originais da primeira edição. Hilda Gowans, Amy Hill e Kristiina Paul contribuíram para o desenvolvimento do livro, enquanto Rose Kernan e sua equipe na RPK Editorial Services continuaram combinando habilidade e profissionalismo com um olhar aguçado para os detalhes durante a produção do livro. Para todos expressamos nossos agradecimentos pelo trabalho bem-feito.

Colegas das seguintes organizações industriais, acadêmicas e governamentais foram de grande ajuda e tiveram enorme paciência em nos prover com fotografias, ilustrações e informações técnicas: General Motors, Intel, Fluent, General Electric, Enron Wind, Boston Gear, Mechanical Dynamics, Caterpillar, Nasa, Glenn Research Center da Nasa, W. M. Berg, FANUC Robotics, U.S. Bureau of Reclamation, Niagara Gear, Velocity11, Stratasys, National Robotics Engineering Consortium, Lockheed-Martin, Algor, MTS Systems, Westinghouse Electric, Timken, Sandia National Laboratories, Hitachi Global Storage Technologies, Segway LLC, Agência de Trabalho dos Estados Unidos e Agência de Energia dos Estados Unidos. Sam Dedola e John Haury da Medrad Incorporated foram além

e desenvolveram numerosas ilustrações para a discussão do projeto auxiliado por computador na Seção 2.6. Certamente não listamos todas as pessoas que nos ajudaram com esse empreendimento e nos desculpamos por quaisquer omissões inadvertidas que possamos ter feito.

Jonathan Wickert

Kemper Lewis

Sobre os Autores



Jonathan Wickert

Foto cortesia de Dave Gieseke

Jonathan Wickert leciona na Faculdade de Engenharia da Iowa State University e teve, anteriormente, funções administrativas e magistrais nos departamentos de Engenharia Mecânica dessa universidade e da Carnegie Mellon University. Ele ensina e realiza pesquisas nas áreas da dinâmica e vibração mecânica, introdução à engenharia e liderança na engenharia e desenvolvimento de estratégia. Como pesquisador e consultor, tem trabalhado com empresas e agências federais em uma ampla variedade de problemas e aplicações da engenharia, incluindo armazenamento de dados, fabricação de metal laminado, fibra de vidro, polímeros e produtos químicos industriais, freios automotivos, turbinas a gás de fluxo radial e produtos de consumo. Wickert graduou-se e recebeu seus títulos de mestre e doutor (B.S., M.S. e Ph.D.) em Engenharia Mecânica pela University of California, Berkeley, e fez pós-doutorado pela University of Cambridge. A Society of Automotive Engineers, a American Society for Engineering Education e o Information Storage Industry Consortium reconheceram Wickert pelo seu magistério e pesquisas, e ele foi eleito como conselheiro da American Society of Mechanical Engineers.



Kemper Lewis

© 2011 Universidade de Buffalo/
Douglas Levere

Professor de Engenharia Mecânica e Aeroespacial na University at Buffalo — SUNY, Kemper Lewis leciona e realiza pesquisas nas áreas de projeto mecânico, otimização de sistemas e modelagem de decisão. Como pesquisador e consultor, trabalhou em empresas e agências federais em uma ampla gama de problemas de projeto de engenharia, incluindo o projeto de produto e processo de engrenagens de turbinas, otimização de sistemas de gás industrial, projetos de veículos aéreos e terrestres, inovação em projeto de produtos de consumo e controle de processo de manufatura para resistores de filme fino, trocadores de calor e eletrônicos destinados à medicina. Dr. Lewis graduou-se em Engenharia Mecânica e em Matemática (com os títulos de B.S. e B.A., respectivamente) na Duke University e concluiu seu mestrado e doutorado (M.S. e Ph.D.) em Engenharia Mecânica no Georgia Institute of Technology. Serviu como editor associado do *ASME Journal of Mechanical Design*, no ASME Design Automation Executive Committee e no Painel Nacional de Benchmarking the Research Competitiveness of the United States em Engenharia Mecânica. Ele também serviu como diretor executivo do New York State Center for Engineering Design and Industrial Innovation. Lewis recebeu prêmios em reconhecimento do seu ensino e pesquisa da Society of Automotive Engineers, da American Society for Engineering Education, do American Institute of Aeronautics and Astronautics, e da National Science Foundation. Ele também foi eleito conselheiro da American Society of Mechanical Engineers.

A Profissão de Engenharia Mecânica

Objetivos do Capítulo

- Descrever algumas das diferenças entre engenheiros, matemáticos e cientistas.
- Discutir o tipo de trabalho que o engenheiro mecânico faz, listar algumas das questões técnicas que eles abordam e identificar o impacto que eles têm na resolução dos problemas globais, sociais, ambientais e econômicos.
- Identificar algumas das indústrias e agências governamentais que empregam engenheiros mecânicos.
- Listar alguns dos produtos, processos e hardwares que engenheiros mecânicos projetam.
- Reconhecer como a lista das dez principais conquistas dos engenheiros mecânicos avançou a nossa sociedade e melhorou o nosso dia a dia.
- Entender os objetivos e formatos de um currículo típico para estudantes de engenharia mecânica.

1.1 VISÃO GLOBAL

Neste capítulo introdutório, descrevemos como são os engenheiros mecânicos, o que eles fazem, quais são os desafios e recompensas, qual pode ser o impacto global deles e quão notáveis foram as realizações. Engenharia é o esforço prático no qual são aplicadas ferramentas da matemática e da ciência para desenvolver soluções custo-eficientes para os problemas tecnológicos enfrentados pela nossa sociedade. Engenheiros projetam muitos dos produtos que você usa no seu dia a dia. Eles também criam um grande número de outros produtos que você não necessariamente vê ou ouve falar porque são usados em ambientes de negócios ou industriais. Todavia, eles fazem contribuições importantes para a nossa sociedade, nosso mundo e nosso planeta. Engenheiros desenvolvem o maquinário necessário para manufaturar a maioria dos produtos, as fábricas que os fazem e os sistemas de controle de qualidade que garantem a segurança e o desempenho do produto. Engenharia tem tudo a ver com fazer coisas úteis que funcionam e geram impacto nas vidas das pessoas.

Os elementos da engenharia mecânica

A disciplina da engenharia mecânica está envolvida em parte com certas “subpartes”:

- Projeto (Capítulo 2)
- Práticas Profissionais (Capítulo 3)
- Forças (Capítulo 4)
- Materiais (Capítulo 5)
- Fluidos (Capítulo 6)
- Energia (Capítulo 7)
- Movimento (Capítulo 8)

Engenheiros mecânicos projetam máquinas e estruturas que exploram essas etapas a fim de servir a um objetivo útil e resolver um problema. O projeto original e o problema prático de fazer algo que funcione são temas por trás de qualquer esforço da engenharia. Um engenheiro cria uma máquina ou produto para ajudar alguém a resolver um problema técnico. O engenheiro pode começar de uma página em branco, conceber algo novo, desenvolvê-lo e refiná-lo para que funcione confiavelmente, e – ao mesmo tempo – satisfazer as restrições de segurança, custo e condições de manufatura.

Sistemas robotizados de soldagem (Figura 1.1), motores de combustão interna, equipamentos esportivos, unidades de disco rígido de computador, próteses, automóveis, aeronaves, motores a jato, ferramentas cirúrgicas e turbinas eólicas são algumas das milhares de tecnologias que a engenharia mecânica engloba. Não seria exagero afirmar que, para todo produto que você puder imaginar, um engenheiro mecânico esteve envolvido em algum momento em seu projeto, seleção de materiais, controle de temperatura, garantia da qualidade ou produção. Mesmo se um engenheiro mecânico não tiver concebido ou projetado o produto *per se*, ainda é seguro apostar que um engenheiro mecânico projetou as máquinas que construíram, testaram ou entregaram o produto.

A engenharia mecânica foi definida como a profissão na qual máquinas produtoras de energia e consumidoras de energia são pesquisadas, projetadas e manufaturadas. De fato, engenheiros mecânicos inventam máquinas que produzem ou consomem energia acima da notoriamente larga escala mostrada na Figura 1.2, escala de miliwatts (mW) para gigawatts (GW). Poucas profissões requerem que a pessoa lide com quantidades físicas entre tantas diferentes ordens de magnitude (um trilhão ou um fator de 1.000.000.000.000), mas a engenharia mecânica requer.



Figura 1.1 – Os robôs são usados extensivamente em linhas automatizadas de montagem industrial que requerem precisão quando são desempenhadas tarefas repetitivas, como soldagem a arcos. Reimpresso com a permissão de FANUC Robotics North America Inc.

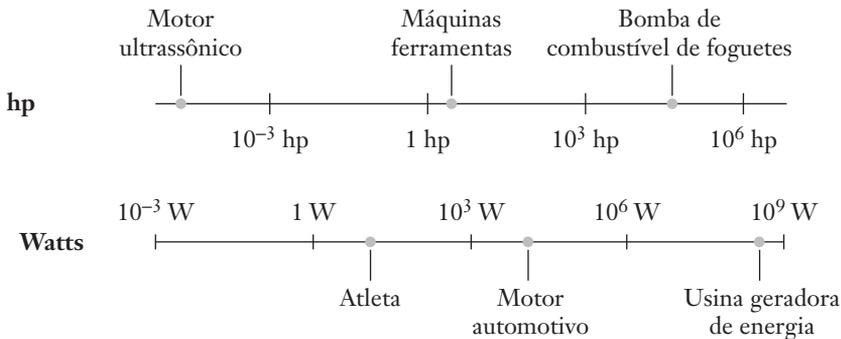


Figura 1.2 – Engenheiros mecânicos trabalham com máquinas que produzem ou consomem energia sobre uma gama notoriamente vasta.

Na extremidade inferior da gama de energia, motores ultrassônicos de pequena precisão, tais como os utilizados na lente de focagem automática de uma câmera, produzem cerca de 0,02 watts (W) de energia mecânica. Movendo-se para cima no nível de potência, um atleta usando equipamentos de ginástica, como uma máquina de remo ou uma escadaria alpinista, pode produzir até várias centenas de watts (cerca de 0,25-0,5 hp) durante um período de tempo prolongado. O motor elétrico em uma furadeira industrial pode desenvolver 1000 W, e o motor em um veículo utilitário esportivo é capaz de produzir cerca de 100 vezes a mesma quantidade de energia. Próximo à extremidade superior da escala, a turbobomba de combustível de alta pressão dos motores primários de uma nave espacial (Figura 1.3) – não os próprios motores, mas apenas a bomba de combustível deles – desenvolve 73.000 hp. Por fim, uma hidrelétrica comercial pode gerar um bilhão de watts de potência, que é uma quantidade suficiente para suprir com energia elétrica uma comunidade de 800 mil famílias.



Figura 1.3 – Destaque do motor principal de uma nave espacial durante teste de pivotamento para avaliar o desempenho de manobrabilidade em condições de voo. Cortesia da NASA.

1.2 O QUE É ENGENHARIA?

A palavra “engenharia” deriva da raiz latina *ingeniere*, que significa desenhar ou projetar, da qual deriva também a palavra “engenhoso”. Esses significados são bastante apropriados para sintetizar as características de um bom engenheiro. No nível mais fundamental, os engenheiros aplicam seus conhecimentos em matemática, ciências e materiais – bem como suas habilidades comunicativas e comerciais – para desenvolver novas e melhores tecnologias. Em vez de apenas experimentar por tentativa e erro, os engenheiros são educados a usar princípios matemáticos e científicos, além de simulações por computador, como ferramentas para criar projetos mais rápidos, precisos e econômicos.

Nesse sentido, o trabalho de um engenheiro difere do trabalho do cientista, que normalmente enfatizaria mais a descoberta de leis físicas do que a aplicação de tais fenômenos para desenvolver novos produtos. A engenharia é essencialmente uma ponte entre descobertas científicas e suas aplicações em produtos. A engenharia não existe para o aprofundamento ou a aplicação da matemática, da ciência ou da computação por si sós. Antes, ela é um condutor do crescimento social e econômico e uma parte integral do ciclo comercial. Com essa perspectiva, o Ministério do Trabalho dos Estados Unidos resume a profissão da engenharia da seguinte maneira:

Os engenheiros aplicam as teorias e os princípios da ciência e da matemática para pesquisar e desenvolver soluções econômicas para problemas técnicos. O seu trabalho é a ligação entre as necessidades sociais percebidas e as aplicações comerciais. Os engenheiros projetam produtos, máquinas utilizadas para a sua fabricação, plantas nas quais eles são fabricados e os sistemas que garantem a qualidade dos produtos e a eficiência da mão de obra e do processo de fabricação. Os engenheiros projetam, planejam e supervisionam a construção de edifícios, estradas e sistemas de tráfego. Desenvolvem e implementam formas aprimoradas de extração, processamento e utilização de matéria-prima, como petróleo e gás natural. Desenvolvem novos materiais que tanto melhoram o desempenho dos produtos como tiram proveito dos avanços da tecnologia. Exploram a energia do Sol, da Terra, dos átomos e da eletricidade, para suprir as necessidades de energia da nação e criar milhões de produtos utilizando energia. Analisam o impacto dos produtos que desenvolvem ou dos sistemas que projetam no ambiente e nas pessoas que os utilizam. O conhecimento da engenharia é aplicado para melhorar várias coisas, incluindo a qualidade dos serviços de saúde, a segurança dos produtos alimentícios e as operações do sistema financeiro.

Muitos estudantes começam a estudar engenharia porque se sentem atraídos pelas áreas da matemática e da ciência. Outros migram para os cursos de engenharia porque são motivados por um interesse na tecnologia e no modo como as coisas cotidianas funcionam ou, talvez, com mais entusiasmo, como as coisas não tão cotidianas assim funcionam. Um número crescente de outros estudantes se exalta pelo impacto significativo que os engenheiros podem ter em problemas globais, tais como água potável, energia renovável, infraestruturas sustentáveis e auxílio em catástrofes.

Independentemente da razão pela qual os estudantes se sentem atraídos pela engenharia, ela distingue-se da matemática e da ciência. No fim do dia, o objetivo do engenheiro é ter construído um dispositivo que desempenhe uma tarefa que antes não poderia ser concluída ou realizada de modo tão preciso, rápido ou seguro. A matemática e a ciência fornecem algumas das ferramentas e dos métodos que permitem ao engenheiro testar protótipos rudimentares, refinando os projetos no papel e por meio de simulações computadorizadas, antes que qualquer metal seja cortado ou qualquer hardware seja construído. Conforme sugerido na Figura 1.4, a “Engenharia” poderia ser definida como a intersecção de atividades relativas à matemática, à ciência, às simulações computadorizadas e aos hardwares.

Aproximadamente 1,5 milhão de pessoas está empregado como engenheiro nos Estados Unidos. A vasta maioria trabalha em indústrias e menos de 10% está empregada pelos governos municipal, estadual e federal. Os engenheiros que são funcionários federais são frequentemente associados a organizações, como a Agência Aeroespacial Norte-americana (NASA) ou o Ministério da Defesa (DOD), Transportes (DOT) e Energia (DOE). Cerca de 3% a 4% de todos os engenheiros são autônomos e trabalham principalmente na área de consultoria e capacitação empresarial. Além disso, um diploma de engenharia prepara estudantes para trabalhar em uma ampla gama de áreas de atuação de influência. Numa lista recente dos diretores executivos da revista *Fortune 500*, 23% tem diplomas de graduação em engenharia, o que é duas vezes o número dos formados em Administração ou Economia. Pesquisas similares na Standard & Poor’s (S&P) 500 retornaram que 22% dos diretores executivos tinham um diploma de graduação em engenharia. Foi a especialização mais popular para diretores executivos em 9 dos 13 principais setores industriais:¹

- Serviços administrativos
- Produtos químicos
- Comunicações
- Eletricidade, gás e saneamento
- Componentes eletrônicos
- Maquinário industrial e comercial

¹ Principais diretores executivos: Um retrato estatístico dos líderes da S&P 500” (Chicago, 2008), Spencer Stuart.

- Instrumentos de medida
- Extração de gás e mineral
- Equipamento de transportes

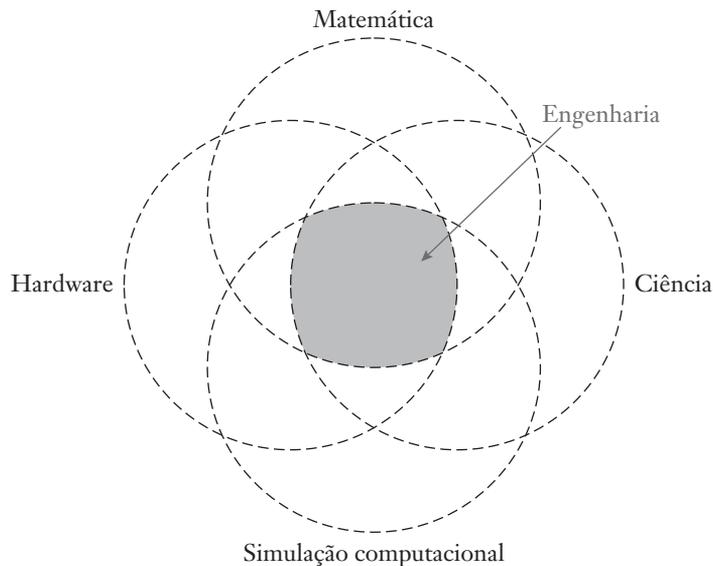


Figura 1.4 – Engenheiros combinam suas habilidades em matemática, ciência, computação e hardware.

Isto é compreensível dado que engenheiros sabem que a resolução bem-sucedida de problemas começa com o recolhimento eficaz de informação e pressupostos sólidos. Eles sabem como processar informação para tomar decisões tendo em conta parâmetros desconhecidos. Também sabem quando isolar fatos e emoções em suas decisões, embora sejam incrivelmente inovadores e intuitivos.

Apesar de graduações em engenharia serem bem representadas em altas lideranças administrativas, sua representação em posições de alta liderança política e civil é mista. Atualmente, apenas 11 dos 535 membros do Congresso dos Estados Unidos possuem diploma de engenheiro.² Entretanto, 8 dos 9 membros do comitê de alta liderança civil da China têm diploma de engenheiro.³ Apesar do que esta estatística informa, muitos dos líderes chineses em ascendência têm diplomas de economia, história, administração, jornalismo ou direito. Líderes do mundo todo estão percebendo que é necessária uma ampla gama de habilidades, tanto em ciências exatas quanto em ciências humanas, para governar as nações em um mundo cada vez mais plano.⁴ Como resultado, o campo da engenharia está mudando e esse livro engloba muitas dessas mudanças em como os engenheiros precisam ver, modelar, analisar, resolver e disseminar os desafios técnicos, sociais, ambientais, econômicos e civis por meio de uma perspectiva global.

A maior parte dos engenheiros, depois de conseguir seu diploma em uma das grandes áreas, acaba por se especializar. Apesar de algumas especialidades estarem listadas no Federal Government's Standard Occupational Classification (SOC – sistema de Classificação Padrão Ocupacional do Governo Federal), numerosas outras especialidades são reconhecidas por sociedades profissionais. Além disso, a maior parte das engenharias tem muitas subdivisões. Por exemplo, a engenharia civil inclui

² National Society of Professional Engineers, "Professional Engineers in Congress", http://www.nspe.org/GovernmentRelations/TakeAction/IssueBriefs/ib_pro_eng_congress.html.

³ Norman R. Augustine, "Is America Falling off the Flat Earth?" (*Os Estados Unidos estão caindo da terra plana?*) (Washington, DC: The National Academies Press, 2007).

⁴ Melinda Liu, "Right Brain," *Newsweek*, 8 de setembro de 2009.

as subdivisões de estruturas, transportes, urbanismo e construção; a engenharia elétrica inclui as subdivisões de energia, controle, eletrônica e telecomunicações. A Figura 1.5 representa a distribuição dos engenheiros nas principais áreas, assim como em outras diversas especializações.

Os engenheiros desenvolvem suas habilidades, primeiro, pelo estudo formal em um curso de cinco anos, em uma faculdade ou universidade credenciada e, depois disso, por meio de estudos de pós-graduação e/ou da experiência prática adquirida no trabalho sob a supervisão de engenheiros mais experientes. Ao iniciar novos projetos, os engenheiros normalmente confiam no bom-senso, intuição física, habilidades práticas e discernimento adquirido em experiências técnicas anteriores. Engenheiros fazem rotineiramente aproximações grosseiras para responder a questões como: “Um motor de 10 hp é suficientemente potente para acionar este compressor de ar?” ou “Quantos “g’s” de aceleração a pá do turbo alimentador deve suportar?”.

Quando a resposta para determinada questão não é conhecida ou são necessárias mais informações para finalizar o trabalho, o engenheiro realizará pesquisas adicionais usando recursos como livros, revistas técnicas e publicações comerciais de uma biblioteca técnica; sites como Google Acadêmico e CiteSeer; congressos de engenharia e feiras de exposição de produtos; patentes e dados de fornecedores industriais. O processo de formação de um bom engenheiro é um empreendimento que dura a vida toda e é uma mistura de instrução e experiência. Podemos argumentar que não é possível construir uma carreira vitalícia apenas com o que se aprende na faculdade. Na medida em que as tecnologias, os mercados e a economia crescem e se desenvolvem rapidamente, os engenheiros estão constantemente aprendendo novas abordagens e técnicas de solução de problemas, bem como informando a outros sobre suas descobertas. (Experiência de vida)

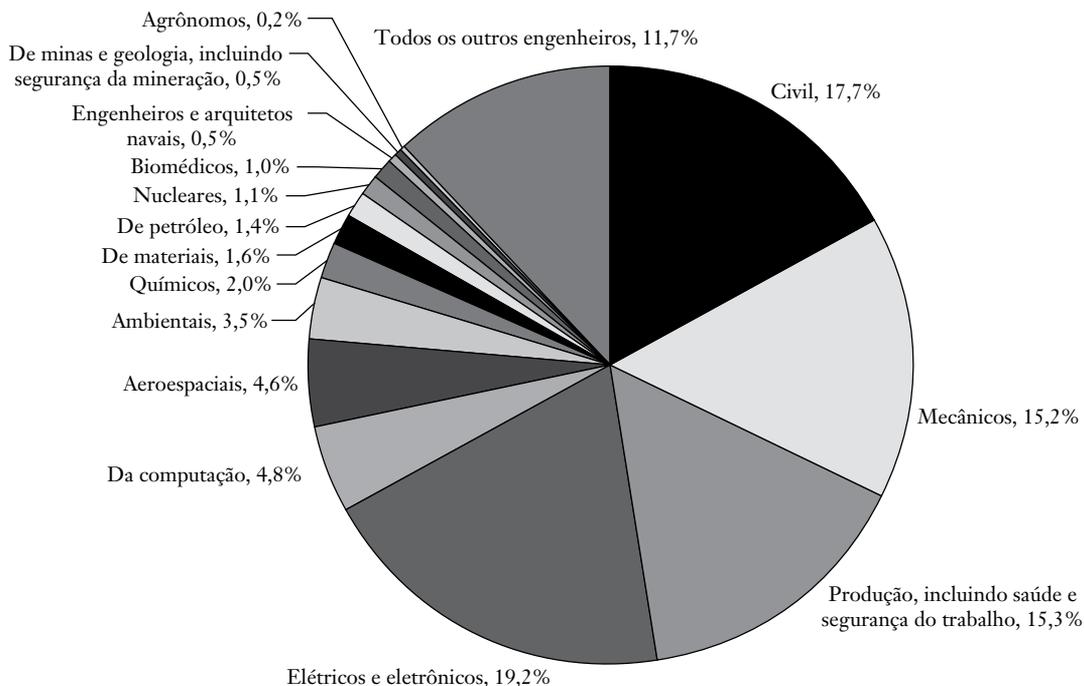


Figura 1.5 – Porcentagem dos engenheiros que trabalham nos campos tradicionais da Engenharia e suas especialidades. Ministério do Trabalho dos Estados Unidos.

FOCO EM **Projetando Você Mesmo**

Ao iniciar sua educação formal em engenharia mecânica, mantenha em mente o resultado de seu diploma. Tal como o seu processo de educação contínua, quer formalmente com mais graus ou informalmente com treinamentos nas empresas, o resultado imediato é um trabalho que corresponda às suas habilidades, paixões e educação. Uma busca rápida no Monster.com revela os seguintes conhecimentos e habilidades que os empregadores esperam de estudantes graduados com nível de bacharel em engenharia mecânica. Neste livro, abrangemos uma série dessas habilidades para ajudá-lo a se preparar para ser um profissional bem-sucedido no campo dinâmico da engenharia mecânica.

Engenheiro mecânico (Aerotek)

Requisitos gerais:

- Deve ser capaz de trabalhar em um ambiente altamente colaborativo e de ritmo acelerado, com ênfase em prototipagem rápida e desenvolvimento das capacidades
- Conhecimento de software de modelagem CAD
- Conhecimento de desenvolvimento de propostas, definição de requisitos, projeto detalhado, análise, teste e suporte

Responsabilidades:

- Conduzir análises de fluxo de fluidos em nossos sistemas de propulsão, desenvolver programas de testes de propulsão, testar projetos de hardware e análises para conduzir os testes necessários para validar sistemas de propulsão
- Ler desenhos técnicos e esquemáticos
- Trabalhar com outros engenheiros para resolver os problemas do sistema e fornecer informações técnicas
- Preparar material para, e realizar, revisões periódicas de projeto para garantir conformidade de produtos com design de engenharia e especificações de desempenho
- Executar atividades de engenharia de projeto e desenvolvimento consistentes com as condições de qualidade, custo e programação do cliente
- Realizar pesquisas para testar e analisar a viabilidade, projeto, operação e desempenho de equipamentos, componentes e sistemas
- Estimar os custos e apresentar propostas para a engenharia

Engenheiro mecânico (Dell, inc.)

Requisitos gerais:

- Conhecimento dos materiais compósitos, testes, processamento, projeto ou análise

- Será uma parte da equipe de estruturas e materiais avançados
- Conhecimento de software de modelagem CAD e educação completa em engenharia

Responsabilidades:

- Auxiliar no fornecimento de suporte de engenharia para uma variedade de clientes, desde peças de desenhos até projetos completos de componentes
- Testar vários materiais, a maioria dos materiais compósitos importantes

Engenheiro mecânico (Phillips, Pittsburgh, PA)

Requisitos gerais:

- Conhecimento dos processos de desenvolvimento de produto
- Elevado nível de motivação e criatividade
- Capacidade de prosperar em um ambiente de desenvolvimento de produto acelerado e com espírito de equipe
- Conhecimento e compreensão das responsabilidades de trabalho através da aplicação de conhecimentos, habilidades, princípios e práticas que produzem melhorias de qualidade e clientes satisfeitos
- Capacidade de trabalhar eficientemente com outros engenheiros e não engenheiros em uma equipe internacional e multicultural
- Gestão de conflitos, tomada de decisão sólida em tempo hábil, capacidade de escutar, motivação e perseverança
- Capacidade de se comunicar de forma eficaz demonstrando destreza com a escrita técnica
- Experiência na criação de projetos utilizando o software de modelagem 3D, pacotes de análise de software e sistemas de gerenciamento de dados de produtos

Responsabilidades:

- Participar ou liderar vários aspectos da concepção de novos e/ou existentes produtos de interface com o paciente, garantindo atualizações funcional/de produto, melhorias de qualidade e melhorias de produção, em nível nacional e internacional
- Participar ou liderar vários aspectos do desenho mecânico para produtos existentes para o tratamento de distúrbios do sono
- Continuar a aprender para crescimento pessoal e organizacional e de forma proativa compartilhar o conhecimento com os outros
- Inovar e mudar o que não está funcionando bem no novo projeto de produto, projeto de peças moldadas por injeção a plástico, seleção de materiais, análise de tensões e processos de montagem

- Efetivamente usar métodos empíricos, estatísticos e teóricos para resolver problemas complexos de engenharia

Engenheiro mecânico (Eng III – AREVA solar)

Requisitos gerais:

- Familiaridade com softwares CAD e FEA e documentação de controle de processos
- Experiência básica em projeto, execução e documentação de testes
- Experiência em ambiente de produção é um diferencial
- Análise estrutural de estruturas (resistência do ar, FEA, dinâmica)

Responsabilidades:

- Projetar, analisar e otimizar novos componentes para o campo solar para maximizar o desempenho e ter eficiência de custo
- Projetar e testar as montagens, manutenções e sistemas de acionamento de refletores
- Apoiar a implementação de projetos das etapas iniciais até a fabricação e instalação
- Comunicação com outros departamentos internos e fornecedores externos sobre componentes e desempenho do sistema, viabilidade e impacto
- Análise estrutural, prototipagem e teste.

1.3 QUEM SÃO OS ENGENHEIROS MECÂNICOS?

O campo da Engenharia Mecânica abrange as propriedades das forças, dos materiais, da energia, dos fluidos e do movimento, assim como a aplicação desses elementos para desenvolver produtos que avancem a sociedade e melhoram a vida das pessoas. O Ministério do Trabalho dos Estados Unidos descreve a profissão da seguinte maneira:

Os engenheiros mecânicos pesquisam, desenvolvem, projetam, fabricam e testam ferramentas, motores, máquinas e outros dispositivos mecânicos. Trabalham em máquinas que produzem energia, tais como geradores de eletricidade, motores a explosão, turbinas a vapor e a gás, e motores para jatos e foguetes. Também desenvolvem máquinas que utilizam energia, como equipamentos de refrigeração e condicionamento de ar, robôs utilizados em processos de fabricação, máquinas-ferramentas, sistemas de manuseio de materiais e equipamentos de produção industrial.

Os engenheiros mecânicos são conhecidos pelo seu amplo escopo de competência e por trabalharem com uma grande variedade de máquinas. Alguns poucos exemplos incluem os sensores microeletromecânicos de aceleração utilizados nos air bags de carros; sistemas de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar dos edifícios comerciais e escritórios; equipamentos pesados de construção projetados para uso fora de vias públicas (off-road); veículos híbridos movidos a gás e eletricidade; embreagens, rolamentos e outros componentes mecânicos (Figura 1.6); implantes de quadris artificiais; navios utilizados para pesquisas no fundo do mar; sistemas de fabricação operados por robôs; válvulas cardíacas artificiais; equipamentos não invasivos para detecção de explosivos e naves para exploração espacial (Figura 1.7).

Com base nas estatísticas de emprego, a engenharia mecânica representa a terceira maior especialidade, entre os cinco campos tradicionais da engenharia e, geralmente, é descrita como a especialidade que oferece a maior flexibilidade de escolhas na carreira. Em 2008, aproximadamente 238.700 pessoas estavam empregadas como engenheiros mecânicos nos Estados Unidos, uma população que representa 15% de todos os engenheiros. Essa especialidade está fortemente relacionada com as áreas da engenharia de produção (240.500 pessoas), aeroespacial (71.600) e nuclear (16.900), uma vez que cada um desses campos surgiu como uma histórica evolução dos ramos da engenharia mecânica.

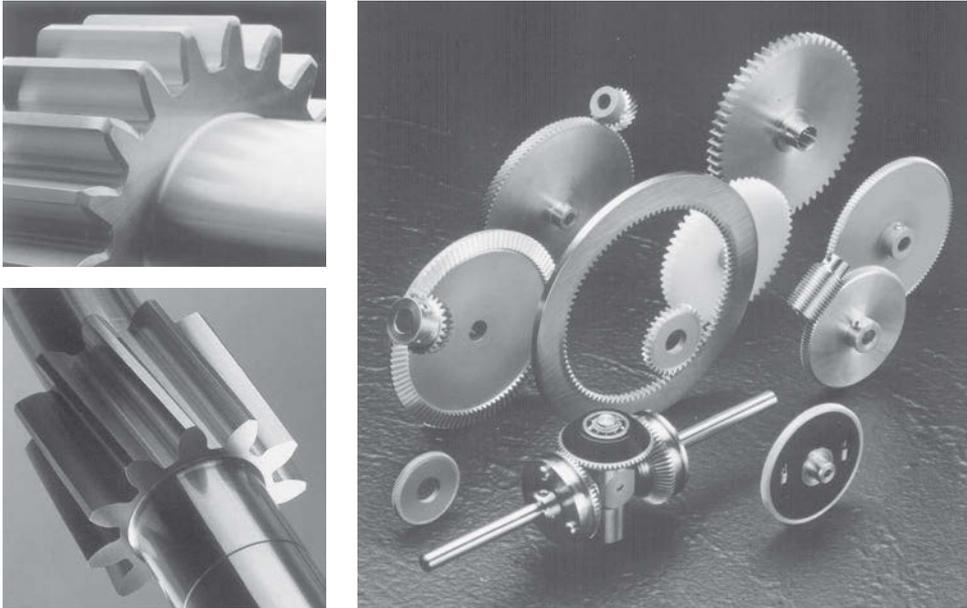


Figura 1.6 – Os engenheiros mecânicos projetam máquinas e equipamentos de transmissão de energia usando os vários tipos de engrenagens como componentes de construção.
Reimpresso com permissão da Niagara Gear Corporation, Boston Gear Corporation e W. M. Berg, Incorporated.



Figura 1.7 – O *Mars Exploration Rover* é um laboratório móvel geológico utilizado para estudar a história da água em Marte. Os engenheiros mecânicos contribuíram para o projeto, propulsão, controle térmico e outros aspectos desses veículos robóticos.
Cortesia da NASA.

Juntas, as engenharias mecânica, de produção, aeroespacial e nuclear são responsáveis por cerca de 36% de todos os engenheiros. Mais de metade dos empregos atuais em engenharia mecânica são em indústrias que projetam e produzem maquinário, equipamento de transporte, computadores, pro-

duto eletrônico e produtos de metal fabricado. Espera-se que campos emergentes, como a biotecnologia, ciência dos materiais e nanotecnologia, criem novas oportunidades de trabalho para engenheiros mecânicos. O U.S. Bureau of Labor Statistics (Departamento de Estatística do Trabalho dos Estados Unidos) prevê um aumento de cerca de 10 mil empregos de engenharia mecânica até o ano de 2016. Um diploma de engenheiro mecânico também pode ser aplicado em outras especialidades da engenharia, como engenharia de produção, engenharia automotiva, engenharia civil ou engenharia aeroespacial.

Enquanto a engenharia mecânica frequentemente é vista como a mais ampla das engenharias tradicionais, existem várias oportunidades de especialização na indústria ou tecnologia que podem lhe interessar. Por exemplo, um engenheiro na indústria de aviação pode focar a sua carreira em tecnologias avançadas para o arrefecimento das lâminas da turbina em motores a jatos ou sistemas de controle de voo por sinais elétricos.

Acima de tudo, engenheiros mecânicos fazem equipamentos que funcionam. A contribuição de um engenheiro para uma companhia ou outra organização é avaliada, ultimamente, com base em se o produto funciona como deveria. Engenheiros mecânicos projetam equipamentos, estes são produzidos pelas companhias e vendidos ao público ou para clientes industriais. No processo deste ciclo de negócios, algum aspecto da vida do cliente é melhorado e a sociedade como um todo se beneficia dos avanços técnicos e oportunidades adicionais oferecidas pela pesquisa e desenvolvimento da engenharia.

Dez principais conquistas feitas pela engenharia mecânica

A engenharia mecânica não significa números, cálculos, computadores, engrenagens e graxa. Em seu âmago, a profissão é motivada pelo desejo de contribuir para o avanço da sociedade por meio da aplicação da tecnologia. A American Society of Mechanical Engineers (ASME – Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos) fez uma pesquisa entre seus membros para identificar as maiores conquistas da engenharia mecânica. Essa sociedade profissional é a organização mais importante, destinada a representar interesses da comunidade dos engenheiros mecânicos nos Estados Unidos e em âmbito internacional. Essa lista das dez principais conquistas, resumidas na Tabela 1.1, poderá ajudá-lo a compreender melhor quem são os engenheiros mecânicos e avaliar as contribuições que eles têm dado ao mundo. Em ordem decrescente do impacto que tais conquistas tiveram sobre a sociedade, a pesquisa identificou os seguintes marcos:

- 1. O automóvel.** O desenvolvimento e a comercialização dos automóveis foram considerados a conquista mais importante da engenharia mecânica no século XX. Dois fatores responsáveis pelo crescimento da tecnologia automotiva foram os motores leves de alta potência e os processos eficientes para a fabricação em massa desses motores. Atribui-se ao engenheiro alemão Nicolaus Otto o projeto do primeiro motor eficiente de combustão interna de quatro tempos. Após um esforço enorme dos engenheiros, esta é a principal escolha de fonte de energia para a maioria dos automóveis. Além dos avanços no motor, a competição no mercado de automóveis levou a avanços na área de segurança, economia de combustível, conforto e controle de emissão de poluentes. Uma das mais recentes tecnologias inclui os veículos híbridos movidos a gás-eletricidade, freios com dispositivo que evita o travamento, pneus de esvaziamento limitado, air bags, amplo uso dos materiais compostos, sistemas de controle computadorizado de injeção de combustível, sistemas de navegação por satélite, temporização variável de válvulas e células de combustível.

Tabela 1.1 – As dez principais conquistas da engenharia mecânica, compilado da American Society of Mechanical Engineers

1. O automóvel
2. O programa Apollo
3. Geração de energia
4. Mecanização da agricultura
5. O avião
6. Circuitos integrados de produção em massa
7. Condicionamento de ar e refrigeração
8. Engenharia auxiliada por computador
9. Bioengenharia
10. Códigos e normas técnicas

Compilado da American Society of Mechanical Engineers. Cortesia da Mechanical Engineering Magazine, ASME.

A ASME reconheceu não apenas a invenção do automóvel, mas as tecnologias de fabricação por trás dele. Quanto às tecnologias, milhões de veículos foram produzidos por um valor suficiente para que todas as famílias pudessem comprar um automóvel. Além dos seus esforços de projetar veículos, Henry Ford foi o pioneiro na utilização das técnicas para produção de veículos em massa em uma linha de montagem, que permitiu aos consumidores de todos os níveis econômicos adquirirem seus próprios veículos. Por gerar empregos nas indústrias de máquinas-ferramentas, matéria-prima e serviços, o automóvel tornou-se um elemento-chave da economia mundial. Desde minivans a carros esportivos e de luxo, o automóvel – uma das maiores contribuições da engenharia mecânica – tem exercido uma influência ubíqua em nossa sociedade e cultura.

2. O programa Apollo. Em 1961, o presidente John Kennedy desafiou os Estados Unidos a enviarem um homem à Lua e trazê-lo de volta à Terra são e salvo. A primeira parte do objetivo foi realizada menos de dez anos depois, com o pouso da *Apollo 11* na superfície da Lua, em 20 de julho de 1969. A tripulação, composta de três homens, Neil Armstrong, Michael Collins e Buzz Aldrin, retornou à Terra alguns dias depois são e salva. Em razão dos avanços tecnológicos e do profundo impacto cultural, o programa Apollo foi escolhido como a segunda conquista mais influente do século XX (Figura 1.8).



Figura 1.8 – O astronauta John Young, comandante da missão Apollo 16, caminha sobre a superfície lunar na plataforma de aterrissagem Descartes, enquanto saúda a bandeira dos Estados Unidos. O veículo de exploração lunar está parado em frente ao módulo lunar.

Cortesia da NASA.

O programa Apollo baseou-se em três principais desenvolvimentos da Engenharia: o grande veículo espacial de três estágios, *Saturn V*, que produziu um empuxo da ordem de 33 milhões de newtons na decolagem, o módulo de comando e serviço, e o módulo de excursão lunar, que foi o primeiro veículo projetado para voar apenas no espaço. É impressionante colocar o desenvolvimento rápido da Apollo em perspectiva. Apenas 66 anos após Wilbur e Orville Wright realizarem seu primeiro voo, milhões de pessoas ao redor do mundo testemunharam ao vivo, na televisão, a primeira aterrissagem na superfície da Lua.

O programa Apollo talvez seja único entre as conquistas da Engenharia, com relação à combinação dos avanços tecnológicos, o espírito de exploração e o patriotismo. De fato, as fotografias da Terra, tiradas do espaço, mudaram o modo como víamos a nós mesmos e nosso planeta. A Apollo, a exploração planetária, os satélites de comunicação e mesmo a sofisticada previsão de tempo teriam sido impossíveis sem a iniciativa e os esforços dedicados de centenas de engenheiros mecânicos.

- 3. Geração de energia.** Um aspecto da engenharia mecânica envolve projetar máquinas que convertem energia de uma forma em outra. Energia abundante e barata é reconhecida como fator essencial para o crescimento econômico e a prosperidade, e a geração de energia elétrica é reconhecida como um grande fator de aprimoramento do padrão de vida de bilhões de pessoas ao redor do globo. No século XX, sociedades inteiras foram mudadas à medida que a eletricidade era produzida e distribuída para casas, empresas e indústrias.

Apesar de os engenheiros mecânicos levarem o crédito de desenvolverem tecnologias eficientes para converter várias formas de energia armazenada em eletricidade que pode ser distribuída mais facilmente, o desafio de levar energia a cada homem, mulher e criança do planeta ainda paira sobre os engenheiros mecânicos.

Os engenheiros mecânicos manipulam a energia química armazenada em elementos combustíveis como o carvão, o gás natural e o óleo; a energia cinética do vento, que aciona turbinas que produzem eletricidade; a energia nuclear em usinas elétricas, navios, submarinos e aeronaves; e a energia potencial dos reservatórios de água, que alimentam as hidrelétricas. Algumas das questões ligadas à geração de energia são o custo do combustível, o custo da construção de estações e usinas de eletricidade, as emissões de poluentes e o impacto ambiental, e a confiabilidade e segurança permanentes. A geração em grande escala de eletricidade é um exemplo típico da necessidade de engenheiros de equilibrar tecnologia com questões sociais, ambiental e econômicas. Ao passo que os recursos naturais diminuem e os combustíveis se tornam mais caros por causa do custo do próprio elemento e do impacto ambiental, a engenharia mecânica ficará mais envolvida no desenvolvimento de tecnologias avançadas de geração de energia, incluindo a energia solar, dos oceanos e a eólica (Figura 1.9).

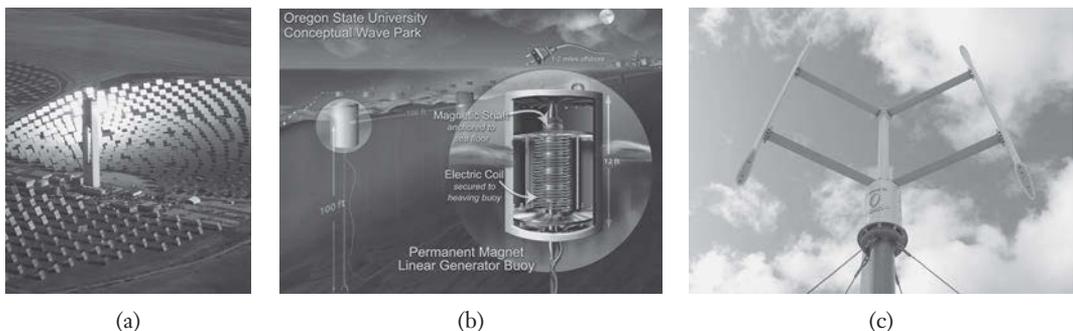


Figura 1.9 – Os engenheiros mecânicos projetam máquinas para gerar eletricidade a partir de uma variedade de fontes renováveis de energia como (a) torres de energia solar, (b) usinas de energia das ondas e (c) turbinas eólicas inovadoras. Cortesia da Abengoa Solar. (b) Nicolle Rager Fuller/National Science Foundation/Photo Researchers, Inc. (c) Cortesia da Cleanfield Energy.

- 4. Mecanização na agricultura.** Engenheiros mecânicos desenvolveram tecnologias para melhorar significativamente a eficiência da indústria agrícola. A automação teve início, efetivamente, com a introdução dos tratores motorizados em 1916 e o desenvolvimento das colheitadeiras, que simplificaram muito o processo da colheita de grãos. Décadas mais tarde, as pesquisas avançaram para desenvolver a capacidade das máquinas para realizar colheitas automatizadas de campos, sem a intervenção do homem, usando maquinário avançado, tecnologia de GPS, orientação inteligente e algoritmos de controle (Figura 1.10). Outros avanços incluem as observações e previsões aprimoradas das condições meteorológicas, bombas de irrigação de alta capacidade, ordenhadeiras automatizadas e bancos de dados informatizados para a gestão de colheitas e controle de pragas. À medida que essas tecnologias se tornaram comuns, as pessoas passaram a se beneficiar das oportunidades sociais e intelectuais em outros setores da economia, além da agricultura. A tecnologia da mecanização na agricultura permitiu diversos avanços em outros setores econômicos, incluindo transporte de bens, comércio, restauração e saúde.
- 5. O avião.** O desenvolvimento do avião e das tecnologias relacionadas, que tornam o voo motorizado mais seguro, também foi reconhecido pela American Society of Mechanical Engineers como uma conquista importante da profissão. A aviação comercial de passageiros criou oportunidades de viagem para fins comerciais e recreativos e, em especial, as viagens internacionais tornaram o mundo um lugar muito menor e mais inter-relacionado. Os exploradores e colonizadores do passado levavam 6 meses para cruzar a América do Norte em carros de tração animal; as jornadas levavam 2 meses por barco a vapor e diligências; e um trem conseguia completar a viagem em cerca de 4 dias. Hoje, a viagem leva 6 horas por avião comercial e é mais segura e confortável do que nunca.



Figura 1.10 – Os veículos-robôs em desenvolvimento podem aprender o formato e o tipo de terreno de uma plantação de grãos, e fazer a colheita dos grãos sem praticamente nenhuma supervisão humana. Reimpresso com a permissão do National Robotics Engineering Consortium.

Os engenheiros mecânicos desenvolveram ou contribuíram para o desenvolvimento de praticamente todos os aspectos da tecnologia da aviação. Uma das principais contribuições deu-se na área da propulsão. Os aviões antigos eram movidos por motores à explosão impulsionados por pistões, como o motor de 12 hp usado no primeiro avião dos irmãos Wright. Em contraste, os motores da General Electric Corporation, que movimentam alguns dos aviões Boeing 777, podem desenvolver um empuxo máximo de mais de 500 kN de força. Os avanços na aviação militar de alto desempenho incluem os motores turbofan vetoriais, que permitem ao piloto redirecionar o empuxo do motor para decolagens e pousos verticais. Os engenheiros mecânicos projetam os sistemas de combustão,

as turbinas e os sistemas de controle desses avançados motores a jato. Pelas vantagens concedidas por instalações de teste, tais como túneis de vento (Figura 1.11), eles também lideraram o projeto de turbinas, o desenvolvimento de sistemas de controle e a descoberta de materiais aeroespaciais leves, incluindo as ligas de titânio e os compostos de epóxi reforçados com fibra de grafite.

- 6. Produção em massa de circuitos integrados.** A indústria de componentes eletrônicos desenvolveu tecnologias notáveis para miniaturizar circuitos integrados, chips de memória de computadores e microprocessadores. A engenharia mecânica fez contribuições importantes durante o século XX para os métodos de produção envolvidos na fabricação de circuitos integrados. Enquanto o antigo processador 8008 vendido inicialmente pela Intel Corporation em 1972 possuía 2.500 transístores, o atual Tukwila em um processador da Intel tem mais de 2 bilhões de transístores (Figura 1.12). Essa razão exponencial do incremento do número dos componentes que podem ser montados em um chip de silicone é geralmente chamada lei de Moore, em homenagem ao cofundador da Intel Gordon Moore. Com base nos desenvolvimentos passados, essa observação prevê que o número de transístores que podem ser colocados em um circuito integrado dobrará a cada 18 meses. Essa previsão foi feita em 1965 e, ainda, é verdadeira, embora os engenheiros e cientistas estejam trabalhando para avançar os limites fundamentais da física.



Figura 1.11 – Esse protótipo do X-48B, uma aeronave de fuselagem integrada, está sendo testado em um túnel de vento subsônico no Centro de Pesquisas Langley da NASA, Virgínia. Cortesia da NASA.

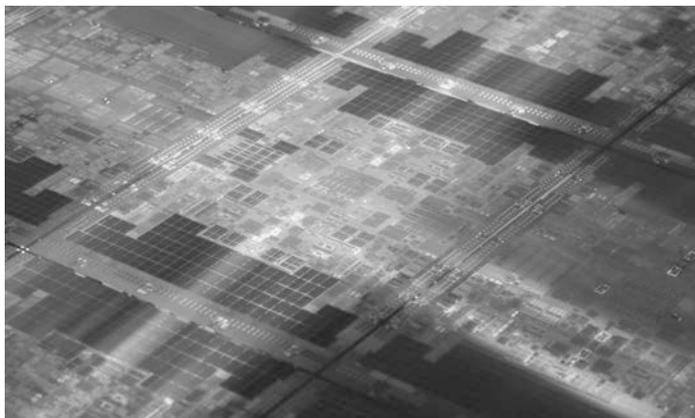


Figura 1.12 – Os engenheiros mecânicos fizeram importantes contribuições para o desenvolvimento das tecnologias necessárias à fabricação de milhões de componentes eletrônicos de dispositivos, tais como o Processador Tukwila da Intel. Cortesia da Intel.

INTRODUÇÃO À ENGENHARIA MECÂNICA

TRADUÇÃO DA 3ª EDIÇÃO NORTE-AMERICANA

JONATHAN WICKERT • KEMPER LEWIS

Este livro traz uma abordagem introdutória ao campo da Engenharia Mecânica e proporciona aos estudantes uma visão de como os engenheiros devem projetar máquinas e equipamentos, os quais contribuem para o avanço de nossa sociedade. Equilibrando habilidades de resolução de problemas, análise e execução de projetos, aplicações ao mundo real e à tecnologia prática, o livro oferece uma base contínua para o estudo futuro na engenharia mecânica.

O texto traz aplicações diversas, como motores a explosão, prototipagem rápida, projetos de engenharia auxiliados por computador, nanotubos de carbono, robótica, imagem reproduzida por ressonância magnética, motores a jato, transmissões automáticas e energia solar. A obra conta ainda com muitos exemplos e ilustrações que facilitam o aprendizado, além de diversos problemas e exercícios para revisão.

APLICAÇÕES

O livro traz contribuições específicas para o acompanhamento das disciplinas de Estática, Dinâmica, Resistência dos Materiais, Elementos de Máquinas, Projetos Mecânicos, Mecânica dos Fluidos, Fabricação Mecânica, entre outras, todas comuns a um curso de Engenharia Mecânica.



Para suas soluções de curso e aprendizado,
visite www.cengage.com.br

ISBN-13: 978-85-221-1867-0
ISBN-10: 85-221-1867-1



9 788522 118670