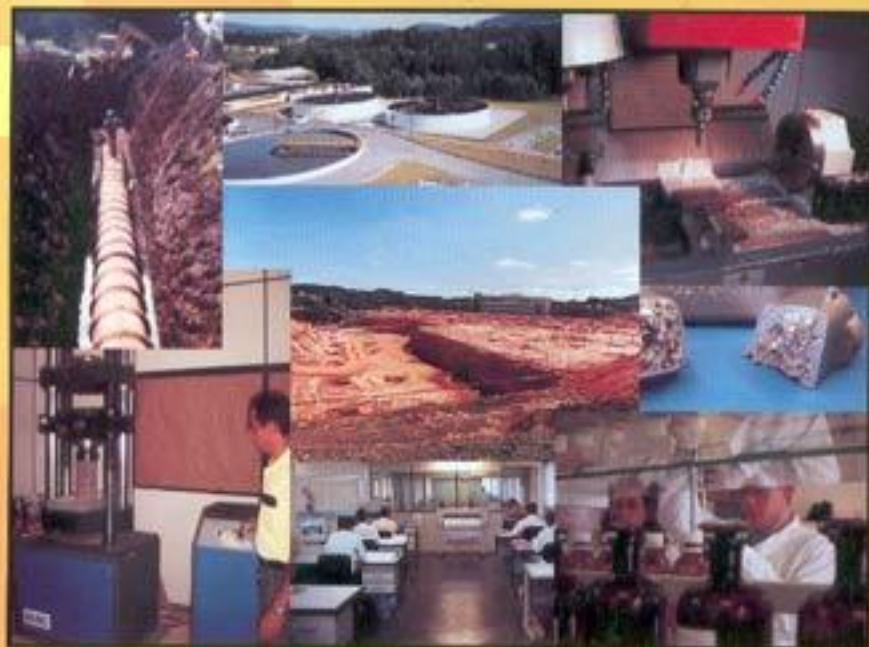


WALTER ANTONIO BAZZO E LUIZ TEIXEIRA DO VALE PEREIRA

INTRODUÇÃO À ENGENHARIA

CONCEITOS, FERRAMENTAS E COMPORTAMENTOS



EDITORA
DA UFSC

UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO

INTRODUÇÃO À ENGENHARIA

CONCEITOS, FERRAMENTAS E COMPORTAMENTOS

Walter Antônio Bazzo
Luiz Teixeira do Vale Pereira

INTRODUÇÃO À ENGENHARIA

CONCEITOS, FERRAMENTAS E COMPORTAMENTOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Reitor
Lúcio José Botelho

Vice-Reitor
Ariovaldo Bolzan

EDITORA DA UFSC

Diretor Executivo
Alcides Buss

Conselho Editorial
Eunice Sueli Nodari (Presidente)
Cornélio Celso de Brasil Camargo
João Hernesto Weber
Luiz Henrique de Araújo Dutra
Nilcéa Lemos Pelandré
Regina Carualho
Sérgio Fernando Torres de Freitas

Editora da UFSC
Florianópolis
2006

© Walter Antônio Bazzo e Luiz Teixeira do Vale Pereira

Editora da UFSC
Campus Universitário - Trindade
Caixa Postal 476
88010-970 - Florianópolis - SC
(48) 3331-9408, 3331-9605 e 3331-9686
(48) 3331-9680
edufsc@editora.ufsc.br
http://www.editora.ufsc.br

Direção editorial e capa:

Paulo Roberto da Silva

Revisão técnico-editorial:

Aldy Vergés Maingué

Editoração:

Daniella Zatarian

Revisão:

Júlio César Ramos

Ficha Catalográfica

(Catalogação na fonte pela Biblioteca Universitária da
Universidade Federal de Santa Catarina)

B364i Bazzo, Walter Antônio
Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos / Walter Antônio Bazzo, Luiz Teixeira do Vale Pereira.
- Florianópolis : Ed. da UFSC, 2006.
270 p. : il.
Inclui bibliografia
1. Engenharia - Estudo e ensino. 2. Comunicação na Engenharia. 3. Conceitos. 4. Mercado de trabalho. 5. Engenharia - Orientação profissional. I. Pereira, Luiz Teixeira do Vale. II. Título.

CD

U: 62
ISBN 85.328.0356-3

Reservados todos os direitos de publicação total ou parcial pela Editora da UFSC
Impresso no Brasil

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	
PREFÁCIO	11
CHEGANDO À UNIVERSIDADE	15
Alerta aos iniciantes	17
Uma nova fase.....	18
Porque estudar?	21
Considerações sobre um método de estudo	22
Condições para viabilizar o estudo	24
Fases do estudo	26
Outras recomendações.....	38
Tarefas para complementação do aprendizado	42
CAPÍTULO 2 COMUNICAÇÃO	43
O engenheiro e a comunicação.....	45
Processo de comunicação	46
Redação	47
Linguagem técnica.....	47
Artifícios auxiliares da redação	50
Estrutura básica de um relatório	51
Outras partes componentes do trabalho	54
Estrutura física do relatório técnico	56
O desenho na comunicação	57
Considerações finais	59
Tarefas para complementação do aprendizado	61
CAPÍTULO 3 ORIGENS DA ENGENHARIA	63

Considerações preliminares.....	65
Síntese histórica	65
Habilidade técnica: um diferencial humano.....	66
A técnica faz diferença.....	68
Surgimento da engenharia moderna.....	69
Marcos históricos importantes	71
A engenharia nasce como profissão oficial.....	74
As primeiras escolas de engenharia.....	74
Fatos marcantes da ciência e da tecnologia.....	76
Início da engenharia no Brasil.....	77
Tarefas para complementação do aprendizado	79

CAPITULO 4 O ENGENHEIRO 81

Engenharia e sociedade	83
Engenheiro e sociedade	85
Um alerta importante	86
Engenheiro no mercado de trabalho	87
O engenheiro e o técnico	89
Qualidades desejáveis de um profissional.....	91
Por que várias engenharias?.....	98
Processo de formação profissional.....	100
As bases de um curso de engenharia.....	102
Tarefas para complementação do aprendizado	108

CAPÍTULO 5 PESQUISA 109

Bases da sociedade moderna.....	111
Um pouco sobre as ciências	112
Sobre a pesquisa tecnológica	113
Ciência e tecnologia.....	114
Ensino de engenharia, ciência e tecnologia	115
Método de pesquisa	116
Tipos de conhecimento	117
Processos do método de pesquisa	118
Exemplo de um trabalho de engenharia.....	124
Exemplo de um trabalho de pesquisa.....	126
Organização da pesquisa.....	127
Tarefas para complementação do aprendizado	129

CAPÍTULO 6 CRIATIVIDADE 131

A arte da engenharia	133
O que é criatividade.....	134
As bases da criatividade	135
O processo criativo.....	139
Espaço de soluções de um problema	140
Barreiras que afetam a criatividade	143
Técnicas de estímulo à criatividade	146
O crítico e o perceptivo	153
Tarefas para complementação do aprendizado	155

capítulo 7 modelos e simulação 157

Modelagem.....	159
O que é modelar.....	159
Modelos e sua classificação	160
Valor dos modelos.....	165
O modelo e o sistema físico real.....	166
Validade das hipóteses simplificativas	168
Para que servem os modelos.....	171
O que é simular	173
Tipos de simulação	174
Tarefas para complementação do aprendizado	180

CAPÍTULO 8 OTIMIZAÇÃO 181

A procura por melhores soluções.....	183
A melhor solução	185
Modelos de otimização.....	186
Métodos de otimização	187
Otimização com uma variável	191
Otimização com duas ou mais variáveis	192
Exemplo de otimização - problema do projétil.....	194
Tarefas para complementação do aprendizado	198

CAPÍTULO 9 PROJETO 199

A essência da engenharia.....	201
Como ser um bom projetista.....	202
O que é projeto?	202
Processo de projeto.....	204
Ação científica e ação tecnológica.....	205
Fases do projeto.....	207

<i>Identificação de uma necessidade</i>	208
<i>Definição do problema.....</i>	209
<i>Coleta de informações</i>	212
<i>Concepção da solução</i>	214
<i>Avaliação do projeto</i>	216
<i>Especificação da solução final</i>	217
<i>Comunicação do projeto</i>	218
<i>Informações complementares.....</i>	220
<i>Abordagem de problemas em engenharia.....</i>	221
<i>Tarefas para complementação do aprendizado</i>	224

CAPÍTULO 9 ENGENHARIAS 225

<i>Áreas de atuação profissional</i>	227
<i>Aeronáutica</i>	227
<i>Agrimensura</i>	230
<i>Agronomia.....</i>	231
<i>Alimentos.....</i>	232
<i>Cartográfica</i>	233
<i>Civil.....</i>	234
<i>Elétrica</i>	236
<i>Florestal.....</i>	237
<i>Industrial.....</i>	238
<i>Materiais</i>	239
<i>Mecânica</i>	240
<i>Metalúrgica</i>	241
<i>Minas.....</i>	243
<i>Naval.....</i>	244
<i>Pesca</i>	245
<i>Produção.....</i>	246
<i>Química.....</i>	248
<i>Sanitária</i>	249
<i>Têxtil</i>	250
<i>Tarefas para complementação do aprendizado</i>	251

APÊNDICE A SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES 253

APÊNDICE B ALGUMAS INFORMAÇÕES IMPORTANTES 261

APRESENTAÇÃO

Apresentar o livro *Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamento*, dos professores Bazzo e Teixeira é, antes de tudo, um exercício de engenharia. Lendo, percebe-se a dimensão que a ciência da engenharia tem no contexto da sociedade atual. Consegue-se mensurar a grandeza de se permitir que jovens aprendizes se moldem seguindo modelos que servirão de referência para o futuro. Tem-se a clareza da magnitude do trabalho desses dois grandes professores do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina.

O livro é uma estrada muito bem pavimentada onde, em cada capítulo, o leitor - aluno ou professor - é apresentado ao caminho que deve ser seguido, entre os viadutos, pontes e túneis que os jovens encontram ao cursar uma graduação em engenharia nas universidades brasileiras.

Felizes os estudantes de engenharia que podem dispor de um livro dessa envergadura. Construído com base nos mais ricos paradigmas da educação, pode-se dizer que este livro se assemelha a um circuito integrado, que busca, na menor dimensão possível, proporcionar inúmeras interpretações - dando asas a todas as imaginações.

Deve-se reconhecer que, entre se introduzir na engenharia e se tornar engenheiro, há muitas etapas de um processo de transformação que devem necessariamente ser percorridas. Este livro do Bazzo e do Teixeira mostra perfeitamente - como se fosse uma planta isométrica - o quanto integrado é esse processo. O acoplamento dos temas, a integração das matérias e a multi e interdisciplinaridade são evidenciadas com leveza e propriedade, permitindo imaginar o percurso necessário para se tornar um engenheiro.

Finalmente, pode-se dizer que *Introdução à Engenharia: conceitos, ferramentas e comportamento* é um livro a ser lido e seguido por todos que gostam da engenharia e que entendem a importância da ação de "engenharia".

Arioaldo Bolzan
Professor do Departamento de Engenharia
Química e Engenharia de Alimentos
Vice-Reitor da UFSC

PREFÁCIO

CARRUAGEM DE FOGO

Embarcar num veículo em movimento, que já tem uma trajetória antiga e consolidada, que funciona como um sistema bem-estruturado, com personagens ocupando suas posições nos assentos, não é tão fácil quanto parece. Filmes de aventura, desenhos animados e jogos raramente espelham algum realismo nas suas fantasiosas cenas de heróis e bandidos saltando de um veículo em movimento para outro.

Mas na vida real às vezes nem alcançamos o veículo. Quando conseguimos isso, temos dificuldade de nos equilibrarmos na sua carenagem, ou dentro dele. Quando muito, chegamos e mal entendemos as regras do jogo, de onde vem o veículo, como ele funciona, para onde vai, quem ou o que o comanda, onde está o manual de operação dos equipamentos de bordo. Enfim, temos de, com rapidez, embarcar, nos desembaraçar dos rituais de chegada, pegar o "jeito da coisa", entender a linguagem utilizada lá dentro, as relações de forças e começar a colher os frutos da viagem, ou quem sabe até contribuir para corrigir o trajeto em curso.

E no começo nem temos direito a assentos, ficamos pendurados nos estribos, nas cordas de segurança, segurando nas mãos dos mais experientes, tentando seguir algumas instruções e conselhos esparsos vindos não se sabe de onde. A cada curva, a cada irregularidade da pista ou mudança de velocidade, rodopiamos feito folhas secas num vendaval.

Para quem chega, tudo é novo, complexo, mágico. A muito custo, com o tempo, a tempestade acalma, a poeira baixa, as coisas parecem fazer sentido, o novo pouco a pouco começa a ficar familiar. O complexo se transforma em algo instigante, um estímulo ao nosso intelecto, e o que antes parecia mágico

Mas nem todos têm a sorte de compreender todo esse processo a tempo de usufruir os serviços de bordo, os benefícios da aventura ou de se deliciarem com a privilegiada paisagem da janela.

Embarcar num curso de engenharia é quase isso. Tudo já funciona, há regras, técnicas, procedimentos, linguagem própria, posições hierárquicas, história, teorias, conceitos, relações de interesses, enfim, um tabuleiro repleto de peças que dançam cumprindo papéis mais ou menos bem definidos. O quadro parece já estar pintado, cristalizado, emoldurado, tudo pronto, e só nos basta apreciá-lo, compreendê-lo, nos maravilhar com o seu esplendor.

Engenharia: eis uma profissão que é fruto do trabalho de milhares de pessoas que, ao longo dos tempos, estudaram, arriscaram, investiram anos de suas vidas, que se decepcionaram e que exultaram com os resultados de suas soluções. Mais que isso: esta é uma profissão que precisa constantemente renovar seus arsenais de "mentes-de-obra" bem qualificadas, inquietas, criativas, dispostas a batalhar e a ultrapassar limites, curiosas.

A engenharia é um formidável veículo que se move e que, a cada nova estação, arregimenta pilotos, passageiros, colaboradores, entusiastas, críticos, todos ávidos por fazer parte do cenário, cheios de esperança, motivação e energia, mas também repletos de dúvidas, incertezas e medos. Afinal, estão embarcando numa "carruagem de fogo", e muitos dos novos personagens que entram em cena só conhecem dela traços caricatos que pouco ajudam a entendê-la. Por isso, como numa imaginária carruagem de fogo, quem nela embarca precisa passar por um ritual de adaptação, para poder reconhecer o terreno, ocupar seus espaços, colher bom proveito do passeio.

Afinal, não estamos falando de atividades profissionais num sentido genérico, de qualquer uma delas. Estamos falando da engenharia, justo a engenharia, esta fascinante atividade

humana. Ela mesma, que é cheia de surpresas, suspenses, dúvidas, técnicas, experiências, soluções, teorizações, enfim, de um conjunto incalculável de conhecimentos que desafiam a nossa mente, e que, a cada novo problema, nos surpreendem e despertam novas idéias.

Nessa profissão é como se, a cada virada de página, a cada gaveta aberta, a cada porta que se abre, a cada curva, um novo mundo fosse descortinado. As técnicas de fabricação, o processo de obtenção dos materiais, os fenômenos físicos, os procedimentos matemáticos necessários para o cálculo da estrutura ou os ensaios em laboratório envolvidos, por exemplo, numa lata de refrigerante, na sola de um tênis ou na maçaneta da porta de nossas casas revelam um universo inteiro de estudos, teorias, lutas, acertos e desacertos.

Para onde olharmos, lá estará a engenharia, veículo que embala fantásticos sonhos da humanidade. Na roupa que vestimos, na comida que comemos, no livro que lemos, nos carros, no cinema, na televisão, no consultório médico, no show de nossa banda preferida, lá está ela no palco dos acontecimentos.

Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos é um texto que busca facilitar o embarque na carreira, abreviar o tempo de adaptação, acelerar o processo de decantação da poeira, mostrar as possibilidades e os encantos da profissão.

Mas nós não pretendemos que ele seja um bote salva-vidas, uma porta de emergência, um lenitivo capaz de resolver qualquer disfunção do sistema. Buscamos, com este texto, oferecer uma contribuição para o ensino de engenharia no Brasil, visando aos recém-ingressos nas suas mais diversas habilitações.

Sua origem remonta a 1986, quando preparamos uma primeira apostila para uma disciplina de introdução à engenharia. Ao longo desse tempo, o material original foi transformado num livro - que gerou várias edições e inúmeras tiragens. A sua história e transformação agora num novo livro -

basicamente com o mesmo propósito dos anteriores, mas com conteúdo aprimorado e viés epistemológico diferente - revela antes de mais nada uma aposta na sua pertinência pedagógica e técnica e na sua adequação ao cenário educacional brasileiro.

Em linhas gerais, este livro aborda a estrutura, alguns limites, a trajetória, os compromissos técnicos e sociais e algumas ferramentas de trabalho da engenharia hoje praticada. Ou seja, buscamos ajudar a esclarecer quem é esta entidade desconcertante - a engenharia, carruagem movida pelo fogo do deus mitológico Prometeu -, tornando menos árduo e mais prazeroso o embarque na profissão.

Walter Antônio Bazzo
wbazzo@emc.ufsc.br

Luiz Teixeira do Vale Pereira
teixeira@emc.ufsc.br

Chegando à universidade



ALERTA AOS INICIANTES

Chegar à universidade representa um fato marcante na vida de qualquer pessoa. É também um privilégio para quem desfruta dessa oportunidade, principalmente numa sociedade desigual, que não oferece tal chance a todos. A expectativa de construir novos conhecimentos, novas formas de ver o mundo e novas amizades renova as esperanças de um futuro melhor, acenando com novas possibilidades de vida - para si e para a sociedade. Parece não haver dúvida: a universidade, apesar de algumas deficiências, é um local onde as pessoas podem passar bons momentos de suas vidas, desde que participem com interesse das atividades por ela oferecidas.

Mas para que isso ocorra, deve haver uma decisão pessoal firme de aproveitar da melhor forma possível a infra-estrutura da instituição. Conhecê-la com profundidade, construir o seu futuro em conjunto com a comunidade acadêmica e discutir as questões relacionadas com a sociedade são atitudes que ajudam sobremaneira a usufruir as oportunidades que a vida universitária torna disponíveis. E elas não são poucas, estão por toda parte e acontecem a todo o momento. Por isso é preciso estar atento para percebê-las e disposto a avaliar as vantagens de participar de algumas delas, depois de selecionar aquelas que mais nos interessam.



Vista aeral e praca central de um campus

Apenas aguardar que os professores apresentem conhecimentos previamente elaborados é uma atitude muito comodista e incompatível com os propósitos maiores de uma formação

universitária. Além do mais, agindo desse modo, excelentes oportunidades de crescimento intelectual terão sido desperdiçadas. Até porque a aprendizagem é um processo, ou seja, é uma atividade que demanda tempo, ação e dedicação, e por isso depende muito de cada indivíduo.

A qualidade de um curso não depende apenas dos professores, de laboratórios bem equipados, de boas bibliotecas e de salas de aula confortáveis. Depende muito da qualidade e da motivação do estudante que nele ingressa. Mais ainda! Depende de um clima geral - na instituição — que favoreça os estudos, que estimule a criatividade e que instigue o aprimoramento intelectual. Para contribuir com este quadro e fazer parte desse ambiente de constante crescimento, devemos, na qualidade de estudantes, participar ativamente do nosso processo de formação, que começa justamente conhecendo e vivenciando a instituição de ensino.

Tudo o que foi comentado anteriormente não acontece sem que estejamos motivados e dispostos a participar de todo um processo de mudança. Caso contrário, com toda honestidade, seria mais sensato e proveitoso procurar fazer outra coisa. Deve ser extremamente frustrante estar na universidade e levar os estudos apenas com o intuito de receber um diploma, fundamentado na perspectiva de futuramente ganhar altos salários - o que é uma premissa falsa - ou apenas para agradar os pais, que gostariam de ver o filho diplomado numa universidade. Nestes casos, o melhor a fazer é *realizar* um exame de consciência apurado - para confrontar desejos, vontades, sonhos e realidade -, para não nos arrependermos depois. Todas as profissões são honradas, oferecem boas possibilidades de realização pessoal e nem todas dependem, para o seu sucesso, que sejam trilhados os caminhos de uma universidade.

Não é objetivo central desta introdução analisar com pormenores estas ponderações, mas apenas chamar a atenção para alguns aspectos relevantes da vida universitária. Caso isso desperte alguma ansiedade - a ponto de deixar dúvidas sobre esta escolha importantíssima para o futuro -, recomendamos uma boa reflexão a respeito do assunto, conversas com amigos, com pessoas mais experientes, ou mesmo uma consulta a um orientador vocacional.

O que está escrito a seguir tem por objetivo auxiliar numa familiarização dentro desse novo e fascinante ambiente. Na medida do possível, o que está aqui apresentado tenta respeitar as inúmeras diferenças existentes entre aqueles que entraram na universidade. Mas, em linhas gerais, é endereçado especialmente a quem quer ter consciência do papel que representa perante a instituição, a profissão e o contexto social em que vive.

UMA NOVA FASE

Muita coisa muda no passarmos do ensino médio para o universitário. Talvez a forma trabalhar os conhecimentos seja a mais importante dessas mudanças.

Por força de uma tradição do processo educacional, no ensino médio, em muitas situações, os estudantes são levados a desempenhar um papel muito passivo, sendo o professor o "comandante supremo" de tudo o que acontece dentro da sala de aula. Se esse é de fato o caso - não deveria ser em nível algum de nossa escolaridade -, dentro de uma universidade o cenário é outro: o estudante agora deve buscar ser um agente ativo do processo educacional, passando a fazer parte da construção de seus conhecimentos. Nesta nova fase, o estudante é cobrado a direcionar e programar com mais liberdade, autonomia e responsabilidade o seu aprendizado, dosando-o de acordo com suas potencialidades ou interesses.

Essa maior liberdade, entretanto, deve ser usufruída progressivamente, com maturidade e discernimento. Infelizmente, não é tão difícil encontrar estudantes que, em nome dessa liberdade, fogem do esforço exigido pelas leituras recomendadas, adiam - sem motivos consistentes - a realização de projetos, chegam tarde ou saem antes do final das aulas, ou mesmo deixam de assisti-las. Isso representa, na realidade, uma inconseqüente falta de seriedade, incompatível com as atitudes de futuros profissionais que deverão retribuir esta oportunidade recebida da sociedade.



Instantâneos de um campus universitário

Uma diferença marcante entre o ensino médio e o universitário diz respeito à relação professor-aluno. Nesta nova fase o professor passa a ser mais orientador do que fiscalizador. Ou pelo menos uma parcela maior deles age assim. Porém, logo percebemos que nem todos correspondem ao modelo ideal que construímos do mestre de ensino superior. Entretanto, o importante é aprendermos a enfrentar de forma madura estas questões, prestando inclusive contribuições à instituição ao tentar resolver impasses e dificuldades que porventura possam acontecer nestas relações.

Com relação à adaptação geral à vida universitária, devemos procurai-nos colocar a par de inúmeras situações com as quais nos deparamos, por exemplo, no tocante a aspectos de moradia, alimentação e

assistência médica. *Estes* aspectos geralmente afetam mais aqueles que se deslocam de seus lugares de origem e têm que se adaptar a novas situações. Como nem todos podem morar confortavelmente em acomodações individuais, o melhor é estar preparado para dividir espaços em repúblicas de estudantes - geralmente casas ou apartamentos alugados por um grupo de pessoas -, aspecto que exige, para *se* viver em harmonia, um comportamento social minimamente equilibrado, com divisão de responsabilidades e regras de convivência. Nestas condições, as oportunidades de distrações - programas extra-estudos - aparecerão com mais frequência, podendo colocar em segundo plano o processo central que é a dedicação aos estudos.



Música num teatro universitário



Encontro no intervalo entre as aulas

Esse problema é menos sentido por aqueles que têm domicílio no local de estudo, que moram com a sua família e que talvez por isso tenham uma vida social mais estabilizada. Alguma dose de perturbação social ou mesmo mudanças bruscas de ambiente pode parecer um aspecto irrelevante, mas se isso não for tratado com a devida atenção, pode prejudicar o ritmo de estudos, fazendo com que se tenha dificuldade para trabalhar prioridades.

A saúde física é fundamental para o pleno desenvolvimento das atividades intelectuais. Portanto, cuidados com alimentação, repouso e atividades físicas devem ser constantes. Por isso, é importante que estejamos informados sobre assistência médica, odontológica e psicológica que a maioria das universidades oferece, para utilizá-las em eventuais necessidades.

Existem inúmeras outras possibilidades e recursos dos quais a universidade dispõe que, ao serem explorados, poderão *oferecer* inestimáveis oportunidades de crescimento intelectual ou mesmo de auxílio pessoal em alguns momentos de dificuldade. Alguns exemplos: áreas de lazer, atividades desportivas, bibliotecas, cursos extracurriculares, diretórios acadêmicos, laboratórios, moradia estudantil, promoções culturais, restaurantes do *campus*, formada, pronto-socorro.

Tudo o que foi comentado anteriormente é importante, porém o fundamental é fazer o melhor uso possível dos conteúdos acadêmicos que serão trabalhados durante a permanência na universidade.

Nos próximos itens abordamos algumas recomendações que objetivam melhorar o rendimento nos estudos e, de forma geral, no aprendizado. Mas fica um alerta: não estamos propondo estabelecer um roteiro rígido sobre a forma de estudar. Aliás, isso seria incoerente com nossa proposta de trabalho, pois acreditamos na autonomia do estudante neste estágio da vida. Visamos, na verdade, chamar a atenção para a importância do emprego de uma metodologia de trabalho que possa auxiliar a economizar tempo e poupar in esforço e que, principalmente, resulte em estudos mais promissores.



Restaurante universitário

Mas ninguém deve se iludir: essas recomendações não são mágicas, mas podemos substituir o esforço e a dedicação que não queremos ter. além do mais, qualquer proposta de trabalho deve ser adaptada para cada interessado, respeitando as características que, ao empregar alguma metodologia de estudo, é bem possível que possamos aproveitar com muito mais eficiência aquilo que a universidade oferece.

POR QUE ESTUDAR?

Em muitas empresas modernas, acredita-se que a meia-vida dos conhecimentos de um engenheiro seja menor que dez anos. Isso significa mais ou menos o seguinte: a metade de tudo que se aprende num curso de graduação será considerado conhecimento obsoleto em menos de uma década. Supondo que essa projeção seja verdadeira, podemos concluir, portanto, que a aprendizagem não é estática. Por isso, se estamos preocupados com o nosso futuro profissional,

devemos cuidar continuamente do nosso processo de formação, e não apenas durante o curso de graduação.

No ritmo em que têm evoluído a ciência e a tecnologia, estima-se que dentro de dez anos o montante de conhecimentos no mundo dobrará. Podemos apostar também na seguinte previsão: quem está iniciando hoje um curso de engenharia ainda estará atuando como engenheiro dentro de 30 ou 40 anos. A quantidade de conhecimentos nesse tempo - é de se esperar - deve ser bem maior que aquela atualmente dominada. Isso sem contar que um profissional formado hoje, e ainda atuante no mercado de trabalho dentro de 30 anos, estará às voltas com conhecimentos bastante diferentes dos trabalhados durante a sua formação.

Embora essas estimativas requeiram alguma reflexão, de alguma forma elas corroboram a idéia de que o domínio e a manipulação da informação são habilidades necessárias para um profissional de futuro. Assim, não há outra saída: quem pretende ser um indivíduo ativo na sua maturidade profissional deve aprender, definitivamente, a estudar com eficiência. Para que isso aconteça, imaginamos que seja fundamental saber usar adequadamente os recursos disponíveis para conseguir um bom aprendizado. Apenas essa perspectiva já deve servir de motivo para aprendermos a estudar. É disso que trataremos na continuidade deste capítulo.

CONSIDERAÇÕES SOBRE UM MÉTODO DE ESTUDO

A transição do ensino médio para um curso universitário exige do estudante uma série de alterações no seu comportamento, nem sempre fáceis de serem postas em prática. Entretanto, algumas mudanças são inevitáveis, pois na universidade cada um deve assumir definitivamente uma conduta responsável, conciliando a sua vida social com os estudos, o que nem sempre é fácil de conseguir.

Outro aspecto preliminar importante de ser registrado é que saber estudar não é inato, é algo que precisa ser aprendido. Dessa forma, devemos e podemos aprender a estudar. E isso tanto mais é necessário quanto mais nos conscientizamos de nosso papel e de nossos compromissos como estudantes. Podemos dizer que deveríamos deixar a condição de alunos — entendendo aluno como aquele que é ensinado - e passarmos definitivamente a ser estudantes - sendo estudante aquele que aprende e estuda porque quer, com motivação, com dedicação, sob orientação de alguém mais experiente ou como autodidata. A vida universitária nos impõe esta mudança de conduta. Estudar não é apenas captar um assunto, mas principalmente organizar na mente, com fluidez, continuidade e encadeamento lógico, diversos tópicos,

formando uma postura crítica e coerente, estabelecendo relações entre o assunto aprendido e o mundo à nossa volta.

Não devemos confundir aprender com estudar. Estudar é uma faculdade particular do ser humano; aprender é uma característica dos seres vivos, que o homem pratica desde que nasce, aprendendo a falar, a andar ou a usar utensílios. O resultado de um estudo deve ser, necessariamente, a incorporação de conhecimentos úteis para a nossa vida, devendo, portanto, modificá-la continuamente.

O que pretendemos com esta proposta é apresentar uma metodologia de trabalho, visando a um melhor e mais sólido aprendizado. A bem da verdade, devemos ressaltar que o primeiro objetivo deste tópico é desmitificar a idéia - ainda bastante arraigada no meio universitário — de que possa existir uma maneira de estudar pouco e aprender muito, cujo método dispense o trabalho que não queremos ter.

Outro ponto importante que procuramos deixar claro é a impossibilidade de conciliar estudo com a falta absoluta de tempo para estudar. As duas coisas, levadas ao pé da letra, são inconciliáveis. Quem pretende efetivamente estudar deve descobrir ou criar o seu tempo para isso. E sempre vai ser possível essa meta. Um bom começo para conseguirmos tempo é planejar com seriedade aquilo que temos de cumprir.

Pontos importantes, como uma preparação psicológica - condição básica para viabilizar um estudo que culmine numa aprendizagem *eficaz* - e uma boa programação do tempo, para o estudo, o trabalho ou o lazer, são abordados aqui como condições imprescindíveis para aplicarmos esta ou qualquer outra técnica de estudo.

Regras úteis para um estudo eficiente	
Não há regras absolutas no tocante a métodos de estudo; o que existe são recomendações que devem ser adaptadas às particularidades de cada indivíduo, e também às peculiaridades de cada assunto a ser estudado - por exemplo, estudar matemática exige comportamentos distintos dos necessários para estudar uma língua estrangeira	Devemos estar cientes da importância de aprender a ver um determinado assunto sob diferentes ângulos, a compará-los e a refletir criticamente sobre o tema
	Saber fazer perguntas, para si e para outros, é uma utilíssima ferramenta para nos orientarmos
	Estudo sem trabalho, sem esforço, é lenda; estudar exige dedicação; mas, como toda atividade humana, estudar pode ser algo extremamente prazeroso

De forma geral, o estudo eficaz é um processo que exige dedicação exclusiva, não devendo ser compartilhado com outra atividade. Por esta razão, recomendamos um verdadeiro isolamento enquanto estudamos, intercalando pequenos intervalos de descanso, para evitar o cansaço prematuro. Isso não inviabiliza que em determinadas situações alguém possa ter bons rendimentos executando algumas tarefas acadêmicas ao mesmo tempo, por exemplo, em que ouve música. Mas todo cuidado é pouco. No mais das vezes, as pessoas se iludem tentando imitar comportamentos, talvez adequados para alguns, mas que não são apropriados nem proveitosos para outros.

CONDIÇÕES PARA VIABILIZAR O ESTUDO

Uma condição básica para viabilizar o estudo é a programação do tempo. Determinar o que fazer em cada momento é um excelente começo para um bom estudo. Isso se justifica porque uma boa programação evita confusões, indecisões e adiamentos, que levam quase sempre a deixarmos de lado determinadas atividades em favor de outras que nos são aparentemente mais agradáveis ou cómodas. Para que não estudemos apenas o que mais nos agrada no momento, é sempre importante fazer um bom planejamento. Evitamos assim deixar de lado assuntos que mereçam mais dedicação, ou mesmo deixamos de estudar, com o pretexto de que outras atividades extra-ensino também são importantes. Isso pode fazer com que o lazer acabe prevalecendo, prejudicando os estudos.

Não que o lazer não seja importante, ou que os estudos não possam ser uma atividade prazerosa. No primeiro caso, devemos lembrar que se o nosso propósito é um processo de formação universitária, esta meta deve estar sempre em destaque, ocupando nossas atenções por grande parte de nosso tempo. Em segundo lugar, é bom não perdermos de vista que estudos bem feitos, de forma sadia e competente e com motivação, podem conferir tanto prazer quanto outras atividades que consideramos - talvez por convenção social - como hobby, lazer, entretenimento, diversão...

Uma programação deve contemplar, além dos tempos de sala de aula e trabalho - monitoria, bolsa de iniciação científica, estágio, ou mesmo atividades fora da universidade -, períodos de tempo de estudo extraclasse bem dosados para cada matéria, de acordo com o grau de dificuldade de cada assunto, avaliado pelo próprio estudante. Assim, por exemplo, podemos dedicar duas horas por noite nas terças e quintas-feiras para estudar Física, e uma hora em cada tarde das segundas e quartas-feiras para revisar as aulas de Química.



Alunos trabalhando em um grupo de iniciação científica



Alunos desenvolvendo um projeto em laboratório

Para compatibilizar isso, sugerimos o preenchimento de um quadro de horários - como, por exemplo, o apresentado a seguir -, onde cada atividade a ser cumprida deve estar registrada.

Na realidade, o importante na confecção de um quadro de horários para estudo e trabalho é que ele seja realístico. Se não for assim, ele provavelmente não será bem executado. E um horário não cumprido não é 80 inútil, é também nocivo porque leva a pensar que se está fazendo algo, quando de fato isso não acontece.

	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb
manhã							
tarde							
noite							

Quadro de horários para o planejamento das tarefas semanais

Um horário também não pode ser rígido e inflexível, devendo ser corrigido e adaptado constante mente, de acordo com as necessidades do período. Por exemplo: numa semana de provas, devemos dedicar um tempo maior às revisões gerais - que integram os assuntos de uma mesma disciplina -, sem deixar de lado os imprescindíveis tempos a serem dedicados às recomposições das aulas, ao esporte, ao lazer etc.

Não subestimar a validade do aproveitamento de pequenos períodos livres é também uma sábia medida. É só fazer as contas e verificar que estes tempos não podem ser desperdiçados.

Quinze minutos de estudo por dia representam	105 minutos por semana	450 minutos (7,5 horas) por mês	Mais de 5400 minutos (cerca de 90 horas) por ano
--	------------------------	---------------------------------	--

É bastante comum que estudantes que trabalham para poder sustentar seus estudos tenham bom desempenho nos seus cursos. Isso se deve basicamente a dois fatores. O primeiro é que, participando ativamente no custeio dos seus estudos, acabam por dar-lhes muita importância. O segundo é que, tendo que conciliar estudo com trabalho, fatalmente terão que valorizar ao máximo todo o seu tempo, pois sabem que dificilmente terão outra oportunidade para desenvolver uma tarefa. Dessa forma, estão automaticamente pondo em prática a racionalização do tempo. Entretanto, mesmo assim podemos melhorar ainda mais o rendimento, tomando precauções extras, como as aqui apresentadas.

Um último ponto que queremos ressaltar é a dedicação de tempo para descanso e lazer, o que é essencial para a saúde física e mental. É importante, para quem desenvolve atividades intelectuais, também desenvolver em paralelo atividades que estimulem o sistema psicomotor, ou então cultivar um passatempo em área bastante diferente do trabalho usual; isso ajuda a descansar a mente das tarefas acadêmicas.

Ao estudar, devemos lembrar também que aproveitar intensamente o tempo de estudo é uma forma de dar sentido às horas de lazer.

FASES DO ESTUDO

Um curso de engenharia tem por objetivos, dentre outros, estimular a criatividade, fornecer ferramental básico para que façamos frente aos problemas técnicos com os quais nos depararemos na nossa profissão, estimular a adotar uma postura crítica e consciente para com a sociedade.

Para alcançar esses objetivos devemos estar atentos, durante a nossa formação, para uma série de recomendações sobre como proceder para tirar o melhor proveito possível dos estudos e trabalhos. Isso nos levará, logo cedo, a percebermos que sempre existem melhores maneiras de resolver problemas, sejam eles do tipo que forem.

Neste item são sintetizadas algumas recomendações e propostas para melhorar o desempenho nos estudos, otimizando procedimentos de trabalho. As recomendações aqui contidas - na verdade um método de estudo - *fazem* parte de uma proposta maior de comportamento diante de situações novas com as quais o engenheiro quase sempre se deparará. Para isso, recomendamos um bom aproveitamento das oportunidades que a escola oferece, pois nela podemos treinar nossa capacidade de enfrentar e de construir soluções apropriadas e consistentes para resolver problemas.

Etapas do método de estudo

Preparação Captação Processamento

O método aqui trabalhado consiste em três etapas de procedimentos que estão presentes, de uma forma ou de outra, no ato de estudar. No quadro acima estão indicadas estas etapas de estudo. Embora raramente essa lógica de procedimentos seja percebida, o processo de estudo acontece aproximadamente dessa forma.

Entendemos aqui o estudo como um ato maior, privilégio do ser humano, através do qual internalizamos saber e cultura letrada, o que difere de simplesmente aprender, que leva a acumular conhecimentos práticos e experiências novas.

Um aspecto importante a ser ressaltado é que as recomendações aqui colocadas têm como compromisso resumir procedimentos julgados adequados para o estudo da engenharia. Imaginamos que, para outras áreas, outras recomendações talvez sejam mais apropriadas para um bom processo de formação profissional. O estudo das ciências - visando à formação do engenheiro - tem sutis diferenças em relação a outras áreas, pois este profissional lidará, no seu dia-a-dia, mais com a tecnologia propriamente dita, com procedimentos e com aparatos técnicos do que com o processo científico, que lhe serve, sim, como base e fundamento, mas não necessariamente como propósito.

PREPARAÇÃO. Há quem possa discordar das recomendações aqui contidas e até ter bom desempenho agindo de forma diferente. Mas, como regra geral, sugerimos que alguns cuidados com a preparação são importantíssimos para se ter sucesso nos estudos.

Desde a escolha de um bom ambiente - arejado, bem iluminado, silencioso e agradável - até a preparação psicológica, como condição para viabilizar o estudo, devem ser cuidados. É raro encontrar alguém que consiga compenetrar-se suficientemente a ponto de conseguir raciocinar e refletir na medida necessária para poder captar assuntos novos, estando em ambientes

adversos. Quando estamos tentando trabalhar conhecimentos - que são inéditos para nós - através de livros didáticos, que exigem atenção exclusiva e alta dose de concentração, o ambiente pode se tornar um ponto decisivo para obtermos um bom rendimento.

Nesse sentido, recomendamos que um ambiente com as características acima descritas - além de outras que cada um julgar necessárias - deva ser sempre procurado. Todavia isso nem sempre é possível. Por isso deve-se, como medida prática, saber utilizar da melhor forma possível o ambiente disponível.

Ainda quanto à utilização de um ambiente de estudo, sugerimos que o estudante esteja sentado, em posição confortável, tendo em frente uma mesa para servir de apoio para livros, cadernos, lápis e todos os demais instrumentos necessários para o tipo de assunto com que se está lidando.

O hábito de estudar - de preferência nos mesmos locais e horários de costume - facilita em muito a aprendizagem, pois, por estarem vários aspectos sendo cumpridos automaticamente, tem-se menos barreiras a transpor, permitindo maior concentração naquilo que é novo, ou seja, o assunto em estudo. Além do mais, já se deve ter preparado no local de costume todo o material necessário. Não esquecer que o estudo de História, de Desenho ou de Mecânica dos Sólidos exige, em princípio, materiais diferentes.

Ainda quanto à atitude psicológica, lembramos que a perseverança deve ser encarada como uma característica importante para alcançarmos nossos objetivos. Notadamente nos estudos isso é verdade, pois não podemos sucumbir ao primeiro obstáculo. Devemos, isto sim, ao falhar uma vez, procurar saber onde está o erro e proceder a uma nova tentativa, através de novo estudo ou novo enfoque, sempre que vislumbrarmos alguma possibilidade de sucesso.

Para concluir este item, vamos destacar três observações:

- CAUSA MAIOR. Dificilmente lograremos êxito efetivo e duradouro nas nossas atividades se não estivermos convencidos de que o nosso trabalho de formação nos estará colocando a serviço de uma causa maior, qual seja, a consecução de nossas metas e a nossa integração efetiva num papel social bem definido.
- CONHECIMENTOS INÚTEIS. Não devemos partir do pressuposto de que possam existir conhecimentos inúteis. No currículo de um curso, todos os assuntos, a princípio, têm um papel a cumprir, embora, às vezes, isso possa não estar claro de pronto. A forma como os conhecimentos são trabalhados - algumas vezes com deficiências didáticas - não pode servir de justificativa para que os consideremos desnecessários

- INTERESSE E DEDICAÇÃO. Devemos lembrar que, em cada assunto que estamos estudando, a humanidade já produziu ao menos um gênio de importância, e que isso só pôde ser alcançado com um alto interesse e dedicação desse indivíduo pela sua especialidade, aliado ao trabalho de uma equipe que o ajudou a construir esse conhecimento.

CAPTAÇÃO. Após a preparação, podemos iniciar a fase da captação. Normalmente confundida com o próprio estudo, esta é a fase de construção dos conhecimentos. Porém, como estudar não é apenas captar, internalizar ou construir novos saberes, entendemos o processo de estudo como algo mais amplo, que envolve os passos já apontados nos itens anteriores. Estudar, assim, é trabalhar no sentido de sentir-se apto a fixar conhecimentos e organizá-los na mente de forma lógica e duradoura; é processar e construir conhecimentos de forma sistemática e consistente.

A captação de conhecimentos se dá basicamente por iniciativa de alguém interessado em aprender algo, e que utiliza para isso alguma técnica de trabalho que possa levá-lo a alcançar seus objetivos.

A captação ocorre quando houver

internalização *de* conhecimentos trabalhados
por um professor *em sala de aula*

trabalho *de* conhecimentos através
de leituras e *de* reflexões pessoais

participação *em* experiências, observações,
visitas técnicas e discussões *em grupo*

Embora convergentes para um mesmo fim, em cada uma dessas formas existem particularidades que exigem maneiras de abordagem próprias para se ter o melhor aproveitamento possível. Uma coisa porém é imprescindível em qualquer caso: a atitude psicológica favorável, pois dela nasce a necessidade ou motivação para o estudo. Sem isso, estudar não tem significado e parecerá um pesado fardo inútil.

Esta fase do processo de estudo pode ser identificada em termos gerais por três formas, conforme sugerido a seguir.

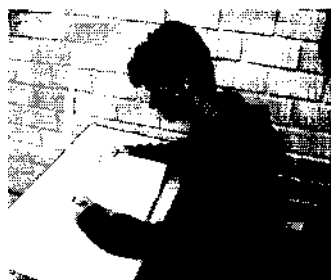
Formas usuais de captação de conhecimento

Leitura Audição Observação

LEITURA. Esta forma de captação é a que mais se confunde com o próprio processo de estudo; talvez por ser bastante acessível e por permitir ao leitor constantes reflexões críticas, garantindo o tempo necessário para uma boa assimilação do assunto. Eis alguns pontos importantes a serem observados numa captação de conhecimentos pela leitura: para ler com eficiência não basta ser apenas alfabetizado; devemos ter ainda predisposição, ambiente favorável e motivação; a aplicação de uma técnica de leitura compatível com o tema em estudo também é fundamental; através da leitura podemos trabalhar palavras, frases, idéias e fórmulas, registradas em anotações e em impressos em geral.

AUDIÇÃO. É outra forma bastante característica de captação de conhecimentos, empregada por exemplo quando assistimos a uma aula ou palestra, ou participamos de um debate. Uma sugestão útil para melhorar a construção de conhecimentos com esta forma de captação é constantemente nos interrogarmos sobre o tema, procurando relacionar as idéias, interligando-as num todo ou com outros assuntos. Tanto é importante esta forma de captação que muitas pessoas conseguem fixar melhor os assuntos de um texto quando o fazem em voz alta. Nesse caso estão sendo usadas, simultaneamente, leitura e audição.

OBSERVAÇÃO. É um meio próprio de travar contato com informações para uma posterior construção de conhecimentos quando, por exemplo, da realização de uma experiência, da visita a uma obra, a uma empresa ou a um laboratório. Se utilizada de forma sistemática, e com critério, constitui um útil instrumento de aprendizagem. Observar é entendido aqui como um estágio do processo de estudo, quando podemos nos apropriar, intelectualmente, de informações, fatos, fenômenos etc. que surgem no decorrer de um trabalho. Esta forma de captação é especialmente relevante nos estudos de engenharia porque estamos sempre identificando sistemas, fenômenos físicos, processos e variáveis para a execução de nossas atividades.



Leitura e participação em sala de aula: dois momentos importantes para o aprendizado

CAPTAÇÃO EM SALA DE AULA. Um dos momentos de estudo mais importantes que todos temos é o tempo em sala de aula. Por isso recomendamos que este período seja aproveitado integralmente, de preferência através de uma participação ativa. Não devemos levar para casa dúvidas que podem ser sanadas em sala de aula. Isso não significa necessariamente esperar soluções prontas por parte dos professores, mas sim a busca de respostas por todos os envolvidos no processo de construção do conhecimento: o aluno, os colegas e, obviamente, o professor. Não esquecer que dúvidas são lacunas num campo de conhecimento, e que estas certamente se avolumarão com o tempo, quando não sanadas, pois o perfeito entendimento de outros assuntos poderá ser prejudicado em função destas falhas.

Um dos principais argumentos para justificar a dedicação exclusiva ao assunto de uma aula é que não se pode conceber que alguém deixe de fazer outra coisa - às vezes até mais atraente, é verdade - para sentar-se em cadeiras normalmente duras e desconfortáveis e ficar ouvindo, sem aproveitar, explicações e orientações de alguém mais experiente e entendido no assunto. Usufruir a companhia de colegas com quem se partilham muitas expectativas e aproveitar o próprio ambiente de debates que proporcionam a construção do conhecimento é uma boa chance de aprender. Seria bastante incoerente que alguém não aproveitasse estes momentos.

Durante uma aula, deve-se perguntar constantemente

O que já sei sobre este assunto?

Qual a ligação deste tópico com outros?

Qual o significado físico daquela equação?

Entendi mesmo as explicações, ou apenas concordei com elas?

Eu saberia resolver sozinho aquele problema?

Para entender uma aula devemos compreender a sua organização e objetivos, assimilando a idéia central da explanação do professor em cada assunto. É comum que - ao explicar uma matéria - os professores dêem uma idéia geral antecipada do que será visto. À medida que o professor avança com suas explicações, podemos nos perguntar constantemente se as estamos *de fato* entendendo, se compreendemos os objetivos, as analogias, os conceitos...

Se tivermos condições de enfrentar com sucesso essas questões, ótimo, estaremos aprendendo. Caso contrário, devemos redobrar a atenção e pedir novas explicações ao professor ou mesmo aos demais participantes da aula.

Captar e anotar idéias com as próprias palavras - para análise posterior - ajuda em muito a termos uma participação ativa na aula, estimulando o processamento das informações. Se isso não for conseguido é porque o assunto não foi bem assimilado. É difícil acreditar que alguém tenha dificuldades intransponíveis para registrar, no papel, idéias que estejam claras e distintas na mente.

A atenção deve estar sempre voltada para aquilo que é o assunto diretor - a linha mestra da aula, para permitir a captação e o indispensável processamento das informações - e não apenas para os trejeitos ou tom de voz do professor, e muito menos à paisagem da janela ou ao comportamento dos demais colegas. Uma aula é um processo dinâmico, conjunto, participativo, não é um espetáculo, um show ou um filme a que podemos até assistir sem compromissos com o seu desenvolvimento.



Sala de aula, com professor explicando a matéria

Sala de aula, com alunos participando de atividades em grupos

Há quem queira se convencer de que aproveitaria melhor o seu tempo estudando em sua casa ou na biblioteca. Isso até pode ser verdade, mas apenas em alguns poucos casos, quando já estivermos perfeitamente motivados e orientados para o estudo e conhecedores, mesmo que superficialmente, do assunto a ser trabalhado. Podemos afirmar que, em linhas gerais, isso é raro de ocorrer. Quase sempre é muito mais vantajoso receber a orientação do professor, numa sala de aula, onde um conjunto de fatos contribui para isso. Por exemplo, ao formular perguntas, contestar o professor, externar suas dúvidas, outros alunos podem contribuir para que compreendamos o assunto de uma forma diferente, mais clara e proveitosa.

E só lembrar que o professor utiliza seus conhecimentos, seus procedimentos didáticos e sua experiência para poder orientar o caminho a seguir para se obterem os resultados pretendidos. Além do mais, a figura do professor é importante porque acaba sendo um exemplo para o estudante, produzindo grandes reflexos na sua formação. Mas, independentemente destes exemplos, é bom estarmos atentos ao fato de que cada um constrói seu próprio conhecimento.

Perguntar	Responder	Anotar
Processar	Debater	Duvidar

CAPTAÇÃO EXTRACLASSE. O tempo em sala de aula é importante e insubstituível. Entretanto não podemos imaginar que apenas isso seja suficiente. É indiscutível a necessidade de uma dedicação extraclasse para a recomposição dos assuntos vistos em aula. Complementá-los com leituras e discussões com os colegas, com a resolução de problemas propostos ou através de consultas ao professor em sua sala de trabalho é tarefa indispensável para uma melhor fixação de conhecimentos.

Acreditamos que duas horas de estudos extraclasse para cada hora de aula seja uma boa dose para que a recomposição e a fixação dos assuntos sejam alcançadas. Esta recomendação, logicamente, deve servir apenas como orientação, pois certamente alguns estudantes necessitarão dedicar mais tempo de estudo, por exemplo, para Física e menos para Química, enquanto outros poderão ter necessidades diferentes. Essa dosagem de tempo deve ser estabelecida pelo próprio estudante a cada início de período letivo, podendo ser ajustada com o passar das semanas. Para uma boa programação, devemos considerar características próprias, possíveis deficiências ou gostos pessoais. Não devemos, entretanto, cometer o erro de prejudicar o estudo de alguma matéria em detrimento de outras. Se alguém considera demasiado um tempo de duas horas de atividades extraclasse para cada hora de aula, seria bom procurar saber quanto tempo um professor dedica, de forma direta ou indireta, para preparar uma aula.

Para garantir uma atenção mínima a cada matéria cursada num período > letivo é que sugerimos a confecção de um horário, ou agenda de afazeres particulares, onde possamos estabelecer um tempo adequado para cada tarefa

Complementando essa sugestão, recomendamos que se estabeleça um tempo de revisão imediata de cada aula, para recompor e fixar a matéria. Isto será de grande valia, pois os assuntos ainda estarão vivos na mente e serão de fácil recomposição. Evita-se, assim, que o fenômeno tecnicamente conhecido como *curva de esquecimento* atue de forma inexorável, fazendo com que muitos pontos importantes se percam.

Segundo estimativas baseadas em experiências, de uma determinado volume de informações apreendidas, cerca de 5% serao esquecidas em uma hora; mais de 15% em uma semana e mais 20% em dois meses. Assim, apos 60

dias restam cerca de 50% dos conhecimentos originalmente apreendidos. Aproveitar para recompor e organizar os assuntos quando eles ainda estiverem acessíveis de forma fácil, é uma atitude bastante prudente.

CAPTAÇÃO PELA LEITURA. Em que pesem os avanços da internet, os livros didáticos talvez sejam as maiores fontes de pesquisa dos estudantes. Por isso devemos dar uma atenção especial à bibliografia indicada pelo professor e consultá-la regularmente, de preferência adquirindo os principais títulos. As bibliotecas das escolas estão, na maioria das vezes, razoavelmente bem aparelhadas para os cursos básicos de graduação. Constantes visitas e consultas a estes locais podem ser de grande valia para os estudos.



Vistas de uma biblioteca universitária

Pesquisas pela internet podem ser úteis, mas um fator preocupante não pode ser desconsiderado: a confiabilidade das informações contidas em inúmeras das páginas disponíveis. Um livro, em linhas gerais, passa por um comitê editorial, leva a assinatura de um autor e o selo de uma editora, que devem *prezar* pelos seus nomes. E lido, analisado e criticado pelos professores, para só então ser adotado e recomendado. Nem todas as informações veiculadas na internet passam por um processo seletivo semelhante. Devem, portanto, ser utilizadas com parcimônia e cuidado. Mas, sem dúvida, a internet tem-se revelado uma excelente fonte de consulta.

Embora em princípio todos os estudantes de nível superior se sintam capazes de bem assimilar os conteúdos de leituras, a realidade tem demonstrado que isso nem sempre acontece. Esta afirmação vem respaldada no fato de ser raro encontrarmos estudantes aplicando regras básicas da boa leitura para uma assimilação eficaz. Entretanto, não é difícil a mudança deste quadro. Um bom começo é nos conscientizarmos da possibilidade de uma melhoria e buscarmos seguir recomendações simples como, por exemplo, as aqui apresentadas.

A escolha de textos para leitura pode ser baseada em pontos como:

Título da obra

O título normalmente indica o assunto abordado no texto, ou a qual área pertence o trabalho

Nome e currículo do autor

Nomes proeminentes e cientificamente respeitáveis são bons indícios para a seleção da leitura, pois devem produzir trabalhos consistentes

Leitura do prefácio e da orelha

Fornece uma ideia razoável da abordagem do texto; podemos, assim, verificar se confere com o que desejamos estudar

Leitura do sumário

Podemos ter, a partir daí, um panorama geral do conteúdo da obra, além de conferirmos com facilidade se os tópicos procurados estão contemplados no trabalho

A seleção daquilo que vamos ler é o primeiro aspecto a ser considerado, porque, logicamente, não podemos ler tudo o que é publicado sobre determinado assunto. Para termos uma idéia da impossibilidade disso, calcula-se que anualmente a literatura científica e técnica mundial produza mais de 60 milhões de páginas. Uma pesquisa rápida na internet pela palavra "engenharia" revela mais de 800 mil endereços. Assim, a recomendação de serem lidos os títulos sugeridos por professores ou especialistas é uma boa medida.

Estando selecionado o que ler, devemos passar à leitura propriamente dita, ação que encerra os maiores problemas da fase de captação. Devemos, por exemplo, saber diferenciar os procedimentos da leitura de um romance, da leitura de um livro texto de um curso de eletromagnetismo. A velocidade de uma leitura informativa, e principalmente de distração, normalmente é mais rápida, enquanto a de uma leitura formativa exige reflexão, anotações, cálculos auxiliares e retornos constantes a trechos já lidos, sendo, portanto, mais lenta.

Não é recomendável tempo longo de leitura de textos didáticos, pois o cansaço reduz a capacidade de fixação, e qualquer ponto que não seja bem esclarecido pode prejudicar severamente o entendimento global de um assunto.

É pertinente lembrar que cada um deve procurar a sua própria velocidade de leitura, para cada tipo de texto, lembrando sempre que o principal é a compreensão. De forma geral, devemos procurar aumentar a velocidade, porque ganhamos tempo e aumentamos a compreensão e a retenção de conteúdos. Unia boa velocidade de leitura representa comumente algo em torno de 200 a 300 palavras por minuto. Para textos técnicos ou que exijam reflexões mais acuradas, este ritmo deverá baixar sensivelmente.

Alguns sintomas comuns pelos quais se podem identificar maus leitores

Leitura de palavra por palavra

O movimento dos olhos durante a leitura é intermitente, sendo que a leitura propriamente dita só se dá durante as paradas. A leitura será tanto mais rápida quanto maior for o grupo de palavras fixado em cada parada dos olhos

Releitura

Retornos constantes ao que se acabou de ler são fortes sintomas de desatenção. Não confundir com retornos feitos com o objetivo de integrar, revisar ou confrontar assuntos lidos

Movimentação dos lábios ou vocalização enquanto se lê

A velocidade da leitura fica prejudicada quando acompanhada por alguma vocalização, mesmo que mental. Numa leitura eficiente devemos olhar um conjunto de palavras e interpretar o significado, sem a necessidade de pronunciá-las, nem mesmo mentalmente.

Num texto, *em* cada capítulo, ou mesmo num parágrafo, o autor procura registrar uma idéia, desenvolvendo-a. Assim, para que consigamos uma leitura eficiente — captando, retendo e integrando as informações lidas - devemos identificar e extrair as idéias principais, sabendo destacá-las das informações acessórias que gravitam em sua volta, e que servem para contextualizar, exemplificar e aclarar o assunto tratado.

Uma das formas mais eficientes de se ler um livro é estar constantemente procurando pelas idéias principais, pela mensagem que o autor procurou registrar. Uma boa sugestão é sublinhar essas passagens ou fazer anotações ao lado do texto - quando o livro for seu. A técnica de sublinhar, além de ser simples, é de extrema utilidade para as revisões, pois evita uma releitura completa, indo-se direto às idéias principais. Mas devemos sublinhar o menos possível - só o essencial para destacar uma idéia - e sempre com a mesma convenção; por exemplo, com um traço horizontal sob as palavras para destacar idéias principais; com dois traços horizontais para marcar exemplos; com um traço vertical ao lado do texto para evidenciar orações completas. Uma solução alternativa - para não rasurar o livro - é ter à mão uma folha de papel para anotar destaques, observações, dúvidas, principais passagens, esquemas, resumos...

No estudo de assuntos pertinentes à engenharia é comum a utilização de gráficos, tabelas e fórmulas matemáticas como auxílio à compreensão. Por isso, recomendamos o hábito de interpretar os seus significados e tentar compreender a função de cada variável envolvida. Uma equação matemática nada mais é do que uma tentativa de representação de uma situação física real - normalmente, no estudo da engenharia, um fenômeno físico — através de uma linguagem de significado mais ou menos fixo e universal. Gráficos e tabelas, na verdade, são recursos para mostrar alguma relação entre variáveis ou a evolução de algum fenômeno ou evento.

PROCESSAMENTO. Após os primeiros contatos com um novo conhecimento, devemos processá-lo para torná-lo parte da nossa visão de mundo, da nossa cultura, da nossa forma de ver e interpretar as coisas. Um novo conhecimento só terá sido de fato aprendido se soubermos aplicá-lo em diversos contextos, ou seja, se ele estiver integrado à nossa linha de raciocínio.

Mas é claro que o processamento das informações já está acontecendo quando lemos um livro, quando assistimos a uma aula ou quando participamos de uma visita técnica a uma empresa. Nem sempre é necessário que dediquemos um tempo especial para processar os conhecimentos. Porém são imprescindíveis alguns procedimentos complementares posteriores para que haja uma boa apropriação dos conteúdos. Por exemplo, podemos *realizar* revisões imediatas logo após as aulas ou leituras de textos. Isso pode ser feito através de esquemas e resumos dos assuntos vistos, o que permitirá, além da fixação, uma forma rápida de consultar alguns pontos considerados mais importantes.

Um esquema consiste, basicamente, numa reprodução de um assunto, onde apenas as idéias mestras, os principais títulos e definições compõem um todo sintético. É uma reprodução da linha diretriz seguida pelo autor, devendo ser simples, claro e objetivo.

Um resumo de um texto é uma compactação, com frases completas, do assunto lido. Deve ser uma extração das idéias principais - não uma criação - fiel ao texto original. Tem como objetivo a condensação para diminuir o Volume de material e o tempo de revisões. Entretanto, talvez o maior objetivo seja instigar a uma leitura criteriosa, crítica e eficiente. Aliás, nunca é demais repetir: a leitura é um dos caminhos mais eficazes para o aprendizado.

Após estudar um determinado volume de tópicos, devemos realizar 1 Uma revisão globalizadora, que tenha como objetivo a integração dos assuntos estudados. Com isso podemos formar um todo homogêneo da matéria vista. i Um dos objetivos das avaliações programadas em disciplinas é justamente propiciar aos alunos a realização de tais revisões.

Ninguém pode garantir que uma prova — por melhor que tenha sido elaborada - meça com precisão os conhecimentos de alguém, pois há muitos fatores, inclusive pessoais, que influem no seu rendimento. Há indivíduos que rendem melhor quando trabalham em equipe e outros que só conseguem bom desempenho quando estão sozinhos. Existem os que ficam inibidos quando estão sendo avaliados em provas orais e os que ficam nervosos em provas escritas. Entretanto uma coisa é certa: cada um deve se esmerar ao máximo para ler bom rendimento em avaliações formais, pois elas serão o instrumento que aferirá seu aprendizado durante a maioria dos cursos. Além do mais, ainda não foi desenvolvido um método tão simples, rápido e eficiente quanto uma prova formal para verificar se alguém estudou, aprendeu e tem

desenvoltura no trato de um determinado assunto. Querendo ou não, o rendimento das provas ainda é um paradigma dominante para o processo de classificação na educação.

É na fase do processamento das informações que devemos procurar interligar os assuntos estudados, para garantir uma boa visão de conjunto e um encadeamento lógico de todo o curso. Conseguir compreender cada assunto dentro do contexto da disciplina, de uma área de estudos ou mesmo do currículo do curso, formando uma boa visão de conjunto, é um utilíssimo instrumento contra eventuais desmotivações para os estudos.

Uma disciplina é parte de uma estratégia de aprendizagem programada; portanto, contém planos, metas e técnicas de processamento de conhecimentos. Dedicar um tempo extra para apreender a sua lógica e as suas relações com outras matérias é o mínimo que se pode esperar de um bom estudante. Revisões imediatas e globalizadoras podem fazer com que isso aconteça, tornando o aproveitamento nos estudos mais eficaz.

OUTRAS RECOMENDAÇÕES

A captação não se restringe aos aspectos já referidos. Em diversas outras situações - formais ou informais - estaremos também captando e processando conhecimentos. A seguir são apresentados outros momentos em que podemos exercitar nossa capacidade de aprender.

AULA DE LABORATÓRIO. Com os constantes aperfeiçoamentos dos equipamentos de medição e com o aparecimento de novos e modernos equipamentos industriais, é salutar que tenhamos contato com a instrumentação técnica de nossa área de estudos e que aprendamos a realizar ensaios de laboratórios; isso conferirá maior versatilidade e discernimento prático, o que será de grande valia na nossa vida profissional.



Atividades em laboratório

As aulas de laboratório devem ser encaradas não como meros artifícios didáticos, como barreiras burocráticas que devemos transpor, ou como um momento de lazer para descansarmos das teorizações, mas como uma excelente oportunidade para verificarmos a teoria, para despertar nosso interesse pela profissão, para construir novos conhecimentos e para travar contato com os limites e potencialidades de situações concretas.

O que fazer durante uma aula de laboratório

- conferir e anotar os resultados obtidos
- verificar os equipamentos utilizados
- atentar para os aspectos de segurança
- compreender os processos em andamento
- fazer anotações para a confecção de relatório
- relacionar a prática com as teorias aprendidas

Podemos dizer que uma aula prática, com o desenvolvimento de Experiência em laboratórios ou em campo, tem vários objetivos, como os apresentados no quadro a seguir.

Objetivos gerais de uma aula de laboratório

- desenvolver a capacidade criativa
- ensinar a tirar conclusões a partir de resultados experimentais
- familiarizar com o uso da instrumentação
- desenvolver a sensibilidade na avaliação dos parâmetros da engenharia
- contribuir para familiarizar o aluno com manuais e normas técnicas
- contribuir para o desenvolvimento na aplicação dos princípios básicos teóricos para a solução de problemas
- permitir melhor fixação dos conhecimentos abordados nas aulas teóricas
- desenvolver o espírito de trabalho em grupo
- desenvolver o espírito crítico na interpretação e avaliação dos resultados experimentais
- desenvolver habilidades para execução de relatório e para a apresentação de resultados através de gráficos, tabelas e equações

Formatado: Recuo: À esquerda: 0 cm, Padrão: Transparente (Branco)

ESTÁGIO. Na área das engenharias, é da maior importância a realização de estágios em empresas que trabalhem no campo profissional do curso. Isso permitirá contatos diretos com o futuro campo de trabalho e também auxiliará, em muito, o próprio processo de formação, pois teremos assim exemplos práticos para identificar uma série de problemas e formulações encontrados na vida acadêmica.

Se o nosso curso específico não exigir a realização de estágios - básicos ou profissionais -, nós próprios deveremos procurar fazê-los. Só teremos a ganhar com isso, em termos de experiência, motivação, exemplos práticos, vivência, amizades, contatos profissionais etc.

A realização de um estágio é uma boa oportunidade para conhecermos processos e equipamentos utilizados pela empresa, bem como para travarmos contato com informações que digam respeito aos produtos fabricados, às especificações técnicas, à área de atuação da empresa, aos processos utilizados, aos fornecedores de matéria-prima, ao quadro funcional e à hierarquia da empresa etc.

Recomendamos também aqui a confecção de relatórios, mesmo quando não exigidos como tarefa de avaliação.

TRABALHO ESCOLAR. Bastante comum nos cursos universitários, o trabalho escolar - tarefa para casa - é um excelente recurso didático. Constitui um processo de realização e sublimação intelectual, pois propicia oportunidades de exercitar a pesquisa bibliográfica, a observação, a redação e a reflexão de determinados fenômenos e eventos. Também desperta para o rigor científico, a observação de métodos de trabalho, a organização, o senso estético, a criatividade, a importância do cumprimento de prazos etc.

conhecimento, compreensão e fixação de conceitos

aplicação de leis físicas a situações problematizadas

análise de fenômenos, eventos ou processos

síntese de conceitos, teorias, leis e experiências

aprendizado de abordagem de problemas aplicação

de normas para a elaboração de projetos

O trabalho escolar é uma atividade imprescindível para uma boa formação. Por isso, devemos nos entregar com seriedade a este tipo de tarefa acadêmica, realizando-a sempre, com dedicação e esmero.

De forma geral, os trabalhos escolares podem ser assim classificados: experiência de laboratório ou de campo, pesquisa bibliográfica, projeto, relatório técnico, resolução de problemas, prova, monografia e seminário.

E fundamental ressaltarmos ainda que a leitura - atividade indispensável para os trabalhos escolares -, sempre é um reforço importante para o aperfeiçoamento do vocabulário. Um vocabulário substancial dará mais segurança na comunicação, tanto oral quanto escrita e, com isso, uma potente ferramenta estará à nossa disposição em nossos contatos profissionais. E tudo isso será matéria-prima para realizarmos nossos trabalhos escolares.



Alunos participando de um concurso de projetos e ministrando seminário

A observância a métodos de trabalho e princípios da organização de tarefas intelectuais facilita a aprendizagem, economiza tempo e possibilita um melhor desempenho na execução de qualquer tipo de atividade. Mesmo que não estejamos suficientemente convencidos disso, ou que tenhamos dúvidas com relação às recomendações feitas neste texto, devemos, no mínimo, considerar o seguinte: não custa nada tentar.

Tarefas para complementação do aprendizado

- Vá à biblioteca de sua escola e pegue duas ou três publicações indicadas nas leituras sugeridas deste livro. Leia atentamente algumas partes delas e procure entender as idéias gerais que os autores tratam em seus textos.
- 1
 - 2 Forme uma equipe de três ou quatro colegas de turma e discuta com eles as diferenças que vocês estão percebendo entre o curso médio e o universitário. Discuta, por exemplo, o que cada um está fazendo para se adaptar a este novo sistema.
 - 3 Reflita acerca dos motivos que o levaram a cursar engenharia. Escreva numa folha de papel um resumo de suas conclusões.
 - 4 Enumere ao menos cinco bons motivos que justifiquem - para você mesmo -por que devemos levar nossos estudos a sério.
 - 5 Analise o currículo de seu curso - se preciso recorrendo a ementas e programas das disciplinas - buscando entendê-lo no seu conjunto. Procure identificar as grandes áreas de estudos, as disciplinas com as quais você melhor se identifica e as especializações oferecidas.
 - 6 Depois de ter lido este capítulo, faça um resumo das principais idéias do que você leu - conforme nós autores as registramos - e depois adicione uma argumentação lógica que contraponha algumas afirmações com as quais você não concorda.
 - 7 Desenvolva - por escrito - no mínimo dez atividades que poderiam contribuir para uma boa formação universitária.
 - 8 Depois de uma leitura atenta, procure estabelecer no mínimo dez atividades que complementem o aprendizado deste capítulo.
 - 9 Através de pesquisas em bibliotecas e na internet, selecione ao menos cinco livros que, na sua opinião, possam aprofundar as questões tratadas neste capítulo. Discuta com colegas ou com professores a pertinência da sua proposta.

Comunicação

O ENGENHEIRO E A COMUNICAÇÃO

Para ser um bom engenheiro não basta apenas saber usar corretamente os conhecimentos aprendidos num curso universitário. Não é suficiente saber utilizar eximamente técnicas e instrumentos, saber empregar métodos de cálculo e de análise de sistemas, conhecer em profundidade os procedimentos técnicos pertinentes à profissão. Até porque alguns deles já estarão obsoletos quando chegar a hora de usá-los na prática; e muitos outros conhecimentos vistos nas escolas jamais serão de fato necessários - de forma direta - durante toda a vida profissional. De qualquer forma, todos eles cumprem o seu papel no processo de educação, de formação de uma mentalidade e de abordagem de problemas.

Um profissional eficiente é, antes de mais nada, aquele que sabe utilizar os seus conhecimentos, a sua memória, o seu raciocínio e a sua capacidade de pesquisar. Mas também é aquele que sabe se expressar, comunicando com eficácia idéias e resultados de seu trabalho. Uma boa solução presa na cabeça de seu criador é praticamente inútil.

Uma coisa é certa: no seu dia-a-dia, o engenheiro precisa saber se comunicar. Aliás, a comunicação, em especial a escrita, é parte inerente ao seu trabalho. Um engenheiro precisa expedir ordens para os seus subordinados na hierarquia da empresa, realizar projetos para clientes ou órgãos financiadores, confeccionar relatórios para a direção da empresa, preparar manuais de utilização de produtos, divulgar seus trabalhos em congressos, seminários, revistas técnicas etc.

A capacidade de buscar, selecionar e armazenar informações é um fator preponderante para garantir ao profissional - notadamente da área tecnológica - o acompanhamento do estado da arte de sua profissão. Só assim ele consegue desenvolver bem o seu trabalho e comunicar o que de importante acontece relativo à sua área de atuação.

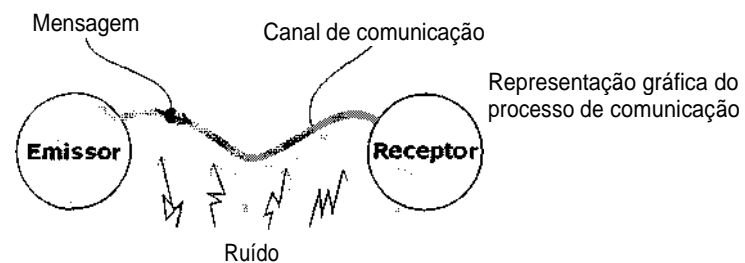
No entanto, é bom lembrarmos que alguns estudantes não têm levado muito a sério essa importantíssima ferramenta, pois relegam a segundo plano a importância da comunicação na engenharia. Isso acontece na medida em que refletem a imagem popular de um engenheiro como aquele indivíduo que decide, projeta, calcula etc., assumindo assim que a comunicação - em especial a escrita - é algo inteiramente irrelevante para os futuros profissionais.

Mas o sucesso profissional depende tanto da qualidade do trabalho realizado quanto da habilidade de fazer com que as pessoas entendam o que foi feito. Ser compreendido é tão importante quanto ser competente tecnicamente.

PROCESSO DE COMUNICAÇÃO

O processo de comunicação pressupõe a existência de pelo menos seis elementos que devem ser tratados com clareza por quem deseja se expressar bem. São eles:

- EMISSOR - aquele que envia a mensagem;
- MENSAGEM - assunto a ser transmitido, que deve relatar com clareza o trabalho realizado e seus resultados;
- RECEPTOR - aquele que capta e decodifica a mensagem;
- CANAL DE COMUNICAÇÃO - o meio de transmissão; a folha de papel, no caso de um relatório escrito;
- CÓDIGO - a linguagem, que deve ser entendida por ambos, emissor e receptor; num relatório técnico, o tipo de linguagem - código - e a apresentação gráfica devem ser adequadas ao público-alvo - o receptor;
- RUÍDO - interferências que dificultam a boa comunicação da mensagem.



Várias formas de comunicação podem ser usadas. Embora a comunicação escrita seja uma das mais importantes - por ser mais duradoura - outras formas de comunicação devem ser trabalhadas, tais como: oral, gráfica ou através de modelos icônicos. Cedo descobrimos que, para a engenharia, todas têm seu valor.

REDAÇÃO

Não há atalhos para conseguirmos escrever bem. Para termos chance de executar uma boa redação de um trabalho é necessário, no mínimo, o domínio do código a ser utilizado para registrar as nossas idéias. O emprego desse código, quando se tratar de textos escritos, implica, necessariamente, o uso escrupuloso das regras gramaticais vigentes, em especial no tocante à ortografia, à pontuação e à concordância gramatical.

Mas isso nem sempre é condição indispensável e, em muitos casos, não garante uma boa redação. O ato de escrever bem também pode ser consequência da prática constante da redação e da boa leitura. Além disso, podemos usar facilitadores para a preparação de um relatório, como por exemplo a documentação de tudo o que for feito durante o desenvolvimento do trabalho.

Algumas regras básicas também auxiliam nesse processo. Não perseguir, num primeiro momento, uma forma perfeita de redação é uma delas. Outra: interrupções para conversas, revisões ou verificações de grafia de palavras, ou mesmo para a procura de termos mais apropriados, podem cortar o fluxo de idéias e comprometer a espontaneidade que dá unidade e interesse à redação. Uma boa orientação é redigir com alguma rapidez partes do texto, para depois revisar, mesmo que percebamos que, às vezes, alguns trechos fiquem confusos.

Escrever é uma arte, que se aprende e se aperfeiçoa. Mais que uma arte, é uma necessidade que todos temos, como cidadãos e mais ainda como profissionais. Aliás, todos nós deveríamos escrever regularmente, pois escrever ajuda a lembrar, observar, pensar, planejar, organizar, refletir, comunicar...

LINGUAGEM TÉCNICA

A linguagem técnica deve ser simples, clara, precisa e, tanto quanto possível, vazada em frases curtas. Não devemos recorrer a imagens literárias, metáforas poéticas ou outro recurso retórico similar a estes, pois cada palavra deve ser empregada no seu sentido direto, sem dar margem a segundas interpretações. Quando usamos esses recursos, embora o texto fique aparentemente mais elegante e pareça exprimir erudição do escritor, pode confundir o registro de idéias técnicas. Se for inevitável, ou se o autor assim o desejar, seria preferível reservar esses recursos para o prefácio ou mesmo para a introdução da obra, e não para a sua estrutura principal.

Um cuidado especial deve ser tomado com o jargão técnico. Cada campo de um estudo possui a sua forma característica de fazer referência aos seus

processos, instrumentos, produtos, enfim, aos seus conhecimentos. Captar, compreender e saber utilizar a terminologia usual na área é também uma receita de sucesso na hora de redigir trabalhos técnicos. Mas tudo depende do público-alvo. Por exemplo, se estivermos escrevendo um manual de uso de um equipamento que será usado pela comunidade em geral, termos técnicos específicos devem ser evitados.

Em todo caso, não podemos esquecer que esclarecimentos colaterais em excesso acabam mais confundindo do que ajudando a esclarecer.

Na linguagem técnica é bom evitar o emprego de prosopopéia, ou seja, emprestar atributos que dão vida, ação, movimento e voz a coisas inanimadas. Expressões como: "a equação A diz que" — pois as equações não falam —, "os dados apontam para" - pois os dados não apontam -, devem ser evitadas. Por outro lado, já é de uso comum, na linguagem do dia-a-dia das pessoas, o emprego deste tipo de figura, o que torna em muitos casos quase inevitável o seu emprego.

Recomendamos que uma redação técnica também deva ser preparada num estilo que seja:

Um texto técnico deve ser				
Impessoal	Objetivo	Modesto	Cortês	Claro

IMPESSOAL. O formato técnico atualmente mais aceito é prepararmos textos em linguagem impessoal. Dessa forma, os textos devem ser redigidos na terceira pessoa, evitando expressões como: "meu trabalho", "minhas conclusões". Ao invés destas expressões, devemos usar, por exemplo: "o presente trabalho", "conclui-se que". Esta orientação é contestada por alguns autores, sob a alegação de que, em assim escrevendo, parece que estamos tentando nos isentar da responsabilidade do que afirmamos. No entanto - em se tratando de textos técnicos - julgamos ser esta uma boa forma de comunicação, tornando-os inclusive mais precisos. E como esta característica é altamente desejável em uma redação técnica, justifica-se o seu emprego. Mas isso não é regra absoluta, e desde que saibamos usar outras orientações com coerência e qualidade, podemos fazê-lo sem nenhum constrangimento.

OBJETIVO. A linguagem técnica deve ser objetiva e precisa, evitando o uso exagerado de expressões de reserva ou ressalva. Expressões do tipo "é provável que" ou "possivelmente" devem ser usadas comedido, e apenas onde for extremamente necessário, pois elas podem ser traduzidas, por quem as lê, como pontos de dúvida do escritor. Neste caso, é melhor apontar para

a necessidade de trabalhos complementares. Na verdade, a própria linguagem impessoal tende a afastar expressões subjetivas tais como "eu penso", "parece-me", induzindo o emprego de afirmações mais objetivas. O seguinte exemplo comparativo reforça a importância desta característica:

Objetiva	Subjetiva
A sala mede 6 metros de largura por 15 metros de comprimento.	O local é grande e espaçoso.
Comparação entre dois tipos de linguagem	

MODESTO e CORTÊS, Apontar erros e incoerências em trabalhos de outros não é uma atitude condenável. Mas não devemos usar esse recurso para engrandecer o nosso próprio trabalho. Se o que fazemos é bom, tem qualidade, ele se impõe por si mesmo, sem a necessidade de menosprezar outro para fortalecê-lo. Um pouco de modéstia, inclusive, nos ajuda a ocupar espaços com mais solidez, e evita contra-ataques daqueles que se sentem prejudicados com as críticas. Mas além de modesto, devemos ser corteses. O texto deve ser escrito para registrar resultados e análises dentro do contexto em que foi realizado o trabalho, e não para impressionar o leitor com colocações prepotentes que alimentem o ego do autor.

CLARO. A clareza também é uma característica importante na linguagem técnica, bem como a precisão. A clareza de idéias é um grande facilitador da comunicação. Se o objetivo do registro é comunicar, o preparo de um relatório deve ser feito tendo isso em mente. Portanto, antes de escrever o texto final, é imprescindível que tenhamos clareza em relação às idéias que vamos registrar. Se um assunto está bem claro na nossa mente, já temos um excelente ponto de partida para o seu registro. Se não conhecemos o assunto que vamos relatar, escrever vai ser um tormento, e o resultado final talvez não seja nem ; proveitoso nem prazeroso.

Para aperfeiçoar o vocabulário técnico, devemos desenvolver o hábito de ler com frequência e consultar dicionários e informações especializadas. Tanto para captar quanto para registrar idéias numa área de conhecimento, uma boa compreensão dos termos técnicos é imprescindível.

Em suma, a linguagem técnica deve ser clara, objetiva, precisa e simples, no que diz respeito ao vocabulário e à construção das frases. Deve também estar baseada em dados objetivos e verificados, a partir dos quais analisa, sintetiza, argumenta e conclui.

ARTIFÍCIOS AUXILIARES DA REDAÇÃO

Na linguagem técnica podemos recorrer a alguns artifícios que auxiliam na comunicação. Alguns destes artifícios são:

Abreviaturas Ilustrações Citações Citações

ABREVIATURAS. Para evitar a repetição forçosa de palavras e expressões utilizadas com frequência no texto, podemos abreviar, ou usar símbolos, desde que tomemos o cuidado de indicar o que eles significam na primeira vez em que aparecerem no texto. É usual, quando são utilizados muitos símbolos e abreviaturas, colocarmos no início do texto uma lista que os inclua, com seus respectivos significados. Em ambos os casos - abreviaturas e símbolos - deve haver um emprego uniforme em todo o texto.

ILUSTRAÇÕES. Mapas, gravuras, esquemas, fotografias e gráficos são potentes instrumentos de comunicação. De preferência, eles devem ser numerados e legendados e a sua localização no texto deve estar tão próxima quanto possível do trecho que os explica ou referencia. O uso destes instrumentos, todos juntos, no final do trabalho, não é recomendado, pois dificulta a consulta. Este artifício deve ser usado apenas quando se trata, por exemplo, de um conjunto de ilustrações em folhas de tamanho diferente das do resto do texto, ou quando não são partes essenciais para o perfeito entendimento do trabalho.

CITAÇÕES. Idéias e frases, que não de criação própria, deverão ser citadas com as devidas referências. Este procedimento valoriza o trabalho e respeita os direitos do autor original da citação. Uma boa recomendação é colocar o trecho copiado de outros autores entre aspas, junto com uma indicação da autoria. Segundo Eco¹, as aspas devem ser usadas em "citações de frases ou breve período de outro autor no corpo do parágrafo". Em se tratando de períodos com mais de três linhas, devem aparecer em parágrafo separado, recuado da margem esquerda, e grafado com fonte menor que a do texto principal; e sempre referenciados.

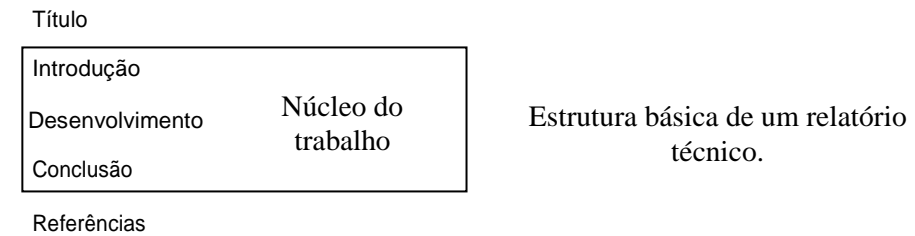
NOTAS DE RODAPÉ. Quando uma frase ou citação não couber no texto, por quebrar a sua seqüência, podemos recorrer ao emprego da nota de rodapé para registrar, paralelamente, esta informação. Este artifício também pode ser usado para referir o autor, a obra e o lugar das citações feitas no texto.²

¹ECO, Umberto. *Como se faz uma tese*. São Paulo: Perspectiva, 1993. p.149.

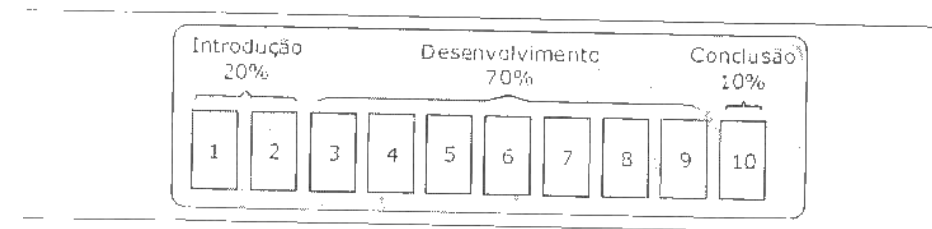
²Notas de rodapé e indicação de referência bibliográfica devem ser usadas comedidamente, pois quando utilizadas em excesso tornam o trabalho difícil de ser lido, desviando a atenção do leitor da idéia principal e tornando a leitura tediosa.

ESTRUTURA BÁSICA DE UM RELATÓRIO

A estrutura mínima de um trabalho deve ser composta ao menos de cinco partes principais: título, introdução, desenvolvimento, conclusão e referências.



Seja o trabalho apresentado na forma oral ou escrita, as três partes que compõem o núcleo principal devem estar contempladas numa dosagem equilibrada que mantenha, por exemplo, uma relação aproximada de 20% para a introdução, 70% para o desenvolvimento e 10% para as conclusões.



Assim, para um relatório de vinte páginas, uma boa distribuição seria dedicar aproximadamente quatro páginas para a introdução, quatorze para o desenvolvimento do trabalho propriamente dito e duas para as conclusões.

TÍTULO. Por ser a parte mais lida de qualquer obra, o título deve merecer atenção especial, devendo ser o mais conciso possível e sugerir, sem dubiedade, o assunto. Não raramente a escolha do título do trabalho é a última decisão do autor, justamente para que seja bem escolhido.

O uso da vírgula ou dos dois pontos com a supressão de palavras pode tornar o título mais incisivo. Por exemplo, em vez de usar o título: "Uma experiência de ensino com a disciplina Introdução à Engenharia", poderíamos usar: "Introdução à Engenharia: uma experiência de ensino". O título costuma ficar, assim, mais direto e compacto.

INTRODUÇÃO. A introdução visa, antes de tudo, a colocar o leitor a par do assunto que é tratado no decorrer do trabalho.

Na introdução procuramos estabelecer, principalmente, a definição, delimitação do assunto e a indicação do caminho seguido, tendo como objetivos básicos:

Idéias básicas a serem registradas na introdução de um trabalho

delimitar o assunto	anunciar a idéia geral
situar o trabalho no tempo e no espaço	indicada metodologia empregada na pesquisa
anunciar as idéias mestras do desenvolvimento do trabalho, para se ter uma visão global do assunto	indicar a documentação e os dados utilizados
	acentuar a sua importância

É importante ter em mente que uma redação clara e objetiva da introdução é um fator primordial para motivar o leitor. Uma introdução que não motive à leitura pode ser a única parte lida do texto propriamente dito.

DESENVOLVIMENTO. O desenvolvimento é o corpo do trabalho, devendo estar nele contemplada a essência do que foi realizado no desenrolar de uma pesquisa. Ele deve seguir critérios adequados ao assunto abordado. A explanação tem de ser lógica para que o leitor não se perca com explicações desnecessárias.

Fica bastante facilitada a redação do desenvolvimento do trabalho quando houver um plano de ação adequado. A elaboração de um bom planejamento facilita distinguir o principal, do acessório; o mais importante, do menos importante.

O planejamento não é único e absoluto. Muitos planejamentos são refeitos por várias vezes em função do aprofundamento no assunto tratado. É salutar que ele seja refeito tantas vezes quantas forem necessárias. Isso indica aprofundamento das idéias e maturidade por parte de quem pesquisa. De forma geral, o plano definitivo só ficará pronto próximo do término da investigação.

Independentemente da linha de desenvolvimento a adotar, é importante ler em mente que um dos principais requisitos para que tenhamos um trabalho bem elaborado é o esforço exercido. Portanto, devemos seguir um método, mas, acima de tudo, devemos dedicar o maior esforço possível ao desenvolvimento do assunto, pois nele estará contida a substância fundamental do trabalho.

CONCLUSÃO. Qualquer trabalho realizado sob a forma de uma pesquisa deve apresentar uma conclusão. Ela finaliza, arremata, dá um ponto final ao estudo. E a apresentação das respostas aos temas levantados no início do trabalho.

Pelas características que envolvem a conclusão, ela deve conter algumas qualidades fundamentais, dentre as quais estão as seguintes:

- **ESSENCIALIDADE.** A conclusão deve convencer os hesitantes, que porventura ainda possam existir depois das explicações do desenvolvimento do assunto. Por isso mesmo a conclusão é um resumo das ocorrências mais importantes registradas ao longo do trabalho. O aspecto da essencialidade leva a outra qualidade importante da conclusão: a brevidade.
- **BREVIDADE.** O resumo conclusivo deve ser convincente, enérgico, preciso e, acima de tudo, seguro nas afirmações. Contemplar tudo isso em poucas palavras, alguns esquemas, tabelas e equações é uma meta a ser perseguida. Conclusões muito longas cansam o leitor e diluem a mensagem principal em meio a informações às vezes desnecessárias.
- **PERSONALIDADE.** A personalidade diz respeito, principalmente, à segurança do autor. Isso não deve ser confundido com prepotência. O autor deve exprimir seu ponto de vista fundamentado, necessariamente, em uma análise bem embasada, com boas explicações, com uma linha argumentativa lógica e, tanto quanto possível, com imparcialidade. Conclusões objetivas, concisas e bem elaboradas valorizam o trabalho, enaltecendo o esforço empreendido para a sua realização. O autor também mostra personalidade abrindo perspectivas de novas pesquisas relacionadas com o campo de seus estudos, alargando a idéia geral para além de seu próprio ponto de vista.

Outro aspecto fundamental que deve ser considerado num trabalho técnico, independentemente de sua extensão, é a referência à bibliografia utilizada, pois é nela que indicamos as principais fontes de informação sobre o tema desenvolvido.

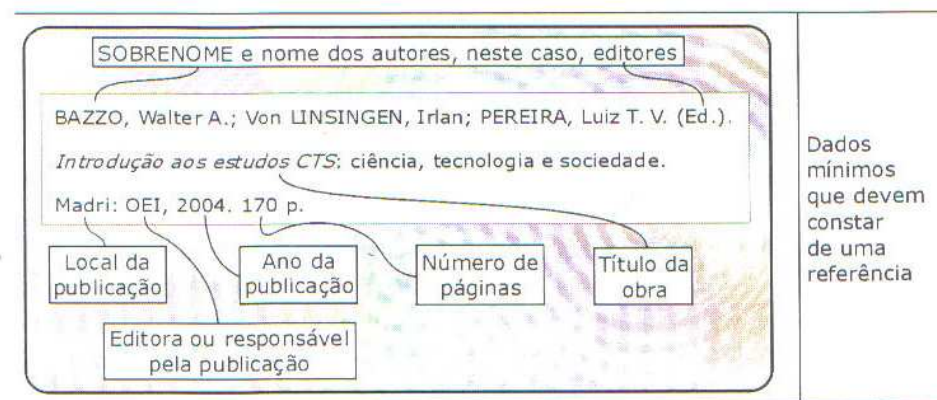
REFERÊNCIAS. As referências, normalmente apresentadas depois da conclusão, são a relação completa da documentação utilizada no trabalho. Deste item devem constar as obras efetivamente consultadas, para que o leitor que tiver interesse possa reconstituir o trabalho ou aprofundar os seus conhecimentos naquele assunto.

Como um dos objetivos das referências é fornecer condições para a localização das obras, sua apresentação deve conter informações que permitam

que isto aconteça. Assim, é necessário fornecer os dados que garantam a sua perfeita localização, seja ela um livro, um artigo de periódico, um catálogo de fabricante, enfim, qualquer trabalho que tenha sido usado no desenvolvimento da pesquisa. Fontes de consulta podem ser também entrevistas, documentários, páginas da internet, palestras... Saber referenciar adequadamente cada uma das fontes de pesquisa utilizadas é essencial para conferir densidade e credibilidade a um trabalho.

Objetivando normalizar a forma de apresentação das referências, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabeleceu a norma NBR-6023, que disciplina tal apresentação. A obediência a esta norma garante que a indicação das obras contenha os dados mínimos indispensáveis para a sua localização, além de permitir a identificação da sua autoria.

De uma forma geral, os dados mínimos que devem constar de uma referência são:



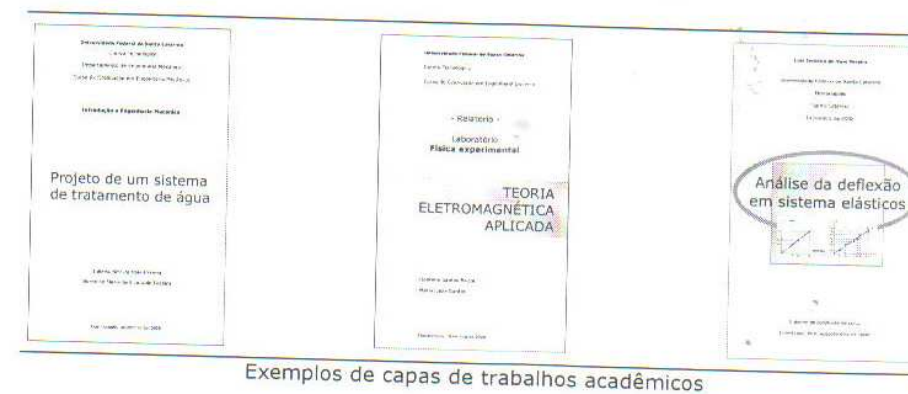
Com estes dados, identificação e localização da obra ficam bastante facilitadas. Porém, quando se tratar de artigos de congressos, relatórios internos de instituições ou catálogos de fabricantes, outras informações deverão ser prestadas e, neste caso, recomendamos uma consulta à NBR-6023, disponível nas bibliotecas. As leituras sugeridas neste livro servem como exemplo, uma vez que seguem a supracitada norma.

OUTRAS PARTES COMPONENTES DO TRABALHO

Em trabalhos de maior extensão, outras partes poderão compor a estrutura geral, ficando a cargo do autor a decisão da sua inclusão ou não. As

principais são: capa, folha de rosto, agradecimento(s), prefácio, resumo, sumário, lista de símbolos, abreviaturas e siglas, apêndice, índice remissivo e contracapa.

CAPA. É a proteção do trabalho, devendo ser de material resistente; deve conter as mesmas informações da folha de rosto.



FOLHA DE ROSTO. É a primeira página do trabalho, devendo conter, basicamente, as informações que identifiquem o título, o autor e o local da publicação.

AGRADECIMENTO(S). É comum o autor desejar agradecer formalmente àqueles que de alguma forma o ajudaram no desenvolvimento dos trabalhos, e este é o local mais adequado para isso; deve ser um texto curto e objetivo.

PREFÁCIO. O prefácio algumas vezes é confundido com a introdução. A introdução diz respeito diretamente ao assunto, enquanto o prefácio se ocupa do trabalho em si, informando sua origem, suas características e finalidades, as intenções do autor e as dificuldades encontradas nas diferentes fases de elaboração. No prefácio, podemos indicar a qual público nos dirigimos em compararmos as pesquisas do trabalho em pauta com outras já realizadas. Podemos agradecer, também, às pessoas que de alguma forma auxiliaram nos trabalhos. É comum que um convidado especial prefacie o trabalho.

RESUMO. O resumo consiste de um texto curto - normalmente entre duzentas (200) e quinhentas (500) palavras - que descreve sucintamente o trabalho, apresentando, por exemplo, objetivos, linha teórica e principais conclusões. Para maiores informações a respeito desse assunto, sugerimos consultar a NBR-6028.

SUMÁRIO. Contém as principais divisões do trabalho, tais como: títulos dos capítulos, itens e subitens - seqüenciados como aparecem no texto e

indicando as respectivas páginas em que se encontram. Para a preparação do sumário, recomendamos uma consulta à NBR-6027.

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS. Em textos técnicos e teses acadêmicas, quando muitos símbolos, abreviaturas e siglas especiais são empregadas - e que às vezes não são de conhecimento de todos -, é conveniente acrescentar no texto um local onde estes elementos sejam reunidos e identificados, para facilitar a consulta. Esta lista deve, preferencialmente, ser incluída no início do trabalho.

APÊNDICE. É um material ilustrativo complementar, não essencial à compreensão do texto, e que pode ser utilizado para enriquecê-lo. Usualmente está posicionado depois das referências bibliográficas. Num mesmo trabalho podem ser usados vários apêndices, que são identificados, geralmente, com letras: Apêndice A, Apêndice B.

ÍNDICE REMISSIVO. Em ordem alfabética, mostra onde cada assunto aparece no texto. É um potente auxiliar ao leitor que deseja localizar um tema específico no texto, que não esteja contemplado, por exemplo, com nome de capítulo, item ou subitem. Consultando o índice remissivo de uma obra, o leitor pode, por exemplo, localizar com facilidade todas as páginas onde há referências a um determinado tema.

CONTRACAPA. É a proteção final do trabalho, devendo, tal qual a capa, ser de material resistente. Uma folha em branco para trabalhos escolares deve ser suficiente.

ESTRUTURA FÍSICA DO RELATÓRIO TÉCNICO

A apresentação física de um trabalho técnico ou científico é semelhante à de um trabalho escolar. Todavia, neste texto procuramos enfatizar mais especificamente a apresentação do trabalho escolar.

Por estrutura física entendemos a apresentação do trabalho, ou seja, a ordem de colocação das suas diversas partes e a estética geral.

O trabalho deverá ser, tanto quanto possível, digitado em folha de papel branco formato A4 - 297 mm por 210 mm -, que será utilizada apenas em um dos seus lados.

As folhas devem ser numeradas com algarismos arábicos, a dois centímetros da borda superior e a um espaço da primeira linha do texto, no centro da folha ou à sua direita. Na primeira página de cada capítulo não deve aparecer a numeração.

Estrutura geral de um relatório técnico

Capa
Folha de rosto
Agradecimento(s)
Prefácio
Resumo
Sumário
Lista de símbolos, abreviaturas e siglas
Introdução
Desenvolvimento
Conclusão
Referências
Apêndice
Índice remissivo
Contracapa

Fórmulas e símbolos que por algum motivo não puderem ser digitados podem ser escritos à mão, com bastante esmero.

A numeração dos capítulos, itens e subitens deve obedecer à NBR-6024.

Os títulos e subtítulos deverão ser escritos em negrito, ou sublinhados, para que fiquem em destaque no texto. Seções importantes deverão iniciar página nova.

A ordem de colocação das diversas partes de um trabalho, de uma forma geral, pode obedecer à seqüência apresentada anteriormente - que é uma das mais usuais - para garantir uma boa apresentação.

O DESENHO NA COMUNICAÇÃO

Um instrumento de trabalho de muita utilidade para o engenheiro é o desenho. Ao analisai o currículo de um curso de engenharia é fácil notar a importância reservada a este instrumento. Além de várias horas programadas

para o estudo desta matéria, em várias disciplinas o desenho é um pré-requisito imprescindível para bem cursá-las.

Isso não acontece por acaso. É só verificar alguns trabalhos de engenharia para perceber que dificilmente deles não constarão esquemas, plantas, esboços, vistas em perspectiva ou explodidas, cortes, cotas, dimensões etc. Na verdade, isso só vem ratificar a já comentada importância da visualização espacial para um bom desempenho profissional.

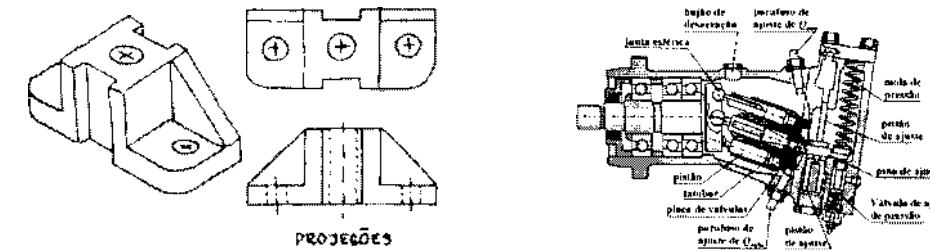
O desenho é uma potente forma de comunicação que o engenheiro desenvolve para realizar o seu trabalho. Todavia, o mais importante não é o fato de saber desenhar, mas sim visualizar os sistemas espacialmente, conseguir interligar os diversos componentes, imaginando as suas compatibilidades, seus encaixes, suas disposições espaciais.

A capacidade de executar essa visão espacial de forma normalizada não precisa, obrigatoriamente, fazer parte das habilidades do engenheiro. Se isso acontecer, ótimo, será uma vantagem. Porém o que realmente interessa é que o engenheiro consiga ser claro na explanação de suas idéias, através ao menos de um esboço bem estruturado. A arte final, ou seja, o desenho realizado de acordo com as normas, com hachuras, cortes, cotas, concordâncias de linhas, legendas, especificações etc., pode ser realizada por um desenhista experiente, que para isso utilizará a tradicional prancheta ou sistemas computacionais.

A seguir são apresentadas duas figuras. A primeira exhibe um esboço de uma peça à mão livre, onde constam uma vista em perspectiva e duas projeções ortográficas dela. Na segunda, está reproduzido um desenho feito em computador.

A informática alterou de tal forma a atividade da engenharia que, em diversos setores industriais, uma especificação de produção sai quase que diretamente da tela do computador do engenheiro para as máquinas de produção no chão de fábrica. Aos operários ficam reservadas tarefas como inspeção, alimentação e manutenção dos equipamentos.

Mas esses recursos não substituem completamente a necessidade de sabermos realizar esboços ou esquemas. Por exemplo, numa construção civil, a confecção de um esboço rápido pode ser necessária para instruir o mestre-de-obras sobre a melhor forma de dobrar o ferro da armação; ou numa estação de tratamento de água, avariada por um acidente, podemos ter que fazer um esquema sucinto de como proceder para normalizar rapidamente o sistema.



Perspectiva isométrica

Esboço à mão livre de uma peça e desenho realizado em computador - Prof. Irlan von Linsingen/EMC/CTC/UFSC - os uma válvula pneumática

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um trabalho escolar é um instrumento didático que visa a desenvolver, com o estudante, uma ou mais capacidades. Na figura abaixo são sintetizadas algumas dessas capacidades.

Algumas capacidades a serem desenvolvidas como a realização de um trabalho escolar

Conhecimento e compreensão de um conceito

Análise de um fenômeno ou de um processo

Aplicação de uma lei física a uma situação problematizada

Síntese de conceitos, teorias, leis, experiências e normas para a elaboração de um projeto

Desta forma, podemos classificar os trabalhos escolares da seguinte maneira:

Tipos de trabalhos escolares

Resolução de problemas	Relatório de estagio
Experiência de laboratório	Projeto
Pesquisa tecnológica	Dissertação
Trabalho de campo	Monografia

Acreditamos que, se as recomendações contidas neste capítulo forem seguidas, um grande passo terá sido dado para uma boa apresentação de trabalhos escolares ou profissionais. Porém, é necessário alertar para o fato

de que muitas adaptações poderão *e* deverão ser feitas em função dos diferentes eventos onde estes trabalhos serão apresentados.

Apenas com o intuito *de* exemplificar, eventos importantes que acontecem, em certos intervalos *de* tempo, para a divulgação *de* trabalhos científicos ou tecnológicos, são: congressos, seminários, encontros, mesas-redondas... Nestes eventos, normalmente além da apresentação oral dos trabalhos, existe ainda uma compilação geral destes, na forma escrita - *em* papel ou eletrônica -, denominada Anais. Muitas vezes, para a publicação de um trabalho, o formato *de* apresentação *é* determinado pela comissão organizadora do evento, que, além *de* procurar seguir as normas vigentes, pode estabelecer algumas exigências adicionais que julgar convenientes.

Portanto, não existe uma regra rígida determinando como os trabalhos devem ser apresentados, sejam eles escolares ou profissionais. Existem, sim, recomendações para que seja garantida uma apresentação com boa estética *e* *de* fácil entendimento *e* consulta. Assim, sempre que necessário, ou o tipo de trabalho exigir, outras formas poderão ser utilizadas. Porém, embora acima *de* tudo deva estar o conteúdo do trabalho, a sua apresentação deve ser sempre agradável aos olhos do leitor, facilitando o entendimento.

Afora as recomendações feitas acima, *é* importante que fique claro: a estética *e* o conteúdo fazem do trabalho um excelente cartão de apresentação do profissional.

Tarefas para complementação do aprendizado

Assista atentamente a alguma palestra de seu interesse. Em seguida procure relembrar a lógica da apresentação, a mensagem principal, os recursos auxiliares utilizados, as entonações de voz e a postura corporal que o palestrante empregou. Faça agora um exercício mental, procurando imaginar de que forma você poderia ter melhorado tal palestra.

Escreva uma carta abordando algum assunto relativo à sua área profissional e que, no seu entender, seja de interesse da comunidade. Envie esta carta para um jornal de sua cidade.

Faça uma resenha, com cerca de 300 palavras, de um dos capítulos deste livro. Solicite que um colega ou professor leia esta resenha, fazendo comentários, críticas e sugestões. Com as contribuições sugeridas, reescreva o texto, buscando o seu aprimoramento.

Ao ler um livro, anote as frases que você não entendeu, as idéias com as quais não concordou e os erros de digitação ou de redação que você encontrou. Depois escreva para o autor, por carta ou *e-mail*, apresentando uma síntese das suas conclusões.

Procure em jornais ou revistas atuais um artigo que aborde alguma questão referente à engenharia. Faça um resumo, por escrito, do material lido. Tendo uma oportunidade, junto a um círculo de amigos ou mesmo durante uma aula, procure fazer um relato oral sucinto sobre o assunto que você leu, acrescentando algumas opiniões pessoais bem articuladas.

Quando da procura de um emprego ou mesmo na hora de pleitear uma bolsa de estudos, uma monitoria ou um estágio, *é* comum que se exija do candidato um currículo pessoal - *curriculum vitae*. Prepare o seu currículo, registrando as atividades que você desenvolveu até agora. Procure seguir um modelo compatível com o que costumeiramente se utiliza nos processos de seleção para estágio ou emprego.

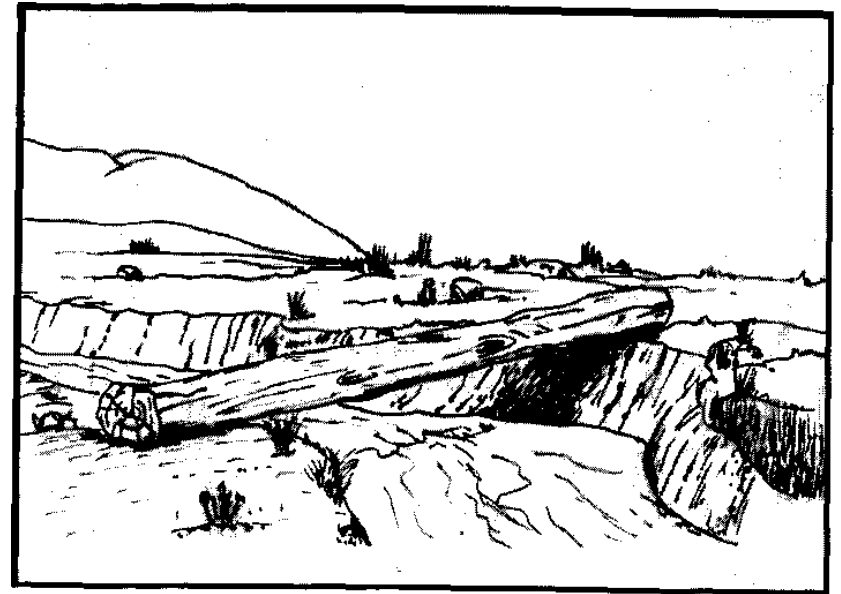
E por falar em desafios e construção de conhecimento, por que você não aproveita para fazer um levantamento do que leu recentemente? Lembre-se: a leitura *é* fundamental para o aprendizado!

Depois da leitura deste capítulo, procure estabelecer no mínimo dez atividades que complementem o aprendizado deste assunto.

Através de pesquisas em bibliotecas e na internet, selecione ao menos cinco livros que, na sua opinião, possam aprofundar as questões tratadas neste capítulo. Discuta com colegas ou com professores a pertinência da sua proposta.

Capítulo
3

Origens da profissão



CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

A história da engenharia confunde-se com a própria história da humanidade. Falar dela com alguma profundidade, portanto, exige bastante tempo. Ela é longa, envolvente, empolgante e reveladora. Também é cheia de aspectos que nos motivam cada vez mais a conhecer e buscar esta fascinante profissão.

Não é propósito deste capítulo revelar de forma completa essa história. Apresentamos aqui apenas alguns marcos importantes dessa caminhada, mostrando a força da profissão e a sua relevância social. De resto, deixamos sob a responsabilidade dos interessados as indispensáveis leituras complementares. Para isso, apontamos nas leituras sugeridas no final deste livro, alguns textos - simples, claros e de bom conteúdo - que podem trazer complementações importantes sobre o assunto. Neste resgate histórico, resumimos basicamente fatos marcantes até o início do século 20.

Por que trabalhamos este assunto num livro de engenharia? Para conhecermos um pouco das raízes, dos sucessos, dos fracassos e dos esforços realizados ao longo do tempo para construir o que somos, e para que possamos compreender o estágio em que a engenharia hoje se encontra, para nos situarmos no tempo e valorizarmos o futuro.

SÍNTESE HISTÓRICA

A evolução da humanidade se processa de forma contínua, caminhando ao sabor da cultura, dos contextos históricos e sociais. Mas, volta e meia, têm-se observado alguns saltos esporádicos de maior transformação, quando progressos científicos retumbantes acontecem, quando invenções tecnológicas inovadoras chegam ao mercado consumidor. Isso acontece basicamente em duas oportunidades: quando diante de grandes crises - guerras ou catástrofes naturais, por exemplo -, ou quando diversos fatores propícios para tal se conjuguem.

Se o trabalho dos engenheiros é importante no dia-a-dia de uma sociedade, também nessas duas oportunidades mais expressivas eles estão lá como elementos fundamentais para a procura de soluções, para a concretização de idéias ou mesmo para a administração dos serviços necessários à execução dos produtos.

Analisando a história, logo percebemos que ela é de fato permeada de significativos desenvolvimentos que marcaram profundamente o destino da humanidade. O controle do fogo, a domesticação dos animais, a invenção da agricultura, a criação de cidades, o desenvolvimento da imprensa ou a construção de um avião comercial estão aí para comprovar esta interpretação.

HABILIDADE TÉCNICA: UM DIFERENCIAL HUMANO

É interessante ressaltar, na história da evolução social, a capacidade do ser humano de dar forma a objetos naturais e a empregá-los para determinados fins, como por exemplo, para a fabricação de ferramentas e utensílios domésticos. Essa habilidade tem sido entendida como uma das grandes responsáveis pelo estágio de desenvolvimento que hoje experimentamos.

Esse diferencial do ser humano, frente a outros animais, começou a aparecer há bastante tempo. As mais antigas ferramentas produzidas por hominídeos data de cerca de dois milhões de anos, consistindo apenas de pedras lascadas, ossos, madeiras e conchas, usados de forma rudimentar -ou seja, comparando com o que se faz hoje, naquela época a quantidade e a qualidade dos processos empregados eram rudimentares. Isso aconteceu durante o Paleolítico - período compreendido entre cerca de 2 milhões e 10 mil a.C. Paleolítico é o termo empregado para designar o período da pedra antiga, ou pedra lascada.

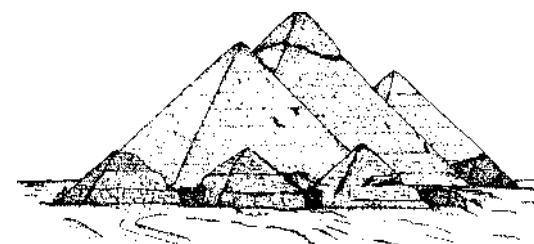


Algumas das primeiras técnicas empregadas pelo homem: braço de alavanca, polimento de pedras e produção de fogo

De qualquer forma, com esses primeiros instrumentos, os hominídeos já podiam caçar e carrear um animal, cortar árvores, se defender de ataques, construir abrigos rústicos. Além do mais, construir uma machadinha a partir de uma pedra bruta envolve bem mais raciocínio, planejamento, experiência e habilidade do que podemos imaginar num primeiro momento. E isso já se fazia há mais de 2 milhões de anos, como provam antigas ferramentas encontradas por exemplo na Tanzânia.

Podemos dizer que a evolução social também é fruto do aparecimento e do constante aprimoramento de um tipo de indivíduo preocupado com o desenvolvimento de técnicas. E, na história mais recente da humanidade, deve-se ao aparecimento de um novo tipo de intelectual, com base educacional técnica e íntima relação com os processos de desenvolvimento tecnológico.

Tudo leva a crer que as técnicas primitivas tiveram origem na descoberta da alavanca - quando o homem sentiu que podia mover cargas bem mais pesadas do que as que normalmente movia apenas com os seus próprios braços -, no domínio do fogo - conseguido através da fricção de dois pedaços de madeira, fundamentado, provavelmente, na observação do efeito de atrito entre galhos secos balançados pelo vento -, no polimento das pedras e no cozimento dos alimentos, surgidos ainda no Período Paleolítico.



Pirâmides de Gizé (a mais alta - Quéops - tem 148 metros de altura, ainda hoje um verdadeiro colosso arquitetônico) e a eolípila, antecessora da máquina a vapor

Há cerca de 12 mil anos uma verdadeira revolução técnica aparece, provocando um conjunto de modificações culturais caracterizado, basicamente, pela introdução da domesticação de animais, da agricultura, da modelagem cerâmica e da fabricação do vinho e da cerveja. Isso aconteceu no que se convencionou chamar Período Neolítico - período da pedra polida. Com essa evolução veio a organização social mais consistente. Acredita-se até que, nessa fase, como tudo leva a crer, ferramentas neolíticas - como machadinhas de sílex - foram produzidas em fábricas rudimentares e distribuídas nas cercanias, como teria acontecido, por exemplo, na Grã-Bretanha.

Com esta nova organização social, o homem começou a dedicar-se a novas descobertas e a realizar obras de maior porte, para poder manter o seu novo modo de vida, suas novas aspirações e organizações sociais. Servem como exemplos dessas grandes obras as pirâmides de Gizé - Miquerinos, Quéfren e Quéops -, construídas há aproximadamente 4,5 mil anos. A eolípila, um tipo de máquina a vapor inventada por Héron de Alexandria (150 a 100 a.C.), é um exemplo de uma máquina antiga. Mesmo sendo construída apenas

como um brinquedo ou adorno, a eolípila muito bem representa a preocupação e a curiosidade do ser humano em utilizar os recursos da natureza de forma mais elaborada e também simbólica, o que representa ainda hoje um diferencial humano.

A TÉCNICA FAZ DIFERENÇA

Após as idades da pedra lascada e da pedra polida, o homem começou a conhecer, trabalhar e utilizar os metais. O cobre e o estanho foram os primeiros metais trabalhados, tendo sido usados inicialmente para a fabricação de instrumentos de caça e defesa. Esse período histórico é denominado de Idade do Bronze.

Estudiosos da história indicam que, por volta do ano 2 mil a.C., mais ou menos junto com a invenção do alfabeto para a escrita e a numeração, o homem passou a utilizar o processo de fundição de metais. Os etruscos - povo que habitava a Península Itálica -, por exemplo, por volta dessa época já fundiam o ferro com alguma perfeição.

Mais ou menos no mesmo período, a arquitetura foi enriquecida com novas técnicas, deu-se a invenção da roda e a construção das primeiras máquinas simples. Essas novas invenções colaboraram para que se promovesse a transformação das antigas sociedades rurais patriarcais em cidades governadas, com regras de convivência política mais elaboradas, com a construção de templos, aquedutos, estradas e palácios.

Enquanto isso, alguns fatos marcantes ocorriam principalmente graças aos egípcios, que começavam a utilizar o papiro para a escrita. Esse fato marcou profundamente a civilização humana. Eles também já canalizavam, nessa época, a água do rio Nilo para irrigação. Enquanto isso, os povos mediterrâneos e escandinavos desenvolviam técnicas mais sofisticadas para a construção de navios, ao mesmo tempo em que em Jerusalém surgia um sistema subterrâneo para o fornecimento de água e, na China, era publicado o primeiro manual de matemática. Os chineses antigos, aliás, além do tipo móvel, inventaram a pólvora, o foguete, a bússola magnética, o sismógrafo e observavam sistematicamente os céus à procura de explicações mais elaboradas para os fenômenos à sua volta.

Ao longo dos séculos, novas invenções e descobertas foram feitas, os conhecimentos foram se avolumando, mas tudo isso acontecia, em essência, apenas por força da experiência prática de vários artesãos, que aperfeiçoavam empiricamente seus produtos ou processos, transmitindo suas técnicas de fabricação para novas gerações.

Ainda nessa fase, as habilidades técnicas eram tidas como presentes dos deuses, ou privilégios de alguns, sendo apenas transmitidas aos escolhidos por eles. Mas o fato era que os povos que detinham o domínio de técnicas mais elaboradas levavam vantagens em confrontos com não-detentores do mesmo grau de desenvolvimento.

Um marco importante para a disseminação da ciência e da técnica foi estabelecido por volta de 1450, quando Johannes Gensfleisch Gutenberg (1400-1468), partindo de uma antiqüíssima invenção dos chineses, a imprensa, a aperfeiçoou - implantando os tipos móveis metálicos para composição gráfica - e mecanizou o processo, garantindo uma impressão mais rápida. Este fato injetou novo dinamismo no progresso intelectual, porque a partir daí os conhecimentos passaram a circular com maior velocidade, pois podiam ser reproduzidos mais facilmente. Até essa época, os conhecimentos só circulavam verbalmente ou através de manuscritos, que eram raros e de difícil reprodução.

'SURGIMENTO DA ENGENHARIA MODERNA

Desde os primeiros artesãos da pré-história, que cravaram a pedra fundamental da engenharia, muita coisa mudou. Cresceu, e bastante, a sofisticação e a diversidade técnica. Foram criadas também estruturas teóricas que dessem conta de analisar em profundidade praticamente tudo que a técnica pudesse abordar. Durante essa evolução, ocorreu o aparecimento gradual de um especialista na solução de problemas. Estes especialistas inicialmente não se preocupavam com os fundamentos teóricos; ocupavam-se em construir dispositivos, estruturas, processos e instrumentos com base em experiências passadas.

Com a rápida expansão dos conhecimentos científicos e sua aplicação a problemas práticos, surge o engenheiro. O aparecimento formal desse profissional resultou, na realidade, de todo um processo de evolução ocorrido durante milhares de anos. Aos poucos a engenharia foi se estruturando, fruto fundamentalmente do desenvolvimento da matemática, da explicação dos fenômenos físicos, dos experimentos realizados - em ambiente controlado -, da prática de campo, da sistematização de cursos formais. Quando no século 18 se chegou a um conjunto sistemático e ordenado de doutrinas, estava lançada, definitivamente, a semente da nova engenharia. Essa sistematização, podemos dizer, estabeleceu um marco divisório entre duas engenharias: a engenharia do passado e engenharia moderna.

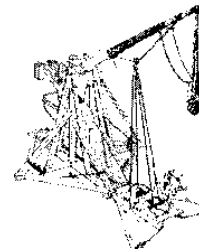
A engenharia do passado foi aquela caracterizada pelos grandes esforços do homem no sentido de criar e aperfeiçoar artefatos que aproveitassem os

recursos naturais. Foram estes primeiros engenheiros os responsáveis pelo aparecimento de armamentos, fortificações, estradas, pontes, canais etc. A característica básica destes indivíduos foi o empirismo, pois trabalhavam com base na prática ensinada pelos que os antecediam, na sua própria experiência e no seu espírito empreendedor e criador.

A passagem da engenharia antiga para a moderna não pode ser considerada como um fato estanque, nem fruto de um momento apenas. Não foi de um instante para outro que o homem passou a aplicar os conhecimentos científicos às técnicas. Durante séculos elas caminharam dissociadas uma da outra - de um lado os filósofos e pensadores, de outro os artesãos. Ainda hoje, apesar de toda tentativa de trabalhá-las como um corpo único, há quem enxergue nelas uma profunda separação.



Equipamentos desenvolvidos empiricamente: máquina a vapor e trebuchet – catapulta medieval



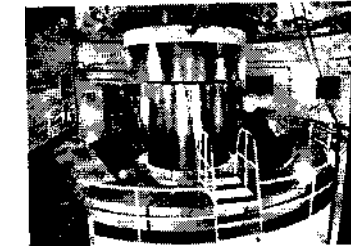
A engenharia moderna é aquela que se caracteriza por uma forte aplicação de conhecimentos científicos à solução de problemas. Ela pode dedicar-se, basicamente, a problemas da mesma espécie que a engenharia do passado se dedicava, porém com uma característica distinta e marcante: a aplicação de conhecimentos científicos. Se antes os artefatos eram construídos com base em determinantes estéticos e operacionais, tomando sempre como referência a experiência pregressa do construtor, agora um projeto teórico - baseado em conceitos científicos, em teorias formalmente estudadas e em experiências de laboratório metodologicamente controladas - antecede a construção. Conhecimentos sistematizados a respeito da natureza - por exemplo a estrutura da matéria, os fenômenos eletromagnéticos, a composição química dos materiais, as leis da mecânica, a transferência de energia, as modelagens matemáticas dos fenômenos físicos - passam a fazer parte da prática dessa nova engenharia.

A solução de problemas pela engenharia moderna considera, por exemplo para o caso da máquina a vapor, não mais apenas a preocupação

com os aspectos construtivos do artefato e o seu funcionamento, mas, principalmente, a aplicação das leis da termodinâmica e da transferência de calor, a queima otimizada dos combustíveis, a análise dos efeitos térmicos sobre a distribuição de tensões na estrutura do equipamento, a melhoria geral do projeto para permitir a automatização na produção etc.



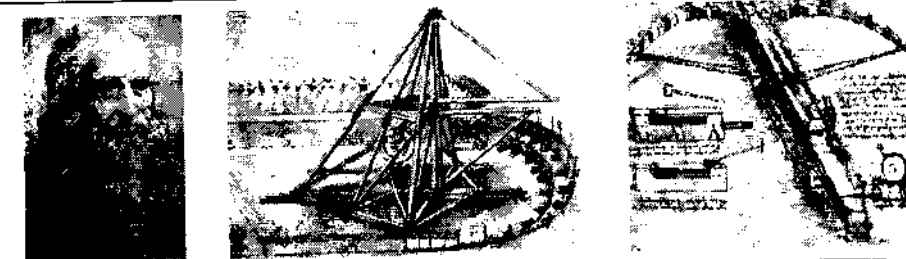
Engenharia moderna: cabine de aviação e rotor de turbina em Itaipu (foto de Caio Coronel)



MARCOS HISTÓRICOS IMPORTANTES

A tecnologia, tal como hoje é entendida, só apareceu há cerca de quatrocentos anos, mas tomou corpo apenas com a Revolução Industrial, quando se notou que tudo o que era construído pelos homens podia sê-lo usando os princípios básicos das ciências.

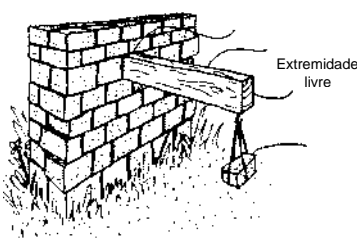
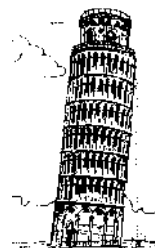
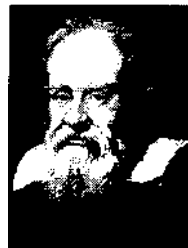
Um dos precursores dessa era foi Leonardo da Vinci (1452-1519), que reunia, eximamente, o saber teórico ao prático. Dentre os inúmeros projetos que saíram de suas idealizações estão, por exemplo, uma roda d'água horizontal cujo princípio foi usado na construção da turbina hidráulica, máquinas de escavação, cidades, portos, bestas e máquinas voadoras, além de seus estudos científicos - por exemplo sobre a anatomia humana - e obras de arte reverenciadas até hoje.



Leonardo da Vinci e dois de seus inúmeros projetos máquina de escavação e besta gigante

A partir dos séculos 16 e 17, começam a aparecer mais consistentemente conhecimentos que dão impulso ao nascimento da ciência moderna. Galileu Galilei (1564-1642), Johannes Kepler (1571-1630), Nicolau Copérnico (1473-1543), René Descartes (1596-1650), Isaac Newton (1643-1727), Charles Augustin Coulomb (1736-1806) estão entre os grandes responsáveis pela sistematização dessa nova fase da humanidade.

Podemos conferir a Galileu Galilei a responsabilidade de ser um dos principais iniciadores da mentalidade científica moderna. Em 1590, o físico Galileu, disposto a por à prova alguns ensinamentos de Aristóteles, teria convidado membros da Universidade de Pisa para assistir a uma experiência: a queda livre simultânea de dois corpos de pesos diferentes. Lenda ou realidade, este é o momento símbolo do nascimento oficial do experimentalismo científico. Iniciava-se então a substituição das longas argumentações lógicas da dialética formal pela observação dos fatos em si mesmos.



Extremidade engastada Viga

Galileu Galilei, uma representação de um lendário experimento que ele teria realizado (soltando pesos da torre de Pisa) e um de seus estudos mais importantes: a criação da mecânica dos sólidos

Segundo o método científico sistematizado por Descartes, um assunto a ser pesquisado, depois de sofrer uma observação e de ter sido formulada para ele uma hipótese, deveria ser dividido em partes mais simples, que seriam estudadas separadamente, e os resultados, sintetizados numa resposta. Galileu foi um exímio pesquisador, que teorizava e experimentava, corroborando o método cartesiano. Estudou, por exemplo, problemas de levantamento de pesos, inventou o termômetro, investigou as leis de gravitação e oscilação e pôs à prova antigos ensinamentos aristotélicos. Devemos lembrar que a ciência de Aristóteles vigorou por cerca de 2 mil anos, e que só foi desbancada consistentemente por volta do século 17.

Um marco da aplicação da ciência moderna na engenharia é o trabalho publicado em 1638 por Galileu - *Discurso sobre duas novas ciências* -, onde é deduzido o valor da resistência à flexão de uma viga engastada numa extremidade e suportando um peso de sua extremidade livre.

O início da aplicação dos conhecimentos científicos à engenharia foi repleto de fracassos. Podemos citar como exemplos:

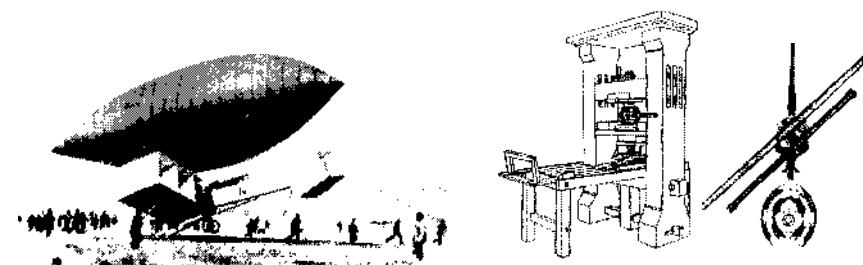
- os esforços malogrados de Leibniz na instalação de bombas movidas por moinhos de vento, para controlar águas de minas;
- fracasso de Huyghens no desenvolvimento de um motor eficiente de explosão a pólvora;
- a incapacidade de três matemáticos de renome, em 1742, nomeados pelo Papa, para descobrir as causas dos sinais de colapso apresentados no domo da basílica de São Pedro.

Acontecimentos pitorescos também marcaram a fase inicial da moderna engenharia, como por exemplo:

- em 1778, Frederico, o Grande, numa carta a Voltaire, ridicularizava Euler por não ser capaz de projetar, por meios matemáticos, fontes para o seu jardim;
- os resultados do trabalho de Galileu, publicado em 1638, cuja distribuição de tensões proposta estava equivocada.

Contudo, uma infinidade de aplicações bem-sucedidas de teorias científicas a problemas práticos garantiu a afirmação da engenharia moderna. Por exemplo, no final do século 18, Coulomb calculou com boa precisão a resistência à flexão de vigas horizontais em balanço, e também elaborou um método para o cálculo de empuxos de terra sobre muros de arrimo, com validade até hoje.

Um fato marcante na evolução industrial foi a implantação da máquina a vapor na indústria da tecelagem, ocorrida por volta de 1782, fato que, aliás, junto com o tear mecânico, inventado pelo inglês Cartwright em 1785, foi um dos grandes responsáveis pela Revolução Industrial.



Santos Dumont realizando um teste com o 14 Bis, prensa de Gutenberg e luneta de Galileu, três inventos que revolucionaram o mundo

Outro grande avanço no processo de industrialização foi a utilização do motor elétrico como fonte de energia, que substituiu os complicados sistemas de aproveitamento da energia diretamente da natureza - como rodas d'água e cataventos. O primeiro gerador elétrico experimental foi construído pelo fabricante francês de instrumentos Hippolyte Pixii, em 1832. Entretanto, apenas em 1871 foi utilizado, na prática, o primeiro motor elétrico. O construtor deste motor, Gramme, foi um prático que, tal qual os inventores do telefone e do rádio, desconhecia as explicações científicas para os seus inventos.

A ENGENHARIA NASCE COMO PROFISSÃO OFICIAL

Segundo historiadores, o primeiro emprego, do termo engenheiro - proveniente da palavra latina *ingenium*, que significa engenho ou habilidade — foi feito na Itália. Oficialmente, esta designação apareceu pela primeira vez numa ordem régia de Carlos V (1337-1380), da França, mas apenas no século 18 é que começou a ser utilizada para identificar aqueles que faziam técnicas com base em princípios científicos. Antes disso, este termo designava aqueles que se dedicavam ao invento e à aplicação de engenhos. Apenas em 1814 é que o termo *engenharia* foi dicionarizado em língua portuguesa.

O primeiro título de engenheiro foi usado pelo inglês John Smeaton (1724-1792), que teria se auto-intitulado *engenheiro civil*. Inicialmente esta designação serviu em muitos países para definir toda a engenharia que não se ocupava de serviços públicos ou do Estado; em outros países compreendia toda a engenharia com exceção da militar.



Engenheiro John Smeaton e o farol de Eddystone, construído por ele em 1756, um marco na pesquisa do cimento



AS PRIMEIRAS ESCOLAS DE ENGENHARIA

Ainda no século 18, vários cientistas franceses, tais como Siméon Denis Poisson (1781-1840), Claude-Louis Navier (1785-1836), Gustave-Gaspard Coriolis (1792-1843), Jean Victor Poncelet (1788-1867) e Gaspar Monge (1746-1818), contribuíram para a definição da técnica científica, que resultou

na fundação, em Paris, em 1774, da *Ecole Polytechnique*, que tinha como finalidade ensinar as aplicações da matemática aos problemas da engenharia.

Porém, já em 1506, foi fundada em Veneza - pelo holandês Adrian Willaert (1490-1562) - a primeira escola dedicada à formação de engenheiros e artilheiros.

Por volta do século 18, houve um significativo desenvolvimento técnico em áreas tais como: extração de minérios, siderurgia e metalurgia. O mesmo desenvolvimento também foi sentido na construção de pontes, estradas e canais, o que formava a base da engenharia civil. Todas estas atividades sempre foram fruto do trabalho de práticos, que desenvolviam empiricamente suas atividades, alheios às teorias científicas.

Com base em desenvolvimentos como esses, a engenharia evoluiu cada vez mais rapidamente, sempre intimamente relacionada com o aparecimento de escolas para a formação de engenheiros. Como consequência disso, em 1747 foi criada na França aquela que é considerada a primeira escola de engenharia do mundo, a *Ecole des Ponts et Chaussées*. Em 1778 foi implantada a *Ecole des Mines* e, em 1794, o *Conservatoire des Arts et Métiers*. Estas escolas eram voltadas para o ensino prático, diferentes portanto da *Ecole Polytechnique*, estabelecendo, assim, uma divisão da engenharia em dois campos: o dos engenheiros práticos e o dos teóricos.

Para o desenvolvimento da engenharia, o passo seguinte foi a criação das escolas técnicas superiores nos países de língua alemã. As escolas de Praga (1806), de Viena (1815), de Karlsruhe (1825) e de Munique (1827) são exemplos neste sentido. Entretanto, a escola que maior importância teve no aparecimento da engenharia moderna foi a de Zurique (1854) - *Eidgenössische Technische Hochschule*.

Nos Estados Unidos, as primeiras escolas deste tipo foram o MIT - *Massachusetts Institute of Technology* - (1865), o *Califórnia Institute of Technology* (1919) e o *Carnegie Institute of Technology* (1905). Porém, talvez a mais característica escola de engenharia dos EUA foi o *Rensselaer Polytechnic Institute*, fundada em 1824. Entretanto, já em 1794 havia sido criada a primeira escola de engenharia nos EUA, a Academia Militar de *West Point*, que foi destruída por um incêndio dois anos depois, sendo reaberta em 1802 - ano considerado o oficial da sua fundação.

Com essas escolas e institutos, a técnica moderna tomou corpo, ampliando-se a aplicação da ciência à tecnologia.

Deve ser registrada uma diferença fundamental entre as primeiras escolas de engenharia <> as atuais. As primeiras treinavam para técnicas e processos. Hoje, a preocupação maior é sobretudo formar e educar - para fornecer ao

futuro profissional embasamento teórico consistente para que ele possa atuar com competência e também resistir ao rápido obsolescimento das técnicas -, e secundariamente treinar.

FATOS MARCANES DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA

Alguns fatos históricos relativos à evolução das técnicas e da ciência têm importância marcante na definição do estágio atual de desenvolvimento da engenharia. Listamos alguns deles.

- 1620 Francis Bacon preconiza o método experimental
- 1637 René Descartes publica o primeiro tratado da geometria analítica e formula as leis da refração
- 1642 Blaise Pascal constrói a primeira máquina de calcular
- 1660 é estabelecida a Lei de Hooke, princípio básico para o estudo da Resistência dos Materiais, ciência básica das engenharias.
- 1674 o cálculo infinitesimal, ferramenta básica para a análise matemática, é inventado por Newton e Leibniz
- 1729 Stephen Gray descobre que há corpos condutores e não condutores de eletricidade
- 1745 Ewald Jurgen Von Kleist inventa o capacitor elétrico
- 1752 Benjamin Franklin inventa o pára-raios
- 1764 James Watt inventa o condensador, componente fundamental para o motor a vapor
- 1768 Gaspar Monge cria a geometria descritiva
- 1775 Pierre Simon inventa a turbina d'água
- 1789 Antoine Laurent Lavoisier enuncia a lei da conservação da massa
- 1790 Lavoisier publica a tabela dos trinta e um primeiros elementos químicos
- 1800 Alessandro Volta constrói a primeira bateria de zinco e chapas de cobre
- 1802 Joseph Gay Lussac formula a lei da dilatação dos gases
- 1805 Joseph Fourier formula a teoria do desenvolvimento das funções em séries trigonométricas
- 1811 Amedeo Avogadro formula a hipótese sobre a composição molecular dos gases
- 1814 George Stephenson constrói a primeira locomotiva
- 1819 Hans Derstedt descobre o eletromagnetismo
- 1824 Sadi Camot cria a termodinâmica

- 1825 Nielson constrói o primeiro alto-forno
- 1831 Michael Faraday descobre a indução eletromagnética
- 1834 Charles Babbage inventa a máquina analítica - ancestral do computador
- 1837 Samuel Morse inventa o telégrafo elétrico
- 1855 Henry Bessemer constrói o primeiro conversor para produção do aço
- 1867 Joseph Monier inventa o processo de construção de concreto reforçado
- 1878 Thomas Edison inventa a lâmpada elétrica
- 1885 Gottlieb Daimler e Karl Benz constroem o primeiro automóvel
- 1891 é construída a primeira linha de transmissão elétrica, em corrente alternada
- 1892 Rudolf Diesel estuda, inventa e patenteia, e em seguida produz industrialmente, o seu motor de combustão interna.

Estes são apenas alguns exemplos da arrancada decisiva da conjugação da ciência à tecnologia que, a partir daí, cada vez mais se complementam e entrelaçam. Porém, a tecnologia só se firmaria como atividade importante no início do século 20.

INÍCIO DA ENGENHARIA NO BRASIL

E difícil estabelecer o início da atividade da engenharia no Brasil, mas podemos afirmar que ela efetivamente começou com as primeiras casas construídas pelos colonizadores que, naturalmente, hoje não seriam classificadas como obras de engenharia. Em seguida, ainda de forma muito rudimentar, vieram as primeiras obras de defesa, muros e fortins. Mas a engenharia, tal como na época era entendida, parece ter entrado no Brasil através das atividades dos oficiais-engenheiros e dos mestres construtores de edificações civis e religiosas.

O desenvolvimento da engenharia no Brasil manteve-se por muito tempo atrasado. Isso aconteceu pelo fato de a economia ser baseada na escravidão - que representava uma mão-de-obra bastante barata -, não sendo do interesse da monarquia a instalação de indústrias na sua colônia.

A referência mais antiga com relação ao ensino da engenharia no Brasil - conforme citado por Pedro C. da Silva Telles em seu livro *História da Engenharia no Brasil* — parece ter sido a contratação do holandês Miguel Timermans, entre 1648 e 1650, para aqui ensinar sua arte e ciência.

Muitas outras iniciativas semelhantes foram, com o tempo, escrevendo o início da história do ensino da engenharia no Brasil, porém sempre *de* forma sazonal ou ainda muito incipiente.

A primeira escola *de* engenharia propriamente dita - a Academia Real Militar - foi criada em 4 *de* dezembro *de* 1810 pelo príncipe Regente - futuro Rei D. João VI -, vindo a substituir a Real Academia de Artilharia, Fortificações e Desenho, esta instalada em 17 de dezembro *de* 1792.

Com o passar dos anos a Academia Real Militar sofreu várias reformas e transformações. Depois da Independência, teve seu nome mudado para Academia Imperial Militar e, mais tarde, para Academia Militar da Corte. Em outubro de 1823, um decreto permitiu a matrícula *de* alunos civis, que não mais eram obrigados a fazer parte do Exército.

Outras transformações ocorreram até que, pelo decreto nº 2.116, *de* primeiro *de* março *de* 1858, através *de* nova organização das escolas militares, a Escola Militar da Corte passou a denominar-se Escola Central, sendo então destinada ao ensino das Matemáticas e Ciências Físicas e Naturais e, também, das doutrinas próprias da Engenharia Civil. Com estas modificações, o ensino militar ficou a cargo da Escola *de* Aplicação do Exército, agora denominada Escola Militar *e de* Aplicação do Exército, *e da* Escola Militar do Rio Grande do Sul.

Em 25 de abril de 1874, através do decreto nº. 5.600, foi criada a Escola Politécnica do Rio de Janeiro, sucessora da antiga Escola Central.

Também no Segundo Império, foi criada a Escola de Minas *de* Ouro Preto, em 12 *de* outubro de 1876. Ainda no século 19, mais cinco escolas de engenharia foram implantadas: em 1893, a Politécnica de São Paulo; em 1896, a Politécnica do *Mackenzie College* e a Escola de Engenharia do Recife; em 1897, a Politécnica da Bahia e a Escola de Engenharia de Porto Alegre.

Até 1946 já existiam 15 instituições de ensino de engenharia e, *de* lá para cá, muitas outras foram implantadas no país, o que representa, hoje, algumas centenas de cursos. É interessante buscar nos *sites* do Ministério da Educação do Brasil a listagem destes cursos, quando for necessário.

Nossa viagem termina aqui. Que tal novas leituras para saber dos incontáveis feitos da nossa profissão a partir do século 20 até os dias atuais? O desafio é seu. A importância de conhecer a evolução da profissão que estamos abraçando é sempre muito saudável. As questões colocadas ao final do capítulo podem ser importantes nesta empreitada. É bom lembrarmos que o ato de aprender é muito mais uma questão de opção que obrigatoriedade. Portanto, mãos à obra!

Pesquise, em livros ou via internet, acerca do aparecimento e da evolução de algum produto técnico, como a lâmpada elétrica, o automóvel, a industrialização de alimentos, os sistemas de coleta e de tratamento de esgotos, a produção de papel ou o uso do plástico. Provavelmente um destes assuntos lhe despertou maior interesse. Prepare e ministre, para os seus colegas, uma palestra sobre este assunto.

Revendo o texto deste livro, julgamos que alguns aspectos da história da engenharia no Brasil poderiam ter sido melhor explorados. Numa tentativa de preencher estas lacunas, elabore uma pesquisa bibliográfica, buscando complementar esta história. Talvez fosse desnecessário repetir, mas essa atividade deveria ser feita através de um documento escrito!

Liste as cinco inovações tecnológicas que você considera terem provocado os maiores efeitos para o desenvolvimento da civilização humana. Justifique a inclusão de cada um destes itens na lista.

Conhecer a história do surgimento das escolas de engenharia no Brasil parece uma importante tarefa para quem tem curiosidade pelas raízes do conhecimento científico/tecnológico do país. Na tentativa de contribuir para este resgate, faça um levantamento histórico da sua escola de engenharia. Para isso, consulte arquivos, publicações, professores, funcionários e ex-alunos da instituição.

Um dos marcos da aplicação da engenharia no desenvolvimento industrial da humanidade foi a utilização da máquina a vapor. Faça uma pesquisa, tão profunda quanto possível, e elabore um documento mostrando as datas, as pessoas envolvidas e os fenômenos físicos relativos a este processo. Você pode, também, usar este mesmo procedimento para outros fatos marcantes da evolução da engenharia que estão listados neste livro texto.

Depois de uma leitura atenta, procure estabelecer no mínimo dez atividades que complementem o aprendizado deste capítulo.

Através de pesquisas em bibliotecas e na internet, selecione ao menos cinco livros que, na sua opinião, possam aprofundar as questões tratadas neste capítulo. Discuta com colegas ou com professores a pertinência da sua proposta.

Capítulo 4

O engenheiro



ENGENHARIA E SOCIEDADE

Olhando à nossa volta, é fácil percebermos uma dependência cada vez maior da sociedade moderna em relação aos produtos tecnológicos. Muito do que as evoluções da ciência e da tecnologia têm proporcionado nos facilita a vida, economiza tempo, protege nossa saúde, enfim, nos transporta de uma natureza, digamos, "natural" para uma "natureza artificial", controlada. Isso, em grande parte, é decorrência da evolução da engenharia. Aliás, o importante papel que a engenharia tem desempenhado ao longo da história da humanidade é evidente. Ela esteve e continua presente em praticamente todos os momentos dessa trajetória, desenvolvendo - dentre tantas outras utilidades - sistemas de transporte e de comunicação, sistemas de produção, processamento e estocagem de alimentos, sistemas de distribuição de água e energia, equipamentos bélicos, ferramentas, utensílios domésticos, aparatos de lazer, equipamentos médicos...

Graves questões também surgem ou são majoradas em decorrência dos avanços científicos e tecnológicos, como a desigualdade social, a crescente depredação da natureza ou a dominação de povos pela força do poderio bélico. Todas essas questões também são de responsabilidade deste profissional, pois somos nós engenheiros que ajudamos a criar as condições técnicas para que estes problemas aconteçam. Por isso devemos estar atentos - além das questões técnicas - também para as questões sociais e pessoais decorrentes de nossas ações.

Podemos, como ponto de partida, imaginar que, ao criar instrumentos, informações, dispositivos ou processos, contribuimos para proporcionar ao ser humano um trabalho menos árduo e uma vida mais digna. Ao menos é isso que se espera do trabalho de um engenheiro. Mas estas maravilhas da criação humana também trazem consigo algumas questões que exigem análises mais aprofundadas - poluição ambiental, aquecimento global, devastação de florestas, destruição da camada de ozônio... Contudo, sabemos a enorme dificuldade que a humanidade tem para fazer com que essas benesses sejam estendidas a todos os indivíduos. Talvez residam nestas preocupações algumas das mais fortes necessidades de reflexão.

De qualquer maneira, não seria exagero dizer que a sociedade moderna, na busca de seu desenvolvimento tecnológico, depende, em grande parte, de

ações de profissionais da engenharia. A capacidade de identificação e resolução de problemas - não só os eminentemente técnicos - e o raciocínio analítico e sintético no enfrentamento de questões das mais diversas ordens fazem de fato diferença. De alguma forma, essa competência para tratar de problemas técnicos também se estende a questões sociais, e cada vez mais se faz sentir na atuação profissional. Aliás, a atitude de pensar, a cada dia que passa, precisa receber mais atenção, notadamente quando da formação profissional, caminhando no sentido, quem sabe, de formar o que se pode chamar de um *engenheiro cidadão*.

Nesta nossa análise destacamos que uma característica importante do engenheiro é a sua visão sistêmica, que lhe confere um bom domínio da realidade física; e, por extensão, das atividades social e econômica. Isso proporciona um panorama de conjunto que propicia interpretações de sistemas e subsistemas em contextos bastante amplos. Assim, o engenheiro adquire durante a sua formação uma idéia integrada de seu trabalho com o ambiente que o cerca.



Obras de engenharia: sistema de trânsito e torre de telefonia

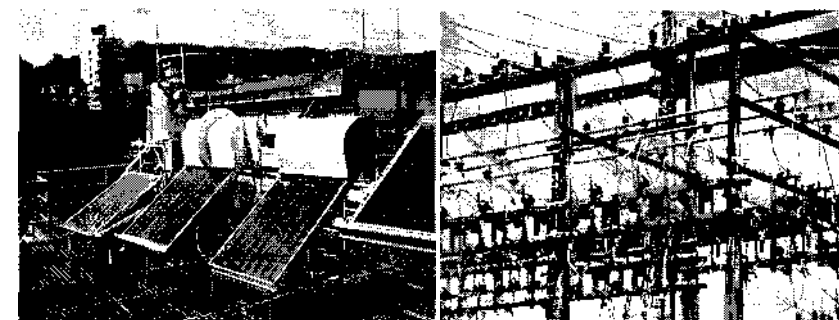


E isso não é difícil de acontecer, pois a engenharia é uma forma de pensar. Além do mais, o engenheiro, por formação, deve desenvolver um raciocínio analítico. Talvez exatamente por isso ele tem boas chances de sair-se bem em diversas atividades, mesmo aquelas não ligadas diretamente à sua área de formação técnica específica, como administração, vendas, análise de sistemas etc. Não" que estas atividades não façam parte de sua atuação profissional. Mas afirmamos isso porque, em linhas gerais, não faz parte de sua formação uma preparação para atuar nessas áreas profissionais. De qualquer maneira, seria interessante não perder de vista que cada vez menos um diploma universitário tem relação direta com a atuação profissional. Neste sentido, um diploma funciona hoje cada vez menos como um passaporte para ter acesso a um ramo profissional preestabelecido, e mais como um

recurso para se ter mobilidade destacada num mercado de trabalho competitivo. É como se fosse um "bilhete de ingresso" que permite atuar na sociedade com competência e seriedade.

ENGENHEIRO E SOCIEDADE

Vários aspectos devem ser lembrados no início de um curso de engenharia. O primeiro deles diz respeito à formação profissional. Ninguém vai ser reconhecido como engenheiro se não dominar minimamente os tópicos de sua área de trabalho. Mas só isso é pouco. Ainda como estudantes, é importante termos ao menos uma noção do papel que desempenharemos futuramente, não apenas no campo estritamente técnico, mas também como cidadãos. Por isso, nos prepararmos para um novo contexto político, social e econômico, compreendendo o funcionamento geral de uma sociedade, é mais que um complemento desejável: é uma prova de maturidade, de engajamento e uma excelente aposta visando almejar uma boa atuação profissional futura. Além do mais, se estivermos ou não conscientes disso, as sociedades se desenvolvem constante mente, e compreender um pouco seus movimentos mais significativos faz parte de nossa formação profissional. Mesmo que para isso tenhamos que lançar mão de cursos complementares, palestras, seminários e outras atividades não-curriculares.



Coletores solares e sistema de distribuição de energia elétrica Tecnologias de alcance social imediato

Desde o início de um curso de graduação devemos considerar que possivelmente só seremos engenheiros ativos, contribuindo de forma substancial para a resolução de problemas, dentro de sete ou dez anos - este tempo é o resultado da soma de cinco anos de graduação e dois a cinco anos de experiência profissional. O preparo para essa contribuição começa com uma boa formação escolar. Até porque as sociedades mudam, muitas técnicas

tornam-se obsoletas, novas áreas profissionais são criadas, mas uma boa formação tecnológica é algo duradouro em nossas vidas, e um bom embasamento científico pode contribuir sobremaneira para isso.

Outro aspecto que merece atenção destacada é a atuação do engenheiro na sociedade. Para que o nosso trabalho contribua de forma significativa para o avanço da tecnologia e para o bem-estar social, deve haver uma certa dose de ousadia neste trabalho. Se todos os engenheiros fossem excessivamente cautelosos, usando apenas materiais, processos e sistemas já consagrados, a engenharia permaneceria estagnada, e todos continuariam a fazer apenas o que outros já fizeram. Isso não significa, de forma alguma, menosprezar o significado de realizações passadas, que sempre devem ficar como referência. Mas devemos ter em mente que correr riscos faz parte da profissão, e que de novas experiências podem surgir novas e revolucionárias soluções.

Podemos considerar, ainda, que, ao trabalharmos com obras de vulto, empregando novas técnicas e aplicando novas teorias, ousando um pouco, teremos oportunidade de contribuir de forma mais significativa para o desenvolvimento da profissão e, muito provavelmente, para o avanço da própria sociedade.

UM ALERTA IMPORTANTE

Dentro destas considerações, um alerta importante deve ser feito: não devemos nos deixar levar por modismos na hora de tomar decisões quanto à nossa formação. Desde o nosso ingresso na universidade até a atuação profissional, o mercado de trabalho poderá estar radicalmente modificado. Uma área que esteja em destaque num ano poderá estar em declínio alguns anos depois, ou poderá não ter se desenvolvido tanto quanto profetizavam seus defensores. Talvez o mais importante seja fazermos uma análise criteriosa antes de optar por alguma especialização, consultar especialistas, ler publicações a respeito das áreas que nos interessam, visitar escolas que oferecem os cursos pretendidos, participar de palestras a respeito das profissões que temos em mente, para só então tomarmos uma decisão.

Entretanto, apesar de todos os cuidados que tomamos para fazer uma boa escolha quanto ao ramo profissional ou a uma especialização, é bastante comum que persistam dúvidas. Embora estas dúvidas costumem acompanhar toda a vida acadêmica de algumas pessoas, é bom lembrar que, com uma formação consistente, a própria dinâmica do mercado de trabalho acabará apontando uma vaga para a utilização das novas capacidades desenvolvidas.

Neste contexto, podemos lembrar que estudos atuais realizados por sociólogos e por especialistas no comportamento humano têm apontado para uma cada vez mais necessária ação interdisciplinar na solução dos problemas. E bom não esquecer que, de forma geral, as soluções de problemas não se restringem apenas às questões técnicas, mas são dependentes também de questões políticas, sociais, ambientais, de vontades individuais dos usuários e fabricantes...

Não pretendemos aqui estabelecer uma linha de conduta para nortear a atividade profissional do engenheiro, até para não sermos contraditórios com o que foi afirmado anteriormente. Objetivamos tão-somente comentar alguns aspectos desta fascinante profissão e apresentar características e qualidades consideradas desejáveis para atingirmos nossas metas.

ENGENHEIRO NO MERCADO DE TRABALHO

Um engenheiro pode desempenhar inúmeras funções dentro do mercado de trabalho. De uma maneira geral, quanto à sua atuação, podemos dizer que ele pode trabalhar como autônomo, empregado ou empresário.

Formas de atuação do engenheiro

Autônomo	Empregado	Empresário
----------	-----------	------------

O profissional autônomo é aquele que tem maior independência de decisão sobre sua profissão, estabelecendo seus honorários e condições de trabalho, atuando geralmente em escritório próprio. O empregado atua diretamente para uma empresa, com a qual mantém um contrato de trabalho, prestando serviços técnicos permanentes ou trabalhando por empreitada, desenvolvendo serviços específicos. O trabalho com vínculo empregatício — é bom não perdermos de vista - representa grande parte dos profissionais atuantes na área. O terceiro tipo citado - o engenheiro empresário - é aquele que é responsável por alguma empresa e que contrata outros profissionais, com vínculo trabalhista, para operá-la.

Além do mais, um engenheiro desempenha as suas funções nos mais diversos locais: empresas privadas, órgãos públicos, estabelecimentos financeiros, institutos de pesquisa e desenvolvimento etc. Dentre estes podemos destacar alguns, tais como os apresentados no quadro a seguir.

Setores de atuação dos engenheiros

Indústrias	Bancos de investimento e desenvolvimento
Construções	Escritórios de profissionais liberais
Instituições públicas e privadas	Pesquisa básica
Estabelecimentos de ensino	Escritórios de consultoria
Empresas de assessoramento	Institutos de pesquisa

Em todas as atividades listadas acima o profissional da engenharia pode realizar o seu trabalho. Normalmente, os recém-formados trabalham mais nas áreas de operação, manutenção ou construção. Com a experiência, considerando ainda seus campos de atuação e preferências pessoais, costumam passar a atuar nas áreas de administração ou de desenvolvimento. De qualquer forma, há campo de trabalho suficientemente importante e promissor em qualquer área, tanto para o novato na profissão quanto para o engenheiro mais experiente ou mais ambicioso, desde que ele tenha formação consistente e boa motivação para perseguir com êxito suas metas.

Para termos uma idéia da ampla gama de possibilidades de atuação de um engenheiro no mercado de trabalho - mesmo dentro de um assunto específico -, basta analisar o quadro a seguir, onde estão registradas algumas das atribuições que podem ser desenvolvidas em cada área.

Atribuição de um engenheiro, dentro de suas competências técnicas legais

Administrar	Desenvolver	Executar	Planejar
Analisar	Dirigir	Experimentar	Produzir
Assessorar	Emitir parecer	Fiscalizar	Projetar
Avaliar	Ensinar	Gerenciar	Supervisionar
Construir	Ensaiai	Manter	Testar
Consultar	Especificar	Operar	Vender
Controlar	Estudar	Pesquisar	Vistoriar

Em seu trabalho cotidiano, os engenheiros costumam desempenhar tarefas que vão desde a pesquisa básica - onde aplicam de forma mais intensa princípios científicos, e não raramente poucos conceitos de administração e finanças - até a administração - onde, *a priori*, aplicam pouco os fundamentos científicos e bastante os conceitos de administração, gerência e finanças.

Um engenheiro eletrônico pode trabalhar, por exemplo, com manutenção de componentes eletrônicos, no projeto de sistemas para transmissão de dados ou na fiscalização de obras de instalações elétricas industriais. Um agrônomo pode trabalhar, por exemplo, com pesquisas em irrigação e drenagem para fins agrícolas ou com o assessoramento na área de conservação de produtos animais e vegetais.

Além do mais, para desempenhar as suas funções profissionais, um engenheiro deve desenvolver - ao longo de sua formação e de seus anos de experiência - competências e habilidades tais como as apresentadas no quadro a seguir.

Competências e habilitações dos engenheiros

Aplicar conhecimentos científicos, matemáticos, tecnológicos e instrumentais	Planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços técnicos
Conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos	Projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados
Identificar, formular e resolver problemas	Desenvolver e utilizar novas ferramentas e técnicas
Assumir uma postura de permanente atualização profissional	Avaliar criticamente a operação e a manutenção de sistemas
Comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica	Avaliar os impactos sociais e ambientais de suas atividades
Avaliar a viabilidade econômica de projetos	Atuar em equipes multidisciplinares
Trabalhar com ética e responsabilidade profissional	Supervisionar a operação e a manutenção de sistemas

O ENGENHEIRO E O TÉCNICO

Um aspecto que tem preocupado profissionais recém-formados e estagiários é uma hipotética confrontação que se estabelece entre os seus conhecimentos e dos técnicos experientes. É natural que os técnicos, que

já trabalham há muitos anos, dominem com segurança vários detalhes dos processos de fabricação, dos sistemas e dos produtos de uma empresa. Esse fato, normalmente, deixa perplexos jovens engenheiros e estagiários, que começam a duvidar dos seus próprios conhecimentos construídos ao longo de vários anos de estudos.

Falamos em "hipotético confronto" porque, na realidade, ele não existe. Em primeiro lugar porque os conhecimentos processados num curso universitário dizem respeito muito mais à formação teórica do que à prática, ou seja, aquela que prepara para uma atuação direta para um campo profissional específico. Por isso, é natural que um recém-formado, que ainda não tem experiência suficiente, desconheça detalhes técnicos de sistemas de produção e outros aspectos do cotidiano da engenharia, como nomenclaturas, fornecedores, normas específicas...

E nem poderia ser diferente, pois a função da escola não é apenas informativa ou de treinamento; é, primordialmente, formativa. Até porque não haveria condições suficientes para abranger todo o campo de conhecimento da engenharia em cinco ou seis anos de escola, mesmo que fosse de apenas um dos ramos da profissão. Além do mais, a dinâmica da evolução tecnológica inviabilizaria qualquer pretensão nesse sentido.

Em segundo lugar, basta considerar que, com os embasamentos teóricos e conceituais adquiridos num curso superior, em poucos anos qualquer engenheiro terá plenas condições de dominar grande parte dos conhecimentos técnicos do dia-a-dia de seu campo de atuação e, além disso, ampliar os seus conhecimentos teóricos.

Por outro lado, é bom não perder de vista a extrema importância do trabalho dos técnicos - de nível médio e de nível superior - para as atividades dentro de uma empresa e para o próprio desenvolvimento de um país. São eles que irão implementar as novas tecnologias, operar as máquinas, executar planos de manutenção, promover ensaios em laboratórios, enfim, que vão, em conjunto com engenheiros, administradores e operários, fazer funcionar uma empresa. Sem a colaboração de todos eles, ficaria inviabilizado qualquer empreendimento empresarial.

Os técnicos são profissionais formados em cursos de nível médio ou nível superior e surgiram para atender a alta demanda de mão-de-obra especializada em função das características dos mercados regionais. Em diversas atividades um técnico trabalha sob a supervisão de um engenheiro, já que não pode assumir a responsabilidade técnica de alguns projetos mais complexos, em alguns casos mais por força de leis que por competência profissional.

QUALIDADES DESEJÁVEIS DE UM PROFISSIONAL

Algumas das armas com as quais um engenheiro deve contar para um bom desempenho profissional são a sua formação básica e o seu raciocínio analítico. Além disso, também é desejável um senso crítico aguçado para lidar com as complexas questões contemporâneas, pois elas envolvem inúmeras variáveis dos mais diversos campos disciplinares. Características como estas são muito procuradas no mercado de trabalho. Por isso, devem sempre estar sendo aperfeiçoadas através, principalmente, de um estudo continuado.

Mas a competência profissional não se encerra no conhecimento específico do campo técnico. Ao contrário, estende-se pelos campos da economia, da psicologia, da sociologia, da ecologia, do relacionamento pessoal e de muitos outros, dentre os quais hoje se destacam os estudos no campo CTS - sigla para designar Ciência, Tecnologia e Sociedade -, que auxiliarão na análise de diversos problemas.

Os estudos sociais da ciência e da tecnologia - CTS - constituem hoje um campo de trabalho no âmbito da investigação acadêmica, da educação e das políticas públicas. Buscam entender os aspectos sociais do fenômeno científico-tecnológico, seus condicionantes e conseqüências sociais e ambientais. Possuem caráter interdisciplinar, abrangendo disciplinas das ciências sociais e das humanidades - como a filosofia e a história da ciência e da tecnologia, a sociologia do conhecimento científico, as teorias da educação e a economia da mudança tecnológica permanente. Também têm por finalidade promover a alfabetização científica e tecnológica, mostrando a ciência e a tecnologia como atividades humanas de grande importância social. Os estudos CTS já são parte da cultura geral de várias sociedades democráticas modernas. Um grande objetivo deste campo de estudos é estimular os jovens para uma compreensão sadia da ciência e da tecnologia, associada ao juízo crítico e à análise reflexiva das suas relações sociais.

Isso não significa que o engenheiro deva ter domínio de todos os campos de conhecimento, ou que deva necessariamente estar engajado em movimentos sociais. Porém, uma mínima noção sobre diversos assuntos é recomendável - além de uma consciência de cidadania - para uma formulação completa de vários problemas e para a procura de soluções que possam ter repercussões sociais positivas. Não importa em qual campo da engenharia trabalhamos. Sempre, em qualquer caso, uma boa visão em relação aos aspectos acima lembrados e um bom domínio de conhecimentos gerais são fundamentais.

O conhecimento do comportamento da vida econômica e social é primordial para levar a bom termo um projeto. Quem poderia elaborar uma previsão de custos e orçamentos se não tivesse alguma noção sobre taxa de juros, taxa de

retorno do investimento, comportamento da inflação, repercussões ecológicas, reflexos sociais etc.? Um projeto é um investimento de risco, e o conhecimento dos aspectos econômicos e sociais pode ser vital para o seu êxito.

Portanto, além de uma boa bagagem de conhecimentos específicos, várias qualidades devem compor a ação de um engenheiro. Seria difícil descrever aqui todas, até porque elas não dependem apenas da formação acadêmica. Dependem também da participação social e política e do próprio interesse de cada um. Algumas dessas qualidades e habilidades são comentadas a seguir.

Qualidades desejáveis para um engenheiro

Conhecimentos objetivos	Relações humanas
Experimentação	Comunicação
Aperfeiçoamento contínuo	Trabalho em equipe
	Ética profissional

CONHECIMENTOS OBJETIVOS. Para projetar, construir e operar dispositivos complexos, estruturas e processos da engenharia, um profissional deve possuir bons conhecimentos dos fundamentos das leis da física, da estrutura da matéria, do comportamento dos fluidos, das ligações químicas, da conversão de energia e de diversos outros aspectos do mundo real. Porém, apenas o conhecimento dos fenômenos físicos básicos não é suficiente. É preciso, antes de tudo, saber identificar, interpretar, modelar e aplicar estes fenômenos à solução de problemas concretos.

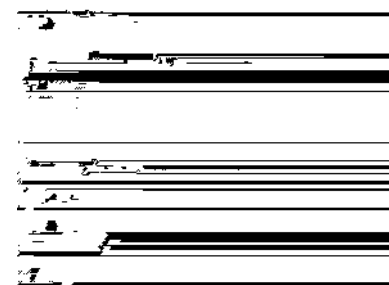
A familiarização com a tecnologia requer que o profissional saiba muito de ciências físicas aplicadas e domine conhecimentos empíricos sistematizados. O domínio de conhecimentos empíricos também é importante para o bom desempenho profissional, pois esta experiência auxilia na realização de muitos trabalhos do dia-a-dia da engenharia. Além dessa familiarização com a tecnologia — seu funcionamento, sua lógica — é fundamental também a familiarização com os resultados e as consequências da utilização das tecnologias no entorno social em que vivemos. É um pouco disso, também, que se busca abordar com os estudos interdisciplinares CTS, acima referidos, que procuram focar estes aspectos com crítica e discernimento, na busca da preservação da espécie humana com uma boa qualidade de vida¹.

¹ Com esta preocupação, o Curso de Engenharia Mecânica da UFSC - a partir de 2001 oferece uma disciplina optativa chamada *Tecnologia e Desenvolvimento*, obrigatória para todos os alunos do curso a partir de 2006. Informações sobre o seu conteúdo podem ser colhidas no endereço www.nepet.ufsc.br. Estas preocupações são também ressaltadas nas novas diretrizes curriculares do ensino superiores brasileiros.

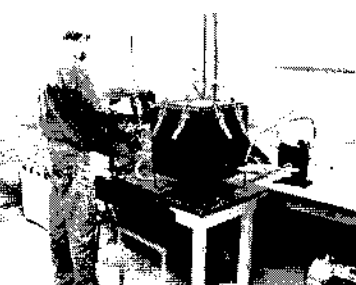
RELAÇÕES HUMANAS. A necessidade de integração do engenheiro com seu campo de trabalho exigirá dele conhecimentos de relações humanas. No cotidiano do trabalho de um profissional, um engenheiro deverá trocar idéias com clientes, operários, políticos, diretoria da empresa, usuários. Para isso é importante ter-se uma boa habilidade para interagir, argumentar, convencer, retroceder, discutir, buscando sempre um bom nível de diálogo em várias áreas de conhecimento.

Dentro destas considerações, um aspecto parece inevitável: o engenheiro raramente se isenta da responsabilidade de administrar pessoal. Aliás, ele passa muito tempo lidando com pessoas - mais do que muitos imaginam. Assim, a capacidade de manter boas relações pessoais é uma qualidade altamente desejável. Mesmo porque, para que suas soluções tenham boa aceitação, ele deve saber o que pensa e quais são as necessidades e aspirações dos clientes, empregadores, contratantes e, em última instância, da sociedade. Suas decisões, se insensatas, poderão ser nocivas para grande parcela de pessoas, que serão afetadas pelo seu trabalho.

Existem inúmeros exemplos que evidenciam a inter-relação entre uma grande obra e as pessoas que dela farão uso. Com o seu discernimento pessoal é que o engenheiro vai julgar os problemas ou os benefícios sociais que poderão trazer - em termos ecológicos, políticos, econômicos ou outros - a construção de uma usina nuclear, de uma ponte, de uma barragem, de um conjunto residencial ou de uma linha de transmissão de energia elétrica.



Engenheiro & técnicos trabalhando em campo



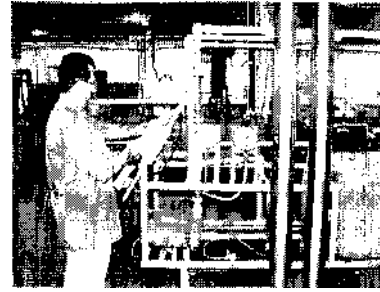
Pesquisador desenvolvendo trabalho em laboratório

EXPERIMENTAÇÃO. A habilidade de testar protótipos, regular o funcionamento de sistemas, medir variáveis físicas em processos, enfim, de realizar experiências, quando julgar necessário para aprimorar o seu trabalho, também é vital para um bom desempenho profissional.

A experimentação e a medição estão intimamente ligadas entre si e são utilizadas, basicamente, para verificar algum resultado teórico, para obter dados ou para analisar o comportamento de sistemas.



Aula de laboratório: momento importante para o aprendizado



Um engenheiro deve saber distinguir as possíveis fontes de erros, surgidos em função dos aparelhos de medição, das simplificações adotadas quando da realização dos testes, da impossibilidade de uma repetição dos ensaios, da influência do acaso, das incertezas e de uma gama enorme de outros parâmetros.

Em função dos problemas expostos anteriormente, as técnicas estatísticas são de fundamental importância como meio de processar e interpretar os resultados colhidos nos ensaios.

COMUNICAÇÃO. Uma qualidade que muitas vezes é relegada a segundo plano por alguns profissionais da área de engenharia é a comunicação. Mas o fato é que uma boa comunicação, hoje, é muito mais importante do que deve ter sido há algum tempo. Aliás, isso acontece tanto na área de engenharia como em qualquer outra. Há como imaginar um engenheiro que não *realize* um relatório técnico, que não discuta com sua equipe detalhes de um projeto, que não prepare gráficos e tabelas para mostrar o desempenho de algum sistema, que não demonstre através de uma equação a otimização de algum processo? Apesar dessa desastrosa confusão, o fato é que a comunicação é uma qualidade significativa e indispensável para um bom desempenho profissional.

Com frequência, um engenheiro vale-se da comunicação técnica, que exige atenções especiais, principalmente quanto aos aspectos da escrita e das representações matemática e gráfica. Uma busca persistente por um aperfeiçoamento desta qualidade deve ser constantemente exercitada.

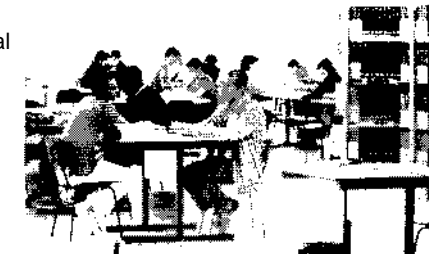
Não é tão raro ouvir profissionais da área cometerem o equívoco de afirmar que, por serem engenheiros, não sabem e não precisam saber escrever ou falar corretamente. Ledo engano! Não são poucas as oportunidades em que a capacidade de comunicação, tanto oral quanto escrita, é indispensável. As necessidades cotidianas de participar de seminários, congressos, mesas-redondas, concursos públicos, palestras, entrevistas etc. servem de amostras para corroborar esta afirmação.

Se num processo seletivo para preenchimento de uma vaga for solicitada a dois candidatos - supostamente nivelados em termos de recursos técnicos - apresentação de um relatório como critério de desempate, certamente o que apresentar um trabalho esteticamente melhor elaborado, dentro das normas e com boa redação, será o vencedor. Isso é natural, porque, em geral, concluímos que quem não consegue se comunicar adequadamente esteja de fato revelando alguma insegurança no assunto que está sendo tratado.

É salutar desenvolver o hábito da leitura de jornais, revistas e livros -ou qualquer outro material escrito - que possam reforçar a lógica do processamento de textos e ajudar na sedimentação de um bom vocabulário, [além de estender a compreensão sobre uma infinidade de assuntos diariamente inovados na literatura mundial.



Hábito da leitura: atividade fundamental no aprimoramento do engenheiro



TRABALHO EM EQUIPE. O exercício de todas as profissões - não poderia ser diferente com a engenharia - exige uma boa habilidade para o trabalho em equipe. E percebe-se que cada vez mais esta característica é mais necessária ainda. Grandes empreendimentos dominam o mundo tecnológico, grandes problemas se entrelaçam na maioria das áreas e inúmeras pessoas clamam por melhoria na qualidade de vida, o que depende cada vez mais de equipes partindo em busca de soluções.

Uma tarefa - quando desenvolvida por vários profissionais de uma área ou mesmo de áreas de formação diferentes - exige trabalho em conjunto. Esta forma de trabalho, por sua vez, implica respeito mútuo entre seus componentes, espírito de equipe e vontade de colaborar com os demais membros do grupo, tudo em prol de um bom resultado final.

Por outro lado, se o objetivo é construir uma boa solução, algumas vezes isso pode exigir a renúncia de algumas idéias, que no todo podem não representar a melhor forma de resolver um problema. Nestes casos, qualquer traço de prepotência ou arrogância geralmente leva a caminhos da colisão

peçoal. Se a idéia é convergir para um bom fim, é importante que tenhamos em mente que o reconhecimento por imposição normalmente não é uma boa medida, pois o sucesso efetivo e consistente é construído, em qualquer situação, pelo que se sabe, pelo que se produz e pelo que se pratica.

Portanto, ao ser cobrada durante a nossa formação a realização de trabalhos em equipe, devemos ter muito cuidado para não perder a oportunidade de aprendizado. Há quem, usando do subterfúgio de obter nota, transfere suas obrigações para os companheiros de trabalho, se esquivando das tarefas que não quer realizar, mas perde uma oportunidade ímpar de exercitar uma importante habilidade para a atuação profissional.



Alunos participando de um concurso
Cortesia: Prof. José Carlos
Pereira, EMC/CTC/UFSC

Equipe de competição
Cortesia: Projeto Minibaja
EMC/CTC/UFSC

APERFEIÇOAMENTO CONTÍNUO. O bom engenheiro deve estar sempre a par dos avanços da sua área de trabalho. Por isso o aprendizado deve ser contínuo. Livros, revistas técnicas, periódicos, seminários, congressos, mesas redondas, simpósios, feiras industriais, grupos de estudo e associações de classe são instrumentos de que se deve fazer uso para enfrentar com competência e sucesso o longo caminho do aperfeiçoamento profissional.

Um diploma universitário contribui tão-somente para servir de ponto de partida para o desenvolvimento de uma capacitação, fornecendo-nos uma espécie de chave oficial para abrir as portas do mercado de trabalho. A bagagem que carregamos conosco ao sair de um curso de engenharia é apenas suficiente para que comecemos a enfrentar os problemas do cotidiano. Parar de evoluir em termos técnicos pode significar - talvez mesmo em poucos anos - nos tornarmos profissionalmente obsoletos, com poucas chances de colocação no mercado de trabalho.

Da mesma forma que em outras profissões, a formação do engenheiro não acaba na escola, devendo continuar por toda a vida profissional.

Entretanto, a universidade é um excelente momento para construirmos uma ! boa formação conceitual e teórica, preparando as bases para uma atuação profissional segura e profícua.

É comum também que, durante a vida profissional, os engenheiros se especializem em alguma área. Uma forma de alcançar tais habilitações e através de cursos de pós-graduação, em nível de mestrado ou doutorado, ou em cursos de especialização ou treinamento.

O curso de pós-graduação, em nível de mestrado, visa ao aprofundamento dos conhecimentos numa área específica; em nível de doutorado, objetiva a formação de pesquisadores, tão necessários ao desenvolvimento científico e tecnológico de um país. As especializações são formas de nos atualizarmos e nos treinarmos em assuntos específicos, através de cursos formais de menor duração.

ÉTICA PROFISSIONAL. Talvez os próprios engenheiros desconheçam a importância de sua profissão. A engenharia pode modificar o ambiente, os hábitos e a qualidade de vida das pessoas, a sua forma de morar, de se locomover, enfim, de alterar inclusive substancialmente o próprio comportamento da sociedade.

Sob o peso desta responsabilidade, e constante mente preocupado em adotar soluções apropriadas, é que o engenheiro deve ter uma postura profissional coerente e racional, pautada sempre em preceitos éticos bem consistentes. Quais os deveres, os direitos, as atribuições técnicas e a remuneração a exigir pelos seus serviços são questões que devem sempre estar presentes no nosso cotidiano.

A ética deve ser a base sobre a qual é estabelecido o comportamento do profissional perante a sociedade, seu empregador, seus clientes ou concorrentes. A atuação profissional, baseada em princípios éticos, deve se pautar pelo respeito ao trabalho de outros e pela adoção de uma postura correta na aplicação dos conhecimentos técnicos.

A capacitação técnica pode ser paulatinamente construída tendo como base cursos formais, leituras e discussões. A atitude profissional - entendida aqui como o comportamento perante o mundo - se pratica com base em preceitos éticos consistentes e em consonância com um tempo histórico. Um curso de graduação é um bom momento para exercitarmos essa prática.

Do ponto de vista ético, não podemos ver a profissão apenas como um meio de satisfação de interesses pessoais. A formação do engenheiro não acontece por mágica. Ela tem um custo social que deve ser resgatado através de uma atuação consciente perante a sociedade: Na realidade esta "dívida"

será paga na prática profissional, fazendo da comunidade a beneficiária dos resultados de seu trabalho.

Uma consulta à página do sistema CREA/CONFEA² pode ajudar a conhecer um pouco das obrigações, deveres e princípios éticos que norteiam a atividade do profissional da engenharia.

POR QUE VÁRIAS ENGENHARIAS?

Dentre as atribuições e atividades dos engenheiros estão relacionadas competências legais para realizar empreendimentos que visem ao aproveitamento e a utilização de recursos naturais para a concretização de inúmeras atividades. E elas são muitas.

Se considerarmos os possíveis campos de atuação da engenharia, logo perceberemos que eles são por demais amplos para que uma só pessoa possa dominar, com excelência, a tecnologia, o embasamento científico específico, as técnicas de cálculo e as experiências vinculadas a todas as suas múltiplas atividades. Para termos uma idéia dessa complexidade, basta lembrar que não só questões técnicas, mas também questões sociais, ecológicas, econômicas e tantas outras fazem parte do trabalho dos engenheiros ou são afetadas direta ou indiretamente por suas atividades. Tudo isso influencia, de uma forma ou de outra, o funcionamento da sociedade.

Não é difícil relacionar responsabilidades que caracterizam a abrangência da ação desse profissional. É competência dos engenheiros, por exemplo, projetar, executar, administrar, verificar, fiscalizar, pesquisar... trabalhos tais como os apresentados no quadro a seguir, onde estão relacionadas algumas implicações técnicas de cada empreendimento.

Empreendimentos de responsabilidade legal dos engenheiros

Meios de transporte e comunicação	Sistemas industriais e agropecuários
Edificações, serviços e equipamentos urbanos e rurais nos seus aspectos técnicos e artísticos	Instalações e meios de acesso a costas, cursos e massas de água e extensões terrestres

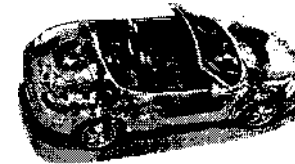
CREA - Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia. CONFEA - Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia. No endereço <http://www.confea.org.br> pode ser consultado o *Código de ética* da engenharia.

Hidrelétrica
Barragem, geração e distribuição de energia, painéis de controle, medição e deslocamento de terras, casa de máquinas (foto de Caio Coronel)

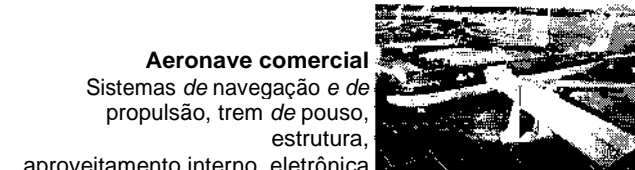


Construção civil
Fundações, estrutura, materiais, planta baixa, arquitetura da edificação, movimentação de terra, canteiro de obras, mão-de-obra para a execução do empreendimento

Planta química
Reatores, sistema de distribuição dos produtos, vasos pressurizados, leiaute da planta, tanques de armazenamento, torre de fracionamento, processos químicos



Veículo automotor
Sistemas de suspensão, direção e freio, motor, chassi, aerodinâmica, painel de instrumentos, equipamentos de segurança



Aeronave comercial
Sistemas de navegação e de propulsão, trem de pouso, estrutura, aproveitamento interno, eletrônica embarcada, aerodinâmica



Aeroporto
Pista de pouso, torre de controle, hangar, prédio da administração, sistemas de segurança, vias de acesso, transporte de bagagens, sistemas de armazenamento e abastecimento de combustíveis

Alguns trabalhos típicos de responsabilidade de equipes de engenheiros

É praticamente impossível que uma pessoa seja capaz de dominar todos esses assuntos numa profundidade tal que a permita trabalhar com desenvoltura e competência em todos eles. Por isso existem as várias modalidades de engenharia. Especializando-se num determinado campo, um indivíduo pode dar conta de dominar adequadamente vários conhecimentos específicos relativos a cada um deles, e assim poder desempenhar a contento as suas atividades.

Isso não significa que um especialista ficará restrito a trabalhos muito limitados, desconhecendo a fundamentação básica de outros temas que dizem respeito à profissão e sendo incapaz de compreender e discutir diversos outros assuntos. Para cada uma das áreas da engenharia - florestal, química, têxtil, civil... - há ainda diversos desdobramentos, todos capazes de ocupar a vida inteira de dedicação de inúmeros profissionais.

PROCESSO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL

Para preparar profissionais que atuem com competência nessas inúmeras áreas, são necessários cursos bem estruturados que contemplem um conjunto consistente de conhecimentos que os habilitem para tal. Disciplinas teóricas bem fundamentadas, estágios no mercado de trabalho e aulas práticas são, portanto, mais que necessários, são essenciais para que se possam alcançar estes propósitos.

Um dos objetivos de um processo educacional é capacitar indivíduos para que eles resolvam problemas técnicos específicos. É lógico que não se restringe apenas a isso o papel de um curso superior. Mas estamos agora tratando deste aspecto.

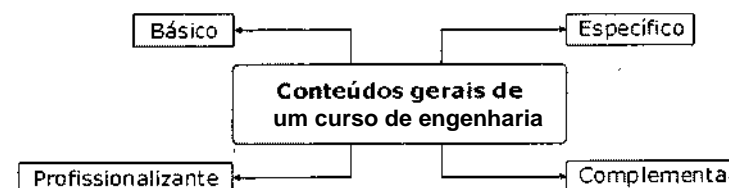
Para atingir estes objetivos, os cursos são planejados de maneira a fornecer um conjunto de conhecimentos que habilitem cidadãos a dominar uma determinada área de atuação. Por exemplo, para atuar na área de extração de petróleo, devemos estudar topografia, geologia, petrografia, economia mineral, química etc. Mas estes campos de estudo não são essenciais, por exemplo, para que um engenheiro de alimentos ou um engenheiro naval desempenhe suas atividades profissionais mais clássicas.

Mas temos de concordar num ponto: em qualquer caso, a formação básica é essencial. Um curso que tenha entre suas metas profissionalizar cidadãos, capacitando-os a solucionar problemas técnicos específicos, precisa proporcionar uma formação básica consistente, com disciplinas teóricas de bom nível e com nível com informações técnicas atualizadas. Além do mais,

engenheiro deve ser capaz de propor soluções que sejam não apenas tecnicamente apropriadas, mas deve também ter o discernimento de abordar os problemas de forma ampla, considerando-os como parte de uma cadeia de causa e efeito de múltiplas dimensões.

Ao implantarmos uma rodovia ou uma indústria numa determinada região, temos de ter consciência de que estamos impondo uma alteração brusca no ecossistema local, bem como alterando o contexto social da região. Tudo isso também tem de constar como preocupação de um profissional competente. Por isso a lógica de um curso de engenharia prevê divisões em algumas grandes áreas, que abarcam inúmeros tópicos de estudo, oferecendo temas técnicos e de formação geral.

Se sintetizarmos uma visão mais ampla de um curso de engenharia em grandes áreas de conhecimento, chegaremos a um esquema como o apresentado na figura abaixo, onde cada tópico representa um conjunto de matérias com propósitos mais ou menos comuns. Física, química e matemática, por exemplo, são conteúdos básicos fundamentais para todas as engenharias; logo, todos devem estudá-los com alguma profundidade. Lavra a céu aberto e jazidas minerais, por exemplo, são assuntos mais pertinentes à engenharia de minas, fazendo, portanto, parte da formação nessa área. Já para a formação de um engenheiro naval, por exemplo, supõe-se que estes assuntos não sejam essenciais e, por isso, não façam parte do seu currículo. Nada impede, é claro, que por conta própria cada um estude assuntos que lhe interessem - através de cursos formais ou como autodidata.



Assim, num curso de engenharia temos uma parcela do currículo que contempla conhecimentos que devem garantir uma boa formação básica, e outra que permita uma formação profissional consistente, preparando o engenheiro para resolver problemas técnicos voltados para o seu campo de ação. Cada uma dessas áreas é coberta através de conjuntos de disciplinas que contemplem os conteúdos necessários para uma boa formação.

Mas só isso é pouco. Para que a formação profissional seja consistente, são necessários conteúdos de punho geral — que digam respeito à atuação no

mercado de trabalho, que se insere, por sua vez, na sociedade - e um conjunto de disciplinas que aproveitem o potencial de cada instituição de ensino. Estas últimas talvez sejam as que mais agilidade proporcionam, permitindo que o processo de formação acompanhe os avanços científicos e tecnológicos de cada momento.

AS BASES DE UM CURSO DE ENGENHARIA

E muito provável que vários dos assuntos hoje estudados em sala de aula estejam sendo questionados, revistos ou desenvolvidos em algum laboratório, instituto de pesquisa, congresso ou grupo de trabalho. Por isso o papel do ensino universitário não pode ser apenas o de ensinar respostas prontas para problemas já resolvidos, como se cada teoria ou conceito fosse imutável, como se tudo o que já foi estudado e "cientificamente" comprovado fosse assunto encerrado. Deve, isso sim, estimular o questionamento e a reflexão crítica e esclarecer sobre as possibilidades e limites dos conhecimentos atuais, mostrando a sua eterna provisoriedade. Deve também mostrar a importância dessa característica na construção científica. Deve ainda permitir o crescimento intelectual e estimular a criatividade dos estudantes. Tudo isso porque devemos nos preparar para responder a questões novas - inusitadas até - e próprias de um novo momento histórico. Estarmos preparados para essa aventura é um desafio motivador.

E é esse o papel cumprido pelas escolas de engenharia, onde as disciplinas de formação básica geralmente estão alocadas no início do curso, pois são elas que fornecem a fundamentação para os estudos técnicos que são vistos mais à frente. Como o trabalho do engenheiro é fundamentalmente o de resolver problemas, se ele souber interpretar de maneira apropriada os fenômenos básicos que os compõem, enquadrando-os em teorias explicativas consistentes e aplicando técnicas de cálculo potentes, é bem provável que saberá solucioná-los de forma adequada.

As matérias de formação básica - comuns a todos os cursos de engenharia e que constituem a base de uma formação sólida - cobrem campos de estudo como os apresentados no quadro abaixo. Neste quadro estão descritas as matérias em termos bem amplos, e registradas apenas as áreas características, para dar uma idéia geral das temáticas abordadas em cada uma delas.

Conteúdos gerais das disciplinas básicas

Matemática Cálculo vetorial. Cálculo diferencial e integral. Geometria analítica. Cálculo numérico. Álgebra linear. Probabilidade e	Desenho Representações de forma e dimensão. Convenções e normalização. Utilização de elementos gráficos na interpretação e solução de problemas	Resistência dos materiais Tensões e deformações nos sólidos. Análise de peças sujeitas a esforços simples e combinados. Energia de deformação
Química Estrutura e propriedades periódicas dos elementos e compostos químicos. Tópicos básicos da físico-química	Fenômenos de transporte Mecânica dos fluidos. Transferência de calor e de massa	Eletricidade Circuitos. Medidas elétricas e magnéticas. Componentes B equipamentos elétricos e eletrônicos
Processamento de dados Conceitos básicos de computação. Aplicações típicas de computadores digitais. Linguagens básicas e sistemas operacionais. Técnicas de programação. Desenvolvimento de sistemas de engenharia. Simulação e técnicas de otimização	Física Medidas físicas. Fundamentos de mecânica clássica. Teoria cinética. Termodinâmica. Eletrostática e eletromagnetismo. Física ondulatória. Introdução à mecânica quântica e relativista. Introdução à física atômica e nuclear	Mecânica Estática cinemática e dinâmica do ponto e do corpo rígido

Além disso, uma série de outros assuntos e procedimentos didáticos deve ser planejada para garantir uma boa formação. Dentre eles podemos citar os apresentados no quadro abaixo.

Conteúdos e artifícios para completar o aprendizado

Metodologia científica	Laboratório
Comunicação e expressão	Econômica
Ciência e tecnologia dos materiais	Ética
Ciências do ambiente	Humanidades
Ciências sociais e cidadania	Administração

Na verdade o currículo *de* um curso ultrapassa as atividades convencionais *de* sala de aula, implicando uma ampla gama de outras atividades complementares. Para que façamos um bom curso, é necessário que tomemos parte ativa de nossa formação. Podemos conseguir isso participando - além de cumprir as obrigações didáticas planejadas - de atividades complementares tais como as que vão abaixo destacadas.

Atividades complementares para um curso de engenharia

Visita técnica	Projeto multidisciplinar	Monitoria
Evento científico	Atividade cultural,	
Programa de extensão universitária	política e social	
Trabalho em equipe	Atividade empreendedora	
Iniciação científica	Empresa júnior	

Mesmo assim, o aprendizado só será consistente se desempenharmos o papel ativo de participar da construção dos conhecimentos que dominaremos — tudo sob orientação e supervisão dos professores.

Podemos partir da seguinte premissa: um engenheiro deverá ter uma sólida formação técnica, científica e profissional geral, para que seja capaz de compreender, aplicar e desenvolver novas tecnologias, desempenhando uma atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas. Deve, ainda, ter condições de dominar aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais no seu trabalho, calcado numa apreciável ação ética e humanística do exercício profissional. Tudo isso só será possível com uma boa formação.

NÚCLEOS PROFISSIONALIZANTES E ESPECÍFICO. Os conteúdos profissionalizantes - cerca de 15% do currículo de um curso - abordam um conjunto de tópicos como os apresentados no quadro abaixo, sendo definidos por cada uma das instituições de ensino; por isso variam de uma para outra escola. Cada área da engenharia estuda alguns desses assuntos.

Disciplinas profissionalizantes de várias áreas da engenharia		
Algoritmos e estruturas de dados	Gerência de produção	Organização de computadores
Análise e simulação de sistemas	Gestão ambiental	Paradigmas de programação
Bioquímica	Gestão de tecnologia	Pesquisa operacional
Ciência dos materiais	Gestão econômica	Processos de fabricação
Circuitos elétricos	Hidráulica	Processos químicos e bioquímicos
Circuitos lógicos	Hidrologia aplicada e saneamento básico	Qualidade
Compiladores	Instrumentação	Química analítica
Construção civil	Máquinas de fluxo	Química orgânica
Controle de sistemas dinâmicos	Matemática discreta	Reatores químicos e bioquímicos
Conversão de energia	Materiais de construção	Sistemas de informação
Eletromagnetismo	Materiais de construção civil	Sistemas estruturais e teoria das estruturas
Eletrônica analógica e digital	Materiais elétricos	Sistemas mecânicos
Engenharia do produto	Mecânica	Sistemas operacionais
Ergonomia e segurança do trabalho	Mecânica aplicada	Sistemas térmicos
Estratégia e organização	Métodos numéricos	Tecnologia mecânica
Físico-química	Microbiologia	Telecomunicações
Geodésia	Mineralogia e tratamento de minérios	Termodinâmica aplicada
Geoprocessamento	Modelagem	Topografia
Geotecnia	Operações unitárias	Transporte e logística

O núcleo de disciplinas específicas é representado por extensões e aprofundamentos do núcleo de conteúdos profissionalizantes, além de outros temas destinados a caracterizar cada modalidade. Tais conteúdos são conhecimentos científicos, tecnológicos e instrumentais necessários para a definição de cada modalidade de engenharia. O seu estudo deve garantir o desenvolvimento das competências e habilidades necessárias para uma boa ação profissional. Porém isso não é tudo, pois cada curso tem suas próprias disciplinas características que também exigem muita atenção. Para isso, é salutar que, já a partir do início dos estudos, procuremos conhecer a estrutura curricular do curso em que estamos matriculados.

Além dos conhecimentos básicos, também há a necessidade de uma formação direcionada para cada área profissional, tanto em matérias de embasamento científico específico quanto em tecnologias pertinentes. Um conversa com o coordenador do curso, ou com os professores da área, poderá servir como orientação para um planejamento das atividades a serem desenvolvidas na universidade.

As matérias de formação geral objetivam fornecer aos engenheiros conhecimentos que complementem a sua formação de uma maneira mais ampla. Abrangem, em linhas gerais, temas de natureza humanística e de ciências sociais.

Também fazem parte da formação do engenheiro matérias como: economia, administração e ciências do ambiente. Isto porque engenheiros precisam ter ao menos noções gerais de contabilidade e balance, macroeconomia, administração financeira, administração e organização industrial, preservação de recursos naturais, temas jurídicos etc. Uma boa formação nessas áreas é importante porque o profissional vai atuar na sociedade e precisa ter noções mínimas de vários destes aspectos. Isso não significa, é claro, que todos devam conhecer em profundidade cada um desses assuntos. Mas não podemos ser alienados em relação a estes aspectos.

FORMAÇÃO COMPLEMENTAR. Além das disciplinas que compõem o currículo oficial, é interessante que sejam cursadas outras cadeiras - disciplinas extracurriculares - para complementação dos conhecimentos no seu campo de interesse. Cursos de extensão oferecidos pela escola, nas diversas áreas, também são importantes atividades para complementar a formação. E mais: tais estudos contribuem para a melhoria do currículo pessoal - *curriculum vitae* -, aliás um aspecto importante na colocação do profissional no mercado de trabalho.

Contatos com especialistas das mais diversas áreas de conhecimento também são recomendados, pois podem ampliar em muito a visão no campo de trabalho com o qual nos identificamos.

O aprendizado de outro idioma - por exemplo inglês, espanhol, francês ou alemão - é importante para que mantenhamos contato com publicações internacionais, que geralmente trazem as últimas novidades no campo científico-tecnológico. Dificilmente um curso de engenharia preenche de forma satisfatória esta lacuna. Por este motivo esta tarefa passa a ser de responsabilidade individual, e pode ser cumprida através de cursos extracurriculares. É bom não esquecer que, hoje, proficiência em outras línguas é quase uma obrigatoriedade na hora da contratação.

Estágios - sem contar os exigidos pelos próprios cursos -, podem e devem ser feitos durante os períodos de férias. Apesar de implicar uma cota maior de esforço, realizá-los constitui uma excelente estratégia para ganhar experiência e despertar o interesse pela profissão. O contato com alguns aspectos da vida profissional pode definir, inclusive, a sua continuidade ou não.

Esses poucos comentários acima não esgotam as possibilidades em termos de sugestões, cuidados e preocupações que devemos ter ao cursar engenharia. Mesmo assim, vamos comentar apenas mais um ponto importante: o valor da área da informática. Praticamente mais nada hoje, na nossa vida cotidiana, é feito sem o auxílio de ferramentas computacionais. Na engenharia, em todos os seus campos, é inquestionável a sua aplicação. Por isso, recomendamos o aprendizado, a atualização constante e o uso freqüente do ferramental proporcionado pelos sistemas computacionais, com seus programas e possibilidades de programação.

O aprendizado - através de cursos regulares oferecidos pela instituição ou cursos de extensão - deve ser constante. O engajamento em grupos de pesquisa também é uma excelente forma de aprendizado nesta ou em qualquer outra área. Aliás, em vários assuntos a atividade prática é uma forma motivadora e eficiente para o aprendizado.

TAREFAS PARA COMPLEMENTAÇÃO DO APRENDIZADO

- 1 Solicite que alguém elabore uma relação de temas que ele considera não terem muita relação com a engenharia. Depois faça um exercício, procurando contrapor essa interpretação, apontando as implicações que você imagina existirem.

- 2 Reúna um grupo de pelo menos 10 colegas. Solicite que um professor de seu curso ministre uma palestra para este grupo, onde ele explique a sua visão sobre o futuro da profissão. Sugiram ao professor que sejam abordadas algumas características que neste livro são consideradas importantes para uma boa formação.

- 3 Formule um código de ética para os alunos de seu curso. Utilize como referência, por exemplo, o código do Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, CONFEA, referenciado neste capítulo. Procure traduzi-lo em palavras que lhe sejam mais familiares. Discuta, com seus colegas de escola, em uma reunião específica para isso, os detalhes e as implicações deste código para as suas vidas acadêmicas.

- 4 A evolução dos conhecimentos hoje em dia é de uma dinâmica admirável. O profissional, para não ficar obsoleto, deve estar continuamente preocupado com seu aperfeiçoamento. Escreva um texto sucinto e contundente sobre este assunto e que possa servir de argumento numa discussão pública.

- 5 Liste 10 características que os artigos em revistas e jornais de suas leituras diárias apontam como as mais importantes para o engenheiro dentro do mercado de trabalho atual. Refuta sobre o que você pode fazer para que tais características façam parte da sua formação.

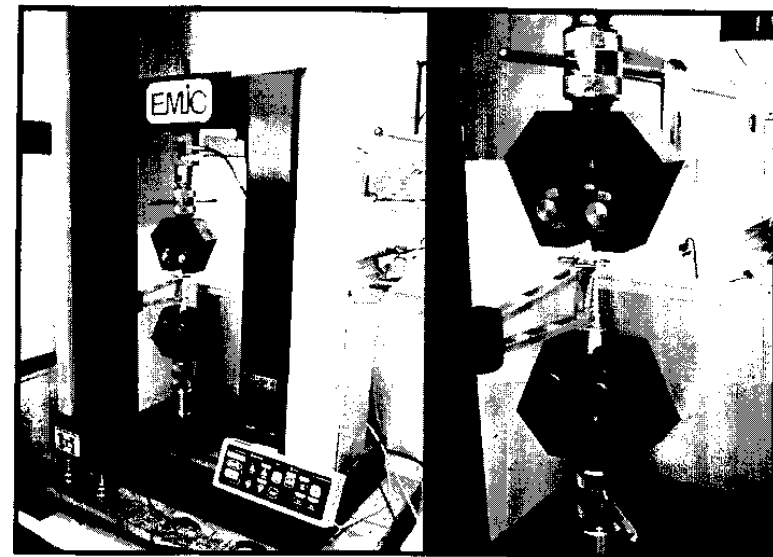
- 6 Reflita e escreva algo sobre os assuntos - que dizem respeito à sua atuação como profissional - listados a seguir: a) relação entre emprego (trabalho) e formação; b) como você imagina que possa ser o trabalho daqui a cinco anos; c) as mudanças que acontecem na engenharia enquanto você está fazendo seu curso; d) por que você acha que muitos estudiosos estão apostando que nenhuma atividade brilhará tanto no futuro como os serviços; e) discorra sobre por que todos dizem que o trabalho em equipe será cada vez mais vital na civilização humana; f) "tudo o que puder ser substituído pela máquina, será", "o profissional do futuro terá que ser um cidadão do mundo"; o que você tem a dizer sobre estas afirmações?

- 7 Depois de uma leitura atenta, procure estabelecer no mínimo dez atividades que complementem o aprendizado deste capítulo.

- 8 Através de pesquisas em bibliotecas e na internet, selecione ao menos cinco livros que, na sua opinião, possam aprofundar as questões tratadas neste capítulo. Discuta com colegas ou com professores a pertinência da sua proposta.

5 Capítulo

Pesquisa tecnológica



BASÉS DA SOCIEDADE MODERNA

Após o nascimento da ciência moderna e do aparecimento daquilo que convencionou chamar de *tecnologia* - o que aconteceu mais ou menos a partir do século 17 -, a civilização humana não foi mais a mesma. Nem a engenharia. A aplicação da ciência nas ações técnicas por certo foi responsável pela grande evolução dos meios de transporte e comunicação, dos equipamentos cirúrgicos e de lazer, dos processos de fabricação, dos utensílios domésticos...

O grau de dependência que a sociedade moderna tem dos resultados da ciência e da tecnologia é tal que não podemos mais conceber a sua existência sem estes dois empreendimentos humanos. Praticamente tudo o que se faz hoje tem relação direta ou indireta com elas. Escovar os dentes, assistir à televisão, surfar, ler uma revista, escutar música ou realizar uma experiência de laboratório seriam, sem as contribuições da ciência e da Tecnologia, tarefas impossíveis ou pelo menos bem mais difíceis. Mesmo assim, poucos compreendem o que elas são ou o que representam.

De fato, compreender as suas bases, a sua amplitude e os seus efeitos não é tarefa fácil, pois não temos o costume de encará-las como parte da nossa cultura. E também porque a ciência em si e os produtos tecnológicos são mesmo mais complexos do que os acontecimentos e explicações do dia-a-dia. E como se fosse uma forma diferente de ver as coisas. Às vezes são até contrárias ao senso comum, necessitando análises mais rigorosas e mais elaboradas para fazerem sentido.

Isso tudo gera dúvidas. E quando diante de dúvidas, é fácil fantasiarmos um pouco em relação ao que cada uma delas representa. Além do mais, há a concorrência da pseudociência, da má ciência e das nossas crenças mais arraigadas em nossa forma de pensar. Esses modos alternativos de enxergar o mundo, por serem baseados em crenças e dogmas não racionalmente comprováveis, e por estarem calcados em experiências do cotidiano e em nossas esperanças do dia-a-dia, costumam tomar o lugar das ciências racionais com alguma facilidade.

Essas incertezas costumam, muitas vezes, nos induzir a pensar que compete ao engenheiro apenas o trabalho com a tecnologia - que seria a ação empírica, concreta -, ficando este profissional à margem dos problemas

que dizem respeito ao desenvolvimento científico. Mas o engenheiro não trabalha apenas com a ação prática, construindo e consertando artefatos concretos. Ao contrário, ele está apto a desenvolver suas atividades com o auxílio tanto da tecnologia quanto da ciência. Deveríamos na verdade falar em ciências - no plural, pois elas são muitas -, e é de um conjunto delas que o engenheiro se vale para trabalhar.

UM POUCO SOBRE AS CIÊNCIAS

Ciências não são apenas conjuntos de informações, nomes e proposições. Nem são apenas conjuntos de teorias que explicam o funcionamento da natureza tal como ela é. São processos dinâmicos que implicam a interação da comunidade científica com a sociedade, onde interagem forças políticas e sociais. A ciência - cada uma delas - não é politicamente neutra, pois depende de motivações culturais para o seu desenvolvimento, que acabam ditando como acontece a pesquisa, o seu planejamento, o seu financiamento e também os assuntos a serem pesquisados. Até porque a ciência, formando uma imagem interpretada do mundo em que vivemos, nos providencia instrumentos para transformá-lo.

Um grupo de cientistas pesquisa anos a fio um determinado assunto porque há financiamento para isso, porque há interesses - pessoais ou corporativos ou governamentais. Continuam pesquisando, às vezes com sacrifícios pessoais, porque, por exemplo, se apaixonaram pelo assunto, porque acreditam que oferecer uma resposta para um determinado problema é importante para a humanidade, ou porque procuram fama e prestígio perante seus colegas.

Deixando um pouco de lado estas questões, parece que o mais acertado seja encarar a ciência como um empreendimento humano, como tantos outros, mas revestido de algumas características especiais. Dentre elas podemos destacar a racionalidade, pois fazer ciência implica reavaliar constantemente as teorias e confrontá-las com novos fatos, com novas interpretações de mundo, sempre tendo como base uma análise criteriosa do problema, uma criatividade elaborada e consistente, um modo de pensar imaginativo e disciplinado, buscando sempre verdades verificáveis.

Esta visão de ciência - ou de ciências - muitas vezes choca, por destruir uma imagem de pureza, de neutralidade e de superioridade que as visões do dia-a-dia nos passam, e que o sistema escolar muitas vezes ajuda a sacramentar. Mas uma engenharia de bom nível também depende de encarmos a ciência com maior abertura, seriedade e com mais realismo

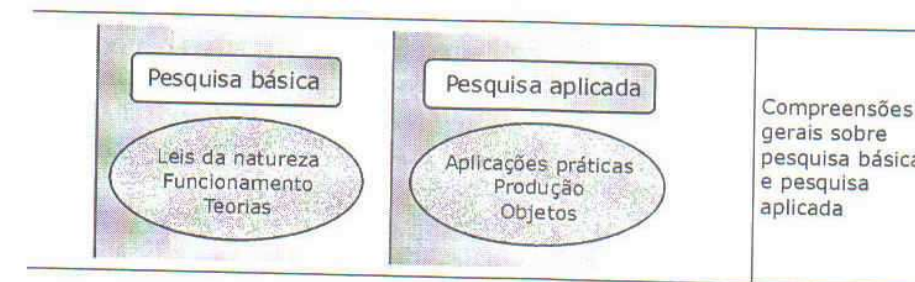
quanto às suas possibilidades e limitações. Como dizia Cari Sagan (cientista e divulgador da ciência): "A ciência está longe de ser um instrumento perfeito de conhecimento. E apenas o melhor que temos".

A nossa intenção neste capítulo é apresentar uma síntese de uma forma de entender a pesquisa, com o intuito de esclarecer alguns aspectos da ciência e da tecnologia, visando a torná-las elementos facilitadores dos estudos da engenharia.

SOBRE A PESQUISA TECNOLÓGICA

O que é pesquisa? Pesquisa é um conjunto de investigações racionais, operações e trabalhos intelectuais ou práticos que objetiva a criação de novos conhecimentos, a invenção de novas técnicas e a exploração ou criação de novas realidades. É uma busca minuciosa com o intuito de averiguar um evento, uma hipótese, um fato ou uma idéia. Seria um trabalho intelectual intencional, racional, baseado em procedimentos consagrados, aceitos e respeitados pela comunidade científica. Não significa que só possamos trilhar caminhos previamente traçados, mas devemos, antes de tudo, respeitar de alguma forma as lógicas dos nossos contextos históricos e sociais para podermos trabalhar realidades concretas.

Com fins didáticos, podemos dividir a pesquisa em duas grandes categorias: a básica e a aplicada. A pesquisa básica seria aquela que visa a essencialmente descrever as leis da natureza¹, compreender o seu funcionamento e criar mecanismos teóricos que nos possibilitem interações racionais com ela. O papel da pesquisa aplicada seria, em especial, criar aplicações práticas para as leis fundamentais. Talvez por isso algumas vezes confundimos tecnologia com pesquisa aplicada:



¹ Natureza aqui deve ser entendida em um sentido bastante amplo, abrangendo por exemplo o mundo animal, a psique humana, os objetos astronômicos, o solo terrestre e outros

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

De forma simplificada, podemos dizer que a ciência procura criar leis e explicações que possam desvendar os fenômenos da natureza. Usando esse mesmo parâmetro, a tecnologia, através dos conhecimentos disponíveis -especialmente os científicos -, procura construir instrumentos, processos e sistemas e planejar linhas de ação que tenham valor prático.

A rigor, pensando no sentido etimológico da palavra, ou seja, na sua origem, tecnologia seria o estudo da técnica - ou ciência da técnica -, assim como biologia é o estudo dos seres vivos e da vida, morfologia é o estudo das formas e deontologia é o estudo dos princípios, fundamentos e sistemas da moral. Mas, em termos genéricos, tecnologia adquiriu um alcance mais prático, designando os produtos ou arte fatos técnicos.

"Alta tecnologia" ou "tecnologia de ponta" são termos empregados por exemplo para designar novidades desenvolvidas em laboratórios de pesquisa, cuja complexidade e caráter inusitado despertam admiração e curiosidade. Mas tecnologia significa também um conjunto de procedimentos, algo como um sistema de ação de que são protagonistas técnicos gabaritados e que trabalham em centros de desenvolvimento e de pesquisa. Podemos defini-la também como um conjunto de técnicas modernas baseadas nas ciências, em contraposição às práticas mais empíricas dos artesãos. Os engenheiros desenvolvem aí um importante papel: são eles que fazem a ponte entre o conhecimento científico - e os desenvolvimentos tecnológicos de ponta - e os produtos na prateleira dos supermercados.

Apesar de opiniões contrárias, os desenvolvimentos científico e tecnológico seguem caminhos paralelos, pois o sucesso de um possibilita a concretização do outro. A ciência, através dos conhecimentos, permite a evolução da tecnologia e, reciprocamente, a tecnologia permite à ciência dar corpo às mais audaciosas idéias. Em termos práticos, podemos afirmar que ciência e tecnologia evoluem em paralelo, se inter-relacionando constantemente.

Para termos um ponto de apoio ao pensarmos a respeito desse assunto, podemos dizer que as pesquisas científica e tecnológica poderiam ser diferenciadas entre si basicamente pelas suas finalidades. Ou um pouco mais que isso: diferenciar ciência e tecnologia seria um exercício didático, com função de esclarecer o papel que desempenha a racionalidade humana na busca de soluções para os seus problemas. Até porque não podemos afirmar que uma pesquisa científica seja mais de caráter teórico e a tecnológica mais experimental. Existem pesquisas tecnológicas que durante o seu

desenvolvimento não saem do papel ou do computador. Assim como existem pesquisas tecnológicas que não chegam a resultados mais concretos do que um conjunto de idéias.

Mesmo assim, podemos reforçar essa diferenciação comparando a tecnologia a uma viagem com data e hora marcadas para a saída e a chegada, e com itinerário prefixado. Fazer ciência seria partir para uma viagem mais aventureira, onde a estrada vai sendo aberta segundo a necessidade, e a obtenção de um resultado diferente do esperado é perfeitamente cabível.

Além disso, podemos dizer que a ciência também se diferencia da tecnologia pelo seu público. A ciência se dirige diretamente aos pares que a julgam e que, chegando a um consenso, a transformam em verdade. A tecnologia se dirige a clientes - pessoas físicas, empresas ou à própria comunidade científica -, e a sua verdade consiste nas viabilidades técnica e econômica de um estudo.

Ciência e tecnologia se preocupam em obter soluções para problemas, oriundos de necessidades detectadas - criadas ou naturais -, usando para isso procedimentos semelhantes de trabalho. Mas em sua essência são diferentes os problemas abordados por elas. Os problemas científicos são cognitivos - a cognição diz respeito à aquisição de um conhecimento -, enquanto os tecnológicos são eminentemente práticos.

Existem pesquisas, entretanto, que são virtualmente impossíveis de serem assim diferenciadas, como aquelas que implicam estudos de supercondutores, plasma, genoma humano ou que analisam as adaptações de seres vivos a ambientes adversos, como o espaço extraterrestre. Nesses casos torna-se inclusive dúbia essa classificação, pois estaríamos trabalhando nas fronteiras dos conhecimentos científico e tecnológico.

ENSINO DE ENGENHARIA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

De que forma estudantes de engenharia podem contribuir para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia? Através de uma formação profissional consistente, de uma conscientização das necessidades da sociedade em que vive e de uma visão realística de uma perspectiva de futuro para a humanidade. Desenvolver confiança, interesse, trabalho em equipe, perseverança, bom senso e uma boa capacidade para solucionar problemas também é um bom caminho para isso. Além do mais, podem contribuir para esse desenvolvimento compreendendo de forma crítica o papel da ciência e da tecnologia perante a sociedade, e buscando desenvolver uma engenharia com cada vez maior embasamento científico.

Para isso não basta apenas aprender a teoria de como pesquisar ou projetar, ou apenas assimilar todos os conteúdos trabalhados durante o curso. Devemos também procurar criar condições que colaborem para a nossa própria evolução. Isso pode ser conseguido através da participação concreta no nosso processo educacional. Dessa forma, estaremos também contribuindo para o progresso da ciência, da tecnologia e, conseqüentemente, da própria sociedade.

MÉTODO DE PESQUISA

Para proceder a uma investigação são necessárias condições análogas às mencionadas como recomendáveis ao estudo. Em primeiro lugar, devemos estar imbuídos de um espírito favorável ao trabalho, que pode ser traduzido em atitudes ou disposição que, na maioria das vezes, se refletem em aspectos subjetivos. Essa característica, tal qual o ato de estudar, não é inata no pesquisador, não nasce com ele, devendo, portanto, ser aprendida.

O espírito científico - que é uma atitude psicológica favorável à pesquisa - deve vir acompanhado por um espírito crítico, inovador e isento de preconceitos. Mas não isento de emoções, senso crítico e analítico, pois estas são características humanas das quais não podemos nos privar ou desvencilhar.

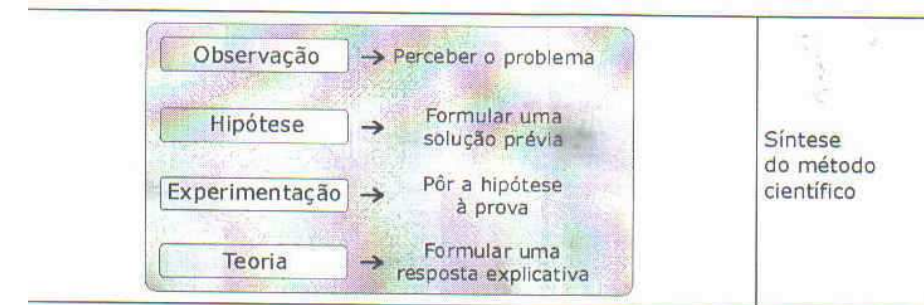
Porém isso não é tudo. Há a necessidade, ainda, da adoção de um método, isto é, de um conjunto ordenado de procedimentos que conduza os trabalhos de forma sistemática e criteriosa. O método é a lógica geral da investigação, é a estratégia de ação - como agir, pensar, fazer. Como tal, para cada pesquisa deve ser - ou pode ser - identificado um método apropriado. Resumidamente, método é a ordenação dos elementos de um processo para atingir um determinado fim.

Método é uma palavra derivada dos componentes gregos META, que significa "ao longo de" ou "ao largo de" e ODÓS, que significa "caminho", "via". Portanto, por MÉTODO podemos entender o "caminho ao longo do qual" podemos chegar a um ponto desejado.

Assim, ao ordenar o esforço mental, um método proporciona orientação numa pesquisa, resultando em economia de tempo e em maior racionalidade operativa. Além do mais, um método deve libertar o espírito de dispersões, tornando-o mais eficaz.

Embora se fale de um método *científico formal* - como uma espécie de roteiro para desenvolver um trabalho -, o fato é que há vários formatos de métodos científicos. O formato mais apropriado será definido pelo pesquisador para cada tipo de trabalho a ser desenvolvido. De qualquer forma, podemos falar em *método de pesquisa* como uma ação mais ampla, na qual

procedimentos previamente ordenados podem orientar o andamento das tarefas. Na área tecnológica, as orientações mais comumente encontradas dizem respeito ao que se convencionou chamar *método científico da ciência moderna*. Dele consistem procedimentos conforme esquematizados na figura abaixo.



Sendo uma pesquisa prescrita dessa forma, podemos também detectar uma forte semelhança entre os procedimentos necessários para realizarmos uma pesquisa científica ou um desenvolvimento tecnológico. Desde a atitude psicológica favorável até o próprio método de trabalho a ser empreendido, muitas semelhanças podem ser identificadas. Tantas são elas que mais uma vez lembramos a dificuldade de diferenciarmos uma da outra.

A organização das duas é análoga, e o pesquisador é quem escolherá a metodologia apropriada de acordo com o tema e os objetivos pretendidos. Acima de tudo, devemos planejar e aplicar um método coerente e eficaz, pois ele poderá ser o responsável pelo sucesso ou pelo fracasso do trabalho.

TIPOS DE CONHECIMENTO

Numa pesquisa estão presentes dois tipos de conhecimento. Em algum momento, usamos um conhecimento que podemos chamar de *sensível*, sendo este utilizado para a absorção ou internalização do saber. Num outro momento, usamos um conhecimento que podemos identificar como *intelectual*, sendo este empregado para o processamento das informações e para as reflexões necessárias. Aliás, estamos constante mente usando as duas formas de conhecimento para nos relacionarmos com o mundo à nossa volta - olhamos, percebemos, tocamos, cheiramos as coisas e as interpretamos, teorizamos sobre elas. Por exemplo, a cor, a consistência e o cheiro de uma iguaria de uma culinária exótica logo despertam em nós conjecturas a respeito do seu sabor.

O que significam estas duas formas de conhecimento?

Definindo o conhecer como uma relação que se estabelece entre o sujeito da ação - o pesquisador - e o objeto conhecido, podemos identificar assim estas duas formas de conhecimento:

Conhecimento sensível

Entendido como provocador de uma modificação no comportamento de um órgão corporal do sujeito que se apropria do conhecimento. Uma onda luminosa ou um som são percebidos pelo sujeito cognoscente - aquele que se apropria do conhecimento - através da sensibilização de órgãos apropriados. Percebemos a cor de uma peça de prata ou a rugosidade de uma pedra de basalto através de nossos sentidos.

É aquele que se dá quando o sujeito cognoscente se apropria de conceitos, princípios e leis. Ele depende do conhecimento sensível, mas o transcende. Com o intelecto podemos perceber mais profundamente a natureza das coisas, interpretando, por exemplo, a sua individualidade, temporalidade ou espacialidade. Com o conhecimento intelectual operamos racionalmente para conceber, julgar, raciocinar, elaborar visões de mundo.

PROCESSOS DO MÉTODO DE PESQUISA

A aplicação *de* um plano *de* ação consistente *e* realístico *é* sempre recomendável, pois, conforme deixa ver a história, muitos progressos da ciência e da tecnologia devem-se mais a ele *e a* uma equipe de trabalho do que a cérebros brilhantes. Porém, o plano de ação jamais poderá substituir completamente o talento *de* quem o usa, pois a reflexão *e a* criatividade do pesquisador sempre serão insubstituíveis.

Proceder a uma pesquisa científica ou tecnológica *é* realizar concretamente uma investigação previamente planejada *e* desenvolvida de acordo com metodologias apropriadas ao tema. Um método de trabalho *é* um conjunto ordenado de procedimentos - ou processos -, tomando como base principalmente o tipo de tarefa e os resultados pretendidos.

Dos processos a seguir apresentados, alguns ou todos podem ser empregados numa pesquisa, e não necessariamente naquela ordem.

Processos do método de pesquisa		
Observação	Pesquisa bibliográfica	
Hipótese	Experimentação	Indução
Dedução	Análise e síntese	Teoria

OBSERVAÇÃO, ù processo de observação consiste na aplicação dos sentidos para o exame cuidadoso *e* crítico de um fenômeno. Durante este processo, são registrados e analisados diferentes fatores *e* circunstâncias que parecem influenciar o fenômeno, sem nele interferir. São também examinadas as relações entre as diversas variáveis envolvidas, num contexto natural, não preparado pelo observador, embora escolhido e interpretado por ele. A observação situa-se normalmente na fase inicial de uma pesquisa, mas continua por todo o seu desenrolar.

A observação *é* algo mais que a mera percepção de fatos. No cotidiano das pessoas, ela *é* inteiramente passiva, assistemática *e* não-intencional. Como parte integrante de uma pesquisa, requer na verdade a intenção de conhecer *e* o interesse pelo que vamos observar, sendo, portanto, necessário termos conhecimentos prévios sobre o tema. Observar não *é* simplesmente ver, mas antes de tudo, vigilar, examinar minuciosamente.

PESQUISA BIBLIOGRÁFICA. Uma pesquisa nem sempre precisa ter como resultado final uma conclusão original. Ela pode também ser um resumo de assunto. Aliás, *é* esta a principal forma de pesquisa dos estudantes, que realizam este trabalho através de um procedimento de investigação denominado *pesquisa bibliográfica*.

Presente em praticamente todos os trabalhos - sejam eles científicos ou tecnológicos -, a pesquisa bibliográfica consiste na seleção, leitura e análise de trabalhos que tratam do assunto de interesse. Através desta pesquisa tomamos conhecimento do tema e verificamos o que já foi feito, na área, por outros investigadores.

Não devemos nos iludir julgando que este tipo de pesquisa seja menos importante do que outros, que envolvem diferentes processos de investigação. O que acontece, na realidade, *é* que grande parte das pesquisas, em qualquer área de conhecimento, *é* iniciada exatamente com uma pesquisa bibliográfica. Portanto, devemos aproveitar bem o tempo de formação para aprender, exercitar *e* aperfeiçoar este tipo de atividade.

Como normalmente - em função do volume - não podemos pretender realizar uma pesquisa bibliográfica completa, o mais acertado *é* fazer um trabalho baseado sob orientação de quem tem experiência no assunto. Além do mais, *é* muito mais realista uma seleção bibliográfica capaz de ser lida *e* analisada no tempo disponível.

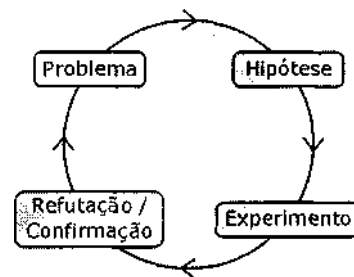
Essa atividade hoje está bastante facilitada com o advento da rede mundial de computadores, que torna disponível uma infinidade de novas opções. Podemos, através de computadores, acessar importantes bibliotecas

em todo o mundo, artigos de congressos, informações em centros de pesquisa. Mas é necessário um cuidado adicional com essa facilidade toda: não aceitar sem críticas qualquer informação que circule neste novo mundo da comunicação. Ela precisa ser checada, verificada e refletida. Não fazendo isso, podemos estar colhendo informações falsas, parciais ou truncadas que poderão ser extremamente prejudiciais ao nosso trabalho de pesquisa.

De qualquer forma, a pesquisa bibliográfica é de suma importância para o desenvolvimento de qualquer pesquisa. Através dela, os pesquisadores - baseados em seus procedimentos científicos ou tecnológicos - trabalham para o progresso da ciência e para o avanço das técnicas. O estudante, através desse importante processo de trabalho, treina passos no caminho da ciência, envidando esforços com caráter de redescoberta e de conquista para si próprio.

HIPÓTESE. Hipótese é uma suposição provisória, ou seja, é uma opinião prévia do pesquisador em relação à solução do problema proposto. Tem como finalidade fixar uma diretriz de ação, estabelecendo metas, elementos e idéias que orientem a pesquisa na direção da causa provável, ou que facilitem a sua compreensão e o seu desenvolvimento. É uma tentativa de resolver o problema.

Um exemplo: tentamos ligar o computador, mas ele não liga. Temos um problema em mãos, que pode ser assim formulado: por que o computador não funciona? Formulamos uma hipótese: não há energia elétrica na rede. Verificamos (experimentamos) a hipótese, conferindo se a rede está energizada. Se a hipótese for negada, formulamos outra - baseados em algum critério -, e a verificamos, até encontrar uma solução.



Os passos seguintes da pesquisa podem confirmar ou negar as hipóteses iniciais, mas até lá elas já terão ao menos cumprido a sua função orientadora.

Uma hipótese estabelece uma relação de causa e efeito entre alguns fenômenos, podendo se dar por dedução de resultados já conhecidos ou pela experiência do pesquisador.

EXPERIMENTAÇÃO. Como nem sempre é possível observar fenômenos, seja porque eles acontecem com pouca frequência ou porque as condições nas quais eles ocorrem não oferecem as variações e a flexibilidade desejáveis, em vários casos recorremos à experimentação.



Experimentos em laboratório

A experimentação é um processo muito usado na engenharia. Consiste, basicamente, num conjunto de procedimentos práticos aplicados com a finalidade de confirmar uma hipótese, obter dados ou testar sistemas. Difere da observação principalmente pelo fato de que neste processo são alteradas, de forma intencional, as variáveis envolvidas no problema para verificar as conseqüências ou as relações existentes entre elas.

Fazer uma experimentação significa reproduzir fenômenos em condições previamente estabelecidas, com controle de variáveis. Uma experiência - científica ou tecnológica - deve ser realizada segundo um planejamento prévio e nunca feita a esmo, na tentativa de descobrir aleatoriamente algo que não se sabe o que é.

Para realizar uma experimentação eficaz devemos tomar alguns cuidados básicos, tais como:

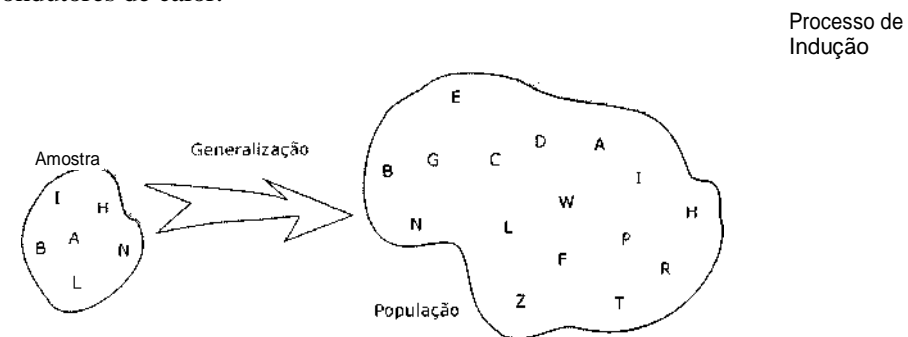
- **ESCOLHA DA APARELHAGEM.** Os equipamentos selecionados devem ser adequados ao tipo de trabalho a ser desenvolvido, e também ter resolução - menor unidade que pode ser medida com o aparelho - e precisão - porcentagem de erro provável - adequadas. A conveniência de utilização, o uso correto e o custo dos equipamentos também são fatores importantes a considerar.
- **MÉTODO DE ENSAIO.** Os resultados obtidos em ensaios distintos sobre um mesmo tema devem ser comparáveis, ou seja, a experiência deve ser realizada de forma a permitir a repetição dos resultados em qualquer lugar ou época. Numa pesquisa devemos cuidar especial-

mente em distinguir quais são as variáveis desprezáveis e quais as relevantes nos ensaios, fazendo as simplificações possíveis e controlando os parâmetros efetivamente mais significativos.

INDUÇÃO. A indução é uma forma de raciocínio analítico ou de argumentação, consistindo num dos principais artifícios do experimentalismo moderno.

É um processo através do qual se parte de verdades particulares para concluir verdades universais, tendo como base a generalização de propriedades comuns a um determinado número de casos observados. É um processo ampliador que normalmente culmina numa lei. Lei é uma proposição que estabelece uma relação constante entre as variáveis presentes num fenômeno, enunciada após a confirmação dos fatos mediante a experimentação.

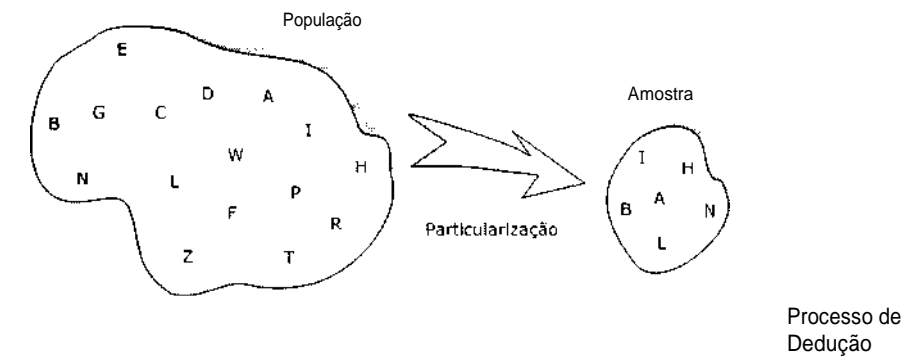
Um exemplo de raciocínio indutivo, que pode auxiliar no seu entendimento, é o seguinte: foi constatado que os materiais A, B e C, todos metais, são bons condutores de calor. Ora, se A, B e C são bons condutores de calor e são metais, podemos concluir que todos os metais são bons condutores de calor.



É importante atentar para o fato de que as generalizações das relações devem ser compatíveis com os fenômenos estudados, e bem fundamentadas, para que não cheguemos a conclusões falsas.

DEDUÇÃO. O processo de dedução - raciocínio sintético ou silogismo - parte do geral para o particular, explicitando verdades particulares contidas em verdades universais.

Na ciência experimental, a dedução ocorre principalmente na fase final do processo de análise. Ao examinar uma estrutura com problemas, um engenheiro principia com as induções do diagnóstico. Após o diagnóstico, conclui dedutivamente sobre qual a solução a adotar.



Um exemplo de processo de dedução é o seguinte: como sabemos que os metais são condutores de eletricidade, e sendo o cobre um metal, podemos deduzir que ele também conduz eletricidade.

Tal qual a indução, a dedução é uma forma de raciocínio ou de argumentação, sendo portanto uma forma de reflexão, e não apenas de pensamento. O pensamento é dispersivo e espontâneo, enquanto a reflexão requer esforço e concentração intencionais.

ANÁLISE e SÍNTESE. A análise é um processo metódico de tratamento de um problema, que implica a decomposição de um todo em suas partes. Ou seja, é a separação do objeto de estudo em seus elementos constituintes. Dessa forma, podemos estudar mais fácil e detalhadamente os seus elementos componentes, e conhecer melhor as relações de causalidade.

Com esse procedimento a pesquisa fica facilitada, pois é muito mais fácil trabalhar com tópicos mais restritos do que com assuntos mais complexos. Neste último caso, a inter-relação entre as diversas variáveis envolvidas, e as muitas vezes complexas relações de causa e efeito, estabelecem fatores complicativos adicionais.

A síntese é a complementação da análise, sendo a composição geral das conclusões desta. Sintetizar consiste em reconstruir ou recompor os tópicos analisados numa seqüência compacta e lógica.

Devemos, no entanto, ter um cuidado adicional na hora da reconstituição do todo, para que não façamos um somatório simplista dos fenômenos analisados. As decorrências e implicações das partes de um problema devem ser pensadas com crítica e ponderação, tendo como base estudos de suas conseqüências globais.

Análise e síntese são processos essenciais no estudo de problemas complexos e estão quase sempre juntas, presentes numa investigação. São processos complementares, sendo a primeira sempre precedente, e a segunda, conclusão.



TEORIA. O termo teoria não é aqui empregado no sentido de oposição à *prática*, mas para designar uma construção intelectual resultante do trabalho filosófico ou científico.

Teoria é um conjunto de princípios fundamentais que procura explicar, elucidar, interpretar ou unificar um dado domínio de fenômenos ou de conhecimentos. Estabelecer uma teoria implica necessariamente formular hipóteses dos fenômenos analisados. Assim, uma teoria só passa a fazer parte dos conhecimentos aceitos quando for comprovada a sua sustentação, de forma direta ou indireta.

As teorias científicas, podemos dizer, são explicativas, conforme pode ser deduzido pelos seguintes exemplos: teoria da evolução, teoria da relatividade, teoria dos gases perfeitos, teoria do *big bang*, teoria dos quanta; cada uma delas procura explicar um fenômeno ou evento.

EXEMPLO DE UM TRABALHO DE ENGENHARIA

Segue agora a descrição de um problema típico de engenharia - que envolve alguns dos processos acima apresentados. Na figura a seguir está esquematizado o caso de um galpão - com cobertura metálica - que teria ruído sob a ação de uma forte rajada de vento. Chamado a estudar o caso, para identificar a causa do colapso e emitir um laudo técnico, um engenheiro poderia ter assumido posturas como as aqui apresentadas.

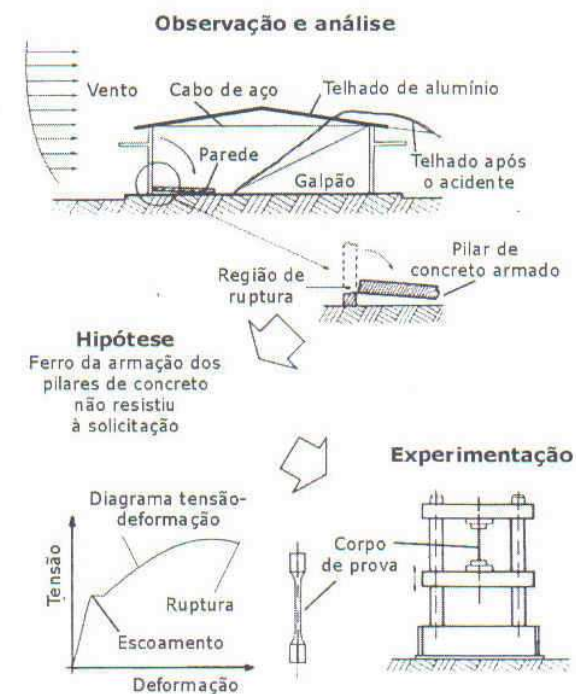
Num primeiro momento, ele observaria a estrutura acidentada, analisando as regiões de ruptura, a direção de incidência do vento, a geometria geral da construção e os materiais empregados na obra, dentre outros aspectos.

Uma possibilidade seria imaginar que, em função de suas observações, ele formulou a hipótese de que a ruptura dos pilares de sustentação teria

ocorrido com uma carga de vento inferior à estabelecida em normas oficiais. Ao conferir que o cálculo estrutural do galpão foi bem realizado, o engenheiro formulou a seguinte hipótese mais específica para justificar o colapso ocorrido: o ferro utilizado na armação do concreto armado é de baixa qualidade.

Para verificar esta hipótese, foram retirados corpos de prova - pedaços de ferro da própria estrutura sinistrada - para a realização de experiências em laboratório.

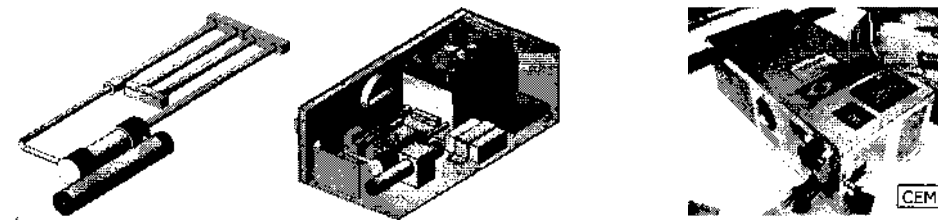
Um desses testes, para verificar a máxima resistência de ruptura do material, foi ensaiar os corpos de prova em uma máquina de tração. Nesta máquina, os corpos de prova são tracionados até a ruptura, sendo traçados, simultaneamente, diagramas tensão x deformação. Diagramas como esses permitem conhecer o comportamento do material sob carga crescente. De posse desses dados, o engenheiro pôde conferir a veracidade da sua hipótese. Comprovada a hipótese, foi emitido um laudo técnico apresentando as causas do colapso do galpão.



Exemplo de um trabalho de engenharia

EXEMPLO DE UM TRABALHO DE PESQUISA

Está mostrado na figura abaixo um dispositivo experimental desenvolvido para o controle térmico de componentes eletrônicos operando em ambiente de microgravidade. O experimento é um sistema bifásico de bombeamento capilar que utilizou água como fluido de trabalho. Foi aplicado calor no evaporador capilar por meio de resistências elétricas, tendo este sido dissipado no condensador com o auxílio de ventiladores. O sistema possui um reservatório para o controle da temperatura de operação no evaporador capilar. As temperaturas foram medidas com o auxílio de termopares estrategicamente posicionados de forma a propiciar a análise do comportamento termodinâmico do sistema. Um microcontrolador - PC-104 - foi utilizado para aquisição de sinais e controle das potências aplicadas ao evaporador e reservatório. Em março de 2006, este experimento foi testado a bordo da estação espacial internacional - *International Space Station (ISS)* - e foi qualificado para uso espacial.²



Sistema bifásico de bombeamento capilar, testado em março de 2006 a bordo da estação espacial internacional

A descrição sucinta do experimento acima, apesar de sugerir alguma complexidade, não tem por intuito cobrir de mistério o mundo científico, insinuando que uma pesquisa seja algo inatingível. Ao contrário, a grande mensagem do texto é mostrar que cada pesquisa tem sua singularidade e que, portanto, para realizá-la, o pesquisador tem de dominar terminologias, saber operar equipamentos específicos, consultar artigos pertinentes ao tema, enfim, deve especializar-se em determinada área.

A comunicação científica é quase sempre narrada em termos muitas vezes complexos, específicos, muito particulares, que são desconhecidos do grande público - inclusive por profissionais experientes. Mas isso não deve ser motivo de preocupação, pois, da mesma maneira como acontece com a

Cortesia: Laboratório de Combustão e Engenharia de Sistemas Térmicos (LabCET), EMC/UFSC.

leitura de qualquer texto, é necessário um bom conhecimento da linguagem técnica utilizada. Até porque, muitas vezes, esses códigos só são mesmo compreendidos por especialistas no assunto.

Tanto quanto para as pesquisas científica e tecnológica, para vários trabalhos comuns da engenharia a experimentação é recurso fundamental. Portanto, treinar esta tarefa é essencial para o sucesso profissional.

ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

Não há mais quem possa defender a idéia de que o desenvolvimento da ciência e da tecnologia depende estritamente do trabalho de gênios. Houve, sim, uma época em que isso poderia ter aceitação. Mas o fato é que mesmo os grandes gênios da humanidade sempre estiveram assessorados e acompanhados por equipes de abnegados auxiliares que os ajudavam a dar corpo às suas criações; mesmo que fosse apenas contradizendo suas idéias, provocando assim motivação para sobrepor as barreiras que se apresentavam. Mas hoje já está sacramentada a idéia de que os desenvolvimentos são fortemente dependentes de um método de trabalho - em especial a tecnologia - e da colaboração entre grupos de pesquisadores.

A organização de uma pesquisa começa pela escolha do tema, que não nasce ao acaso: é fruto de um processo de seleção e de maturação que passa por muita leitura, estudo e reflexão. Essa definição também pode ser resultado da sugestão de um orientador - como acontece em dissertações de mestrado ou teses de doutorado -, sendo ainda o processo corriqueiro de aparecimento de assuntos de trabalhos escolares. Mas é esperável que a experiência do pesquisador o leve a um amadurecimento científico-tecnológico tal que, a partir de determinado momento, o capacite a fazer abordagens consistentes em determinadas áreas de conhecimento.

Selecionado o assunto, devemos partir para a sua plena compreensão, que só estará assegurada quando formos capazes de explicá-lo claramente a outros, exemplificar com casos particulares, apresentar possíveis aplicações dos resultados, desenvolver o tema e analisá-lo com propriedade e fluidez.

Um bom domínio do assunto pode ser conseguido através de pesquisas bibliográficas - hoje bastante facilitadas com o advento da internet -, onde temos oportunidade de fazer os primeiros questionamentos, recortes e esclarecimentos do trabalho.

Ato contínuo, o assunto deve ser convertido em problema, porque uma pesquisa só tem sentido quando temos um problema e partimos à procura de uma solução para ele. Antes de estar formulado o problema não há o que

solucionar. E talvez seja mais importante saber formular bem um problema do que resolvê-lo, até porque encontrar soluções para um problema mal formulado pode ser um trabalho completamente inútil.

Vencidas essas etapas iniciais, partimos para a confecção do plano de pesquisa propriamente dita, que, logicamente, não poderá ser rígido, mas deverá admitir alterações de acordo com o andamento dos trabalhos.

De uma forma geral, uma pesquisa segue os seguintes passos, em alguns casos nesta ordem, em outros, numa seqüência diferente:

- definição do tema;
- pesquisa bibliográfica, para verificar quais estudos foram realizados sobre o assunto e para colher dados;
- delimitação do assunto, com a definição do enfoque a ser adotado;
- definição dos objetivos a serem alcançados;
- escolha do título da pesquisa;
- justificativa da pesquisa, indicando as contribuições que o trabalho poderá trazer;
- formulação do problema;
- enunciado de hipóteses;
- definição dos instrumentos necessários aos trabalhos;
- execução do plano de trabalho, que determine a forma da realização da pesquisa e a coleta e análise dos dados;
- definição do cronograma de desenvolvimento dos trabalhos, estabelecendo o orçamento necessário para a provisão de despesas com pessoal, materiais, serviços etc.;
- realização do trabalho propriamente dito;
- discussão dos resultados obtidos;
- conclusão e observações sobre o projeto;
- confecção de relatório.

Devemos salientar ainda que os passos acima descritos nem sempre estarão presentes numa pesquisa. Cabe ao pesquisador a decisão sobre quais deles - e em que ordem - deverão aparecer.

TARIFAS PARA COMPLEMENTAÇÃO DO APRENDIZADO

Verifique em diferentes fontes como estão definidos os termos *ciência e tecnologia*. Troque idéias sobre esses conceitos com seus colegas. Escreva agora a sua percepção sobre estes temas.

Junto com um ou dois colegas, converse com professores de sua escola que estejam desenvolvendo alguma pesquisa. Procure saber quais são os seus objetivos, quem os financia, quais são os seus métodos de pesquisa e como eles registram os resultados obtidos.

Organize um pequeno seminário junto com seus colegas de turma para apresentar e discutir exemplos de trabalhos de engenharia referentes à sua especialidade (elétrica, mecânica, química, florestal, metalurgia...). Tome como referência o exemplo mostrado neste capítulo, que contém um caso típico da Engenharia Civil.

Procure exemplos, de preferência em jornais e revistas, que possam ilustrar cada um dos processos de um método de pesquisa (observação, hipótese, experimentação...).

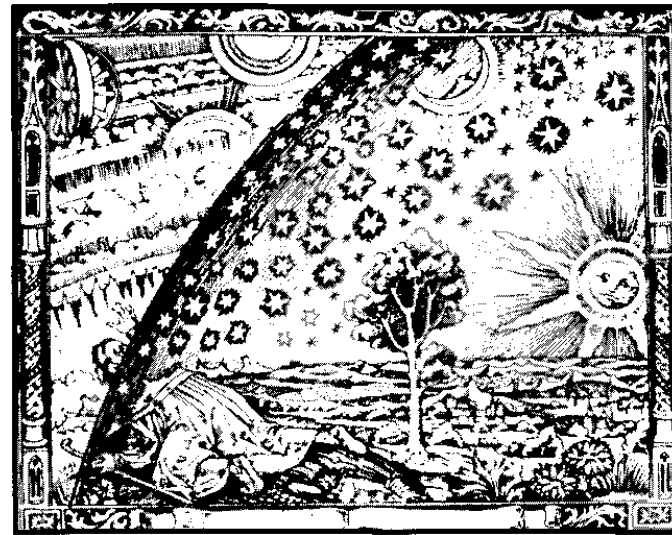
Ciência e tecnologia têm uma forte ligação com as políticas de desenvolvimento de um país. Procure saber, através de leituras, conversas, palestras e outros mecanismos, como se encontra este aspecto no Brasil de hoje. Depois, descreva tal situação com pelo menos 300 palavras.

Depois de uma leitura atenta, procure estabelecer no mínimo dez atividades que complementem o aprendizado deste capítulo.

Através de pesquisas em bibliotecas e na internet, selecione ao menos cinco livros que, na sua opinião, possam aprofundar as questões tratadas neste capítulo. Discuta com colegas ou com professores a pertinência da sua proposta.

Capítulo 6

Criatividade



A ARTE DA ENGENHARIA

A visão que o público leigo tem dos vários ramos profissionais é normalmente bastante estereotipada. Com a engenharia não é diferente. De forma geral, o engenheiro é tido como um indivíduo frio e calculista, dedicado apenas a assuntos técnicos e a problemas práticos específicos. Imaginam que eles pareçam sérios, atarefados, fazem cálculos precisos o dia inteiro e expõem soluções miraculosas para qualquer problema que lhes é apresentado. O seu trabalho dependeria estritamente de conhecimentos científicos formais confiáveis e já consagrados e de desenvolvimentos tecnológicos dominados. Muitos também imaginam que para todos os problemas da engenharia existem técnicas de solução próprias e fórmulas prontas que, convenientemente aplicadas, resolvem qualquer questão.

Que o grande público tenha pontos de vista equivocados a respeito das profissões é compreensível, afinal são tantos os ramos profissionais e tão particulares os meandros de cada um deles que seria demais imaginar um leigo dominando em profundidade todos eles. Mas estudantes de engenharia não podem se deixar levar por estas visões estereotipadas e falsas. Nem podem, de forma nenhuma - concordando com elas ou não sabendo submetê-las a reflexões críticas sérias -, perpetuar visões desse tipo.

O engenheiro é um profissional criativo, usa e precisa usar criatividade para resolver seus problemas técnicos - e não se pode imaginar que a criatividade dependa apenas de estudos científicos. Além do mais, seu trabalho cotidiano nem sempre está exclusivamente calcado em aspectos puramente técnicos, em cálculos precisos ou mesmo em conceitos científicos complexos e sacramentados. É sobre isso que vamos tratar neste capítulo.

Mesmo que olhemos pelo lado técnico da profissão, logo perceberemos que, junto com os conhecimentos científicos e tecnológicos, aparecem outras questões que definem a ação profissional. Se é certo que podemos dizer que o engenheiro aplica conhecimentos específicos à criação de estruturas, dispositivos, processos e informações, não podemos esquecer que o seu trabalho ultrapassa esse âmbito particular. Afinal, a sua ação visa à conversão de recursos disponíveis na natureza em formas adequadas ao atendimento de necessidades humanas, e essa característica amplia o leque de possibilidades e de exigências profissionais. A engenharia é uma mescla complexa e sutil de ciência, técnica, arte, experiência, bom senso...

Engenharia = ciência + técnica + arte + experiência + bom senso

Há várias maneiras de aplicar isso que chamamos de *arte*, essa coisa que depende de inventividade, percepção individual, sensibilidade, intuição, motivação, ação. Há inclusive técnicas consagradas que ajudam a liberação ou o desenvolvimento do lado artístico, aquilo que costumamos chamar *criatividade*. Podemos resumir assim: para podermos solucionar de forma adequada as nossas questões técnicas, devemos ter quantidade, qualidade e diversidade de idéias úteis, e isso também pode ser conseguido com esforço, força de vontade e a aplicação de alguns procedimentos técnicos. Para a prática da engenharia ainda são necessários *experiência* - o contato com o mundo profissional é essencial para o desenvolvimento de uma boa engenharia - e *bom senso*, essa coisa etérea que pode significar a aplicação positiva da razão e do raciocínio à vida prática.

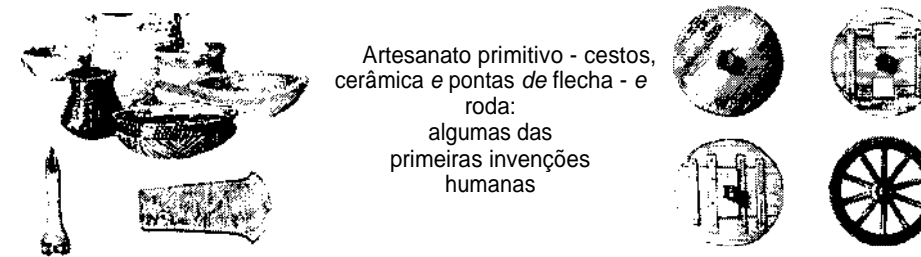
Criatividade = quantidade + qualidade + diversidade de idéias

A engenharia moderna depende cada vez mais dos conhecimentos científicos e dos desenvolvimentos tecnológicos. Os cursos de engenharia, pós-graduações, seminários, congressos e feiras estão aí para confirmar esta idéia. E quem quiser ser reconhecido como engenheiro deve buscar com afinco dominar técnicas, processos, conceitos e teorias de sua área de atuação. Porém a engenharia jamais vai prescindir do empirismo e, principalmente, de uma característica altamente desejável para um bom desempenho profissional: a criatividade.

O QUE É CRIATIVIDADE

Definir criatividade não é tarefa simples. Mas podemos adiantar que criatividade é uma propriedade bem humana e que todos possuem a capacidade de desenvolver o seu potencial criativo.

O que é criatividade? Quem pode ser considerado criativo? De forma resumida, podemos dizer que a criatividade pode ser encontrada nas pessoas que geram idéias calcadas em características tais como novidade, utilidade e simplicidade. Uma pessoa criativa também é aquela distinguida pela capacidade de sintetizar novas combinações de idéias e conceitos entre formas comuns e usuais. Seria como olhar para a mesma coisa que os demais olham e ver algo diferente, visualizá-la sob outro ponto de vista, num outro contexto, desempenhando uma nova função.



Talvez seja exatamente quando estamos preocupados em conceber soluções para os nossos problemas que as idéias afloram de forma mais significativa. É neste momento que o engenheiro deve desenvolver e liberar a sua criatividade de forma mais intensa, para poder gerar quantidade, qualidade e diversidade de soluções. Neste contexto - durante o desenvolvimento de um projeto -, uma etapa em que a criatividade é particularmente importante é a fase da concepção de soluções, pois nesse momento quantidade, qualidade e diversidade de idéias serão de grande utilidade.

Entretanto, não obstante toda a importância da criatividade para a engenharia, este assunto raramente é tratado nos cursos formais com a ênfase merecida. Mas não devemos esmorecer diante desse quadro, pois é importante sabermos que o bom desempenho na vida profissional dependerá muito dessa habilidade. Estarmos motivados para o aprendizado, exercitar constantemente a imaginação e nutrir uma certa dose de inconformismo com a situação atual fazem parte do conjunto-motor que aciona a busca de novas soluções.

Podemos partir de alguns princípios: a) criatividade pode se entendida como a habilidade de criar idéias; b) criatividade- pode ser aprendida e aperfeiçoada e c) uma forma de desenvolvermos o nosso potencial criativo é conhecer as barreiras que o afetam - para tentar evitá-las - e aplicar técnicas reconhecidamente eficazes para ativá-lo. Além disso, saber como funciona o processo criativo também ajuda a liberar a criatividade. Nos próximos itens vamos discutir um pouco estas questões.

AS BASES DA CRIATIVIDADE

Há um mito popular que diz que as idéias criativas surgem rapidamente e com espontaneidade. Elas apareceriam como um raio, iluminando e energizando a mente de algumas pessoas privilegiadas. Assim teriam surgido grandes invenções, obras-de-arte, descobertas científicas, idéias geniais.

Não é bem assim. Salvo raras exceções, as idéias não aparecem apenas de lampejos mágicos e nem muito menos são privilégios de uns poucos, que já teriam nascido com algum dom particular para inovar. Ativar o cérebro na busca de idéias inovadoras: esta *parece* ser a chave que abre as portas do mundo criativo!



Michelangelo (1475-1564) e uma de suas inúmeras obras - A criação de Adão, parte dos afrescos da Capela Sistina -, grande criação da inventividade humana



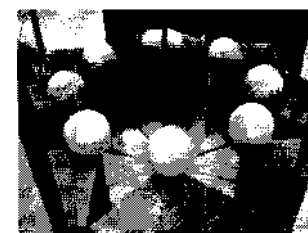
Muitos aspectos têm relação direta com o grau de criatividade de uma pessoa. Identificá-los e procurar ampliar as suas próprias fronteiras é um excelente início para desenvolver a capacidade criativa. Em linhas gerais, podemos identificar quatro desses aspectos: conhecimento, esforço exercido, aptidão e método empregado.

Fatores que influenciam a criatividade

Conhecimento Esforço exercido Aptidão Método empregado

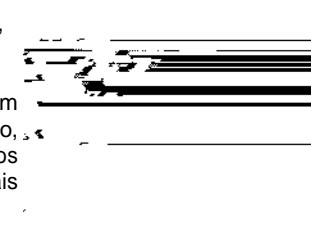
CONHECIMENTOS. Os conhecimentos constituem uma das mais significativas bases para a geração de soluções. Quanto maior o acervo de conhecimentos, mais ampla será a fonte de informações; dessa forma, maiores serão as nossas chances de gerar idéias.

Dentre os conhecimentos que o engenheiro deve possuir, os mais importantes para o processo do projeto são os relacionados com sua formação técnica. Mas nem todas as soluções de problemas de engenharia estão baseadas apenas nos aspectos técnicos. É comum que os problemas envolvam assuntos, por exemplo, das áreas de economia, ecologia, administração, direito... Por isso, um ponto essencial para a criação é termos domínio de conhecimentos das mais diversas áreas, pois, quanto mais amplo for o volume de conhecimentos, maior a bagagem de matéria-prima para gerar idéias. Usando uma metáfora, é como se a nossa mente fosse um calidoscópio: quanto mais elementos tivermos à disposição, mais combinações de imagens podemos obter



Imagens de um calidoscópio, com dois elementos

Imagens de um calidoscópio, com vários elementos iguais



Fazendo um paralelo entre um engenheiro e um marceneiro, poderíamos associar os conhecimentos daquele ao quadro de ferramentas deste. Quanto mais ferramentas estiverem disponíveis no quadro - e melhor soubermos usá-las - mais condições teremos para realizar um bom trabalho.

ESFORÇO EXERCIDO. Apenas com a aplicação do esforço pessoal é difícil obter boas soluções. Entretanto, este particular poderá complementar as demais características. A perseverança é um fator decisivo no processo de projeto, pois não podemos sucumbir ao primeiro obstáculo. Prosseguir no trabalho enquanto divisamos possibilidade de sucesso é uma *das* atitudes mais acertadas. Devemos lembrar que qualquer pessoa pode aumentar o seu esforço num trabalho até quando quiser.

Conta-se que Thomas Alva Edison (1847-1931), quando já havia realizado cerca de setecentos experimentos, na tentativa de obter a lâmpada de iluminação elétrica, teria sido aconselhado por um dos seus auxiliares a desistir, pois julgava já ter sido provada a sua inviabilidade. Afinal, Edison estava esgotado, financeiramente abalado e as possibilidades de êxito pareciam cada vez mais remotas. Centenas de fracassos era uma dose excessiva de frustrações. Ouvindo tal conselho, o inventor teria dito que estava no caminho certo, pois já sabia centenas de formas de não se construir um filamento incandescente duradouro. Ele imaginava que, portanto, já estava bastante perto da solução. Aliás, dizia ele que "gênio é 1% de inspiração e 99% de transpiração".



Thomas Alva Edison e duas de suas 1.093 patentes: a primeira lâmpada de filamento incandescente duradouro, produzida em 1879, e o fonógrafo (1877)

APTIDÃO. Embora seja controverso afirmar que determinadas pessoas sejam "talhadas" para alguma profissão, é mais ou menos um consenso afirmar que umas parecem ter mais aptidão que outras para certas atividades -atletismo, música ou vendas, por exemplo. Apesar disso, podemos partir da premissa de que as aptidões de cada um são características que têm íntima relação com a formação educacional, com a cultura em que está inserido, de aspectos gerais de sua educação familiar.



Atleta numa pista de patinação e Wolfgang Amadeus Mozart (1756-1791) - um dos maiores músicos de todos os tempos. Atletismo e música: duas atividades que também exigem aptidão e treinamento

O tipo de educação - aqui entendida no seu sentido mais amplo - que temos desde a infância certamente é um fator primordial que direciona o gosto, a sensibilidade e a destreza que adquirimos pelas diversas atividades. Quem atua num campo em que tem "reconhecida aptidão", ótimo, pois isso poderá ter reflexos excelentes no seu trabalho. Se alguém, por gostar de determinada área, sempre se colocou como observador atento dos seus respectivos processos de solução, certamente, mesmo sem alguns conhecimentos científicos para explicar o porquê do acontecimento de certos fenômenos, poderá fazer uso de seus princípios para solucionar problemas em que eles aparecem.

Um pedreiro, quando precisa nivelar os azulejos numa parede, usa o princípio dos vasos comunicantes, provavelmente sem saber quais os fenômenos físicos envolvidos no processo. Se esse indivíduo nunca tivesse se importado em observar outras pessoas trabalhando no seu campo de atividade, dificilmente poderia usar essa idéia para solucionar seu problema. A aptidão tem muito a ver com o aprendizado empírico.

MÉTODO EMPREGADO. Um método é um caminho ao longo do qual podemos chegar ao ponto desejado. Isso implica intencionalidade e movimento, características que evidenciam o caráter dinâmico de um método. No capítulo referente à pesquisa tecnológica é abordada a questão referente à metodologia da pesquisa. Neste momento, basta lembrarmos que é importante o emprego de um método na procura de soluções, pois isso pode auxiliar em muito a criatividade, despertando e sistematizando a busca e economizando tempo com a eliminação de tarefas desnecessárias. Um método

também auxilia a busca em fontes de consulta - livros, revistas, jornais, catálogos, internet etc. -, realimentando o acervo de conhecimentos do profissional.



René Descartes (1596-1650), considerado um dos pais da filosofia moderna, publicou, em 1637, como prefácio de uma obra, o *Discurso sobre o método*

O PROCESSO CRIATIVO

A maturação de idéias é uma excelente ferramenta para melhorar a capacidade criativa. Isso acontece porque normalmente uma idéia, no começo, é construída de forma superficial, tendo-se dela apenas uma definição vaga ou uma imagem parcial; somente após uma certa dose de maturação e reconstrução é que ela se torna clara e bem definida.

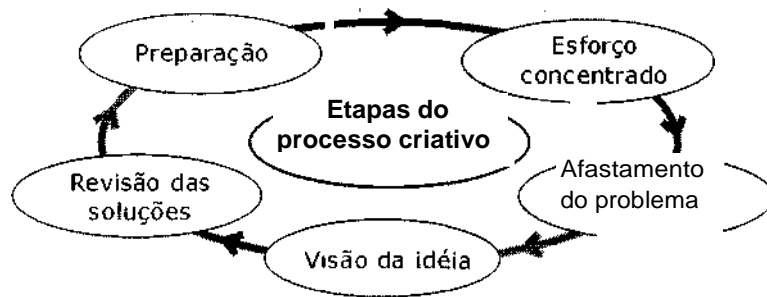
O fato é que muitas das soluções mais criativas surgem por meio de um processo lento e intencional, que pode ser cultivado e aprimorado pelo estudo e pela prática. Entretanto, mesmo que técnicas específicas sejam utilizadas para ativar o processo criativo, as idéias não surgem apenas como resultado do esforço concentrado, da capacidade que temos de nos dedicarmos a um trabalho ou do emprego de técnicas eficientes. Em muitas situações, há a necessidade de um afastamento do problema para um descanso mental e, em seguida, uma retornada dos trabalhos. Isso às vezes é necessário até para evitar a saturação do pensamento, o que pode turvar a visão de uma solução. Surgida a idéia, devemos revisá-la, para permitir generalizações, avaliações dos resultados e o seu aprimoramento.

Durante todo esse processo, um bom hábito é anotar as idéias desenvolvidas. Em primeiro lugar porque idéias não registradas perdem-se com facilidade, e, uma vez esquecidas, dificilmente podem ser recuperadas. Em segundo lugar, porque anotações podem ser de extrema utilidade para novos estudos, principalmente quando constatamos que apenas um ponto de partida pode desencadear toda uma outra linha de raciocínio.

Em todos os esforços feitos para gerar idéias é importante o registro. Uma idéia é algo transitório; outros pensamentos tomam-lhe rapidamente o

lugar. Acontece com certa freqüência de nos entusiasmos com uma nova idéia e começamos logo a procurar possíveis aplicações, ou detalhar algumas de suas características, esquecendo a idéia original.

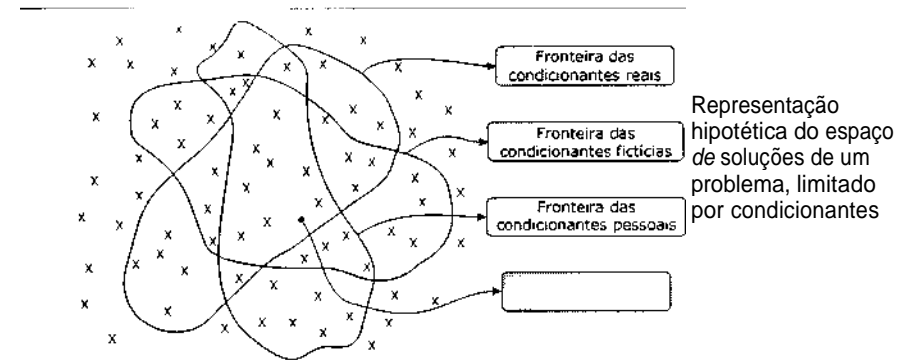
E fundamental, portanto, estarmos atentos à rapidez com que costumamos esquecer das coisas. Após algum tempo dominados pelo valor de uma idéia, pensando em suas possíveis aplicações, podemos esquecê-la momentaneamente. Quando tentamos recuperá-la, se não a registramos, tudo que lembramos dela são, muitas vezes, apenas traços vagos. O mais importante, a própria idéia, desapareceu. Quem já passou por essa experiência e não quer que ela se repita sabe muito bem que é sempre bom estar de posse de um bloco de notas e um lápis, para registrar a criação tão logo ela ocorra.



Em linhas gerais, podemos sintetizar o processo criativo através de alguns passos: preparação, esforço concentrado, afastamento do problema, visão da idéia, revisão das soluções.

ESPAÇO DE SOLUÇÕES DE UM PROBLEMA

Imaginemos que o campo de possíveis soluções de um problema pudesse ser representado através de uma figura. Nessa figura, linhas fechadas representariam fronteiras limitando um determinado volume de soluções possíveis para um dado problema, que obedeceriam a determinados condicionantes. Alguns pontos representariam soluções particulares para esse problema. Não que as soluções estejam já prontas em algum lugar, esperando para serem "capturadas", "descobertas". Esta representação que estamos propondo trata-se, é lógico, apenas de um exercício de imaginação, para nos ajudar a pensar sobre o assunto.



Não deve ser difícil perceber que nem todas as soluções - neste nosso exercício - são possíveis num dado momento. Entendendo que esta figura represente a situação posta, podemos intuir que algumas restrições de fato limitam a área real de trabalho, donde podemos concluir que o universo efetivo de soluções disponíveis, para aquele problema hipotético, fica delimitado pela área de interseção das fronteiras ali representadas. Isso acontece porque qualquer solução que esteja fora do campo de conhecimentos do engenheiro, que não obedeça às condicionantes reais impostas ao problema ou ainda que, por algum outro motivo qualquer, seja sumariamente desconsiderada, não será especificada.

Da representação desta figura podemos concluir que o espaço de trabalho é geralmente amplo e que, para que possamos "alcançar" muitas das respostas, devemos dilatar tanto quanto possível as fronteiras que limitam o campo de pesquisa por soluções.

Porém isso nem sempre é fácil. Aumentar o campo de conhecimentos é uma questão muito pessoal e normalmente depende mais de força de vontade e decisão próprias do que de fatores externos. Qualquer pessoa pode aumentar o seu nível de conhecimentos até quanto lhe for conveniente. Mas existem algumas restrições, que têm influência muito forte no espaço de soluções, que nem sempre são de responsabilidade direta do engenheiro. Algumas dessas restrições são comentadas a seguir.

Uma das fronteiras indicadas na figura - a das condicionantes reais - resulta geralmente da fixação das condições de entrada e de saída do problema. Exemplo: no projeto de uma máquina de lavar roupas, o estado inicial pode ser representado pelas roupas sujas e o estado final, pelas roupas limpas. Uma condicionante inescapável, sem dúvida, é remover a sujeira das roupas.

Há outros tipos de condicionantes, que também são reais, das quais o engenheiro toma conhecimento através de administradores e clientes, provenientes, principalmente, das condições de mercado. Como exemplo podemos citar as dimensões da máquina ou o seu preço de venda, que devem ser função das possibilidades de comercialização. No caso do eletrodoméstico citado, não adiantaria fabricá-lo, mesmo que pudesse apresentar alguma vantagem em termos de eficiência ou avanço tecnológico, com dimensões acima das impostas pelos clientes e pelo mercado comprador, pois as vendas seriam, fatalmente, fracassadas. Ninguém compraria um equipamento que não coubesse no seu local de utilização ou que não fosse compatível com seu orçamento.

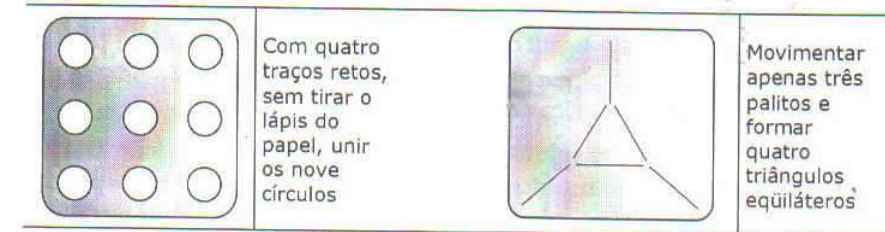
Entretanto, nem todas as condicionantes impostas devem ser automaticamente aceitas. Algumas vezes detectamos a incompatibilidade ou a inconsistência de algumas delas. Dentro de um determinado domínio de conhecimentos pessoais e de um conjunto de preceitos éticos, devemos assumir a solução mais viável e coerente; às vezes isso pode provocar, inclusive, atritos com a hierarquia da empresa. Portanto, devemos estar preparados para defender com firmeza as nossas posições profissionais, pois o engenheiro deve ter a responsabilidade profissional de verificar se as condicionantes impostas são cabíveis ou inaceitáveis.

Imaginemos, por exemplo, um engenheiro de uma empresa que tenha recebido a incumbência de projetar e construir um queimador industrial -para geração de calor - capaz de ser operado com qualquer tipo de resíduos sólidos e que, ainda, tenha um custo de fabricação 50% menor do que os equipamentos similares produzidos pela concorrência. Após rápidas análises o engenheiro talvez perceba que esta é uma tarefa difícil - quem sabe impossível - para ser desenvolvida num curto período de tempo ou com os recursos disponíveis. Talvez ele logo conclua que, para conseguir cumprir de alguma forma a tarefa, ou se queimam apenas alguns tipos de resíduos sólidos ou se aumentam os custos de fabricação. E esta conclusão poderá colocá-lo em posição de ter de defender com firmeza a sua decisão, tendo que convencer a diretoria de que o empreendimento proposto não é viável.

Há um outro tipo de condicionante - normalmente camuflado sob as mais diversas formas - que dificulta sobremaneira o trabalho do engenheiro: as condicionantes fictícias.

As condicionantes fictícias não são decisões explícitas. São o resultado de agir - automaticamente e sem justificativa - como se algo tenha de ser feito de determinada maneira ou como se uma certa possibilidade tivesse sido excluída. O fato de as condicionantes fictícias não resultarem de

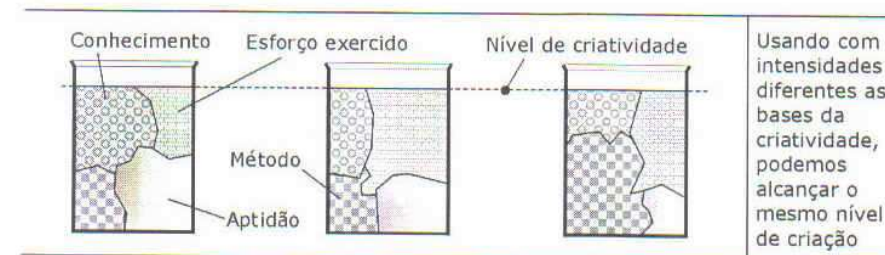
deliberação consciente constitui seu maior perigo. Muitas pessoas excluem possibilidades valiosas, levadas por uma proibição inconsciente, muito embora nenhuma restrição neste sentido conste do enunciado do problema. A melhor maneira de evitar as condicionantes fictícias é aumentarmos a atenção na análise do problema, em especial com a sua formulação e com a definição das suas variáveis.



A base de muitos quebra-cabeças, adivinhas, enigmas, charadas e jogos é justamente contar com algumas condicionantes fictícias que automaticamente assumimos durante a solução, sem que ninguém as tenha formulado explicitamente. Num projeto, algo semelhante às vezes acontece.

BARREIRAS QUE AFETAM A CRIATIVIDADE

No texto acima apresentamos alguns dos aspectos básicos que teriam influência significativa na atividade criadora - conhecimento, esforço exercido, aptidão e método empregado. Como nem todos nós somos iguais, apresentando as mesmas potencialidades em todas as áreas, podemos e devemos usar artifícios para contornar possíveis problemas ou reforçar nossas habilidades. Por exemplo, em caso de deficiência de um desses aspectos, podemos aplicar com mais intensidade outros, para que, no conjunto, consigamos êxito no trabalho. Quem tiver pouca aptidão criadora poderá aumentar o seu esforço na procura de soluções ou empregar um método mais eficiente e chegar também a um bom resultado final.



Algumas barreiras sempre estarão presentes entre o criador - o indivíduo criativo - e uma solução final. Um bom começo para aplicar a criatividade e saber alguma coisa a respeito dos fatores que prejudicam a sua liberação; conhecendo-os, podemos procurar evitá-los, o que pode melhorar a nossa capacidade de criar.

Ultrapassar essas barreiras é uma tarefa normalmente difícil, mas não impossível. Despende esforço pessoal e educar a mente para fazer frente a estas barreiras parece ser o início de todo este processo. Uma coisa é certa: a criatividade pode ser aprimorada através do estudo, da prática e, ainda, através do emprego de algumas técnicas reconhecidamente eficazes para tal.

Alguns bloqueios que sufocam ou reduzem a criatividade estão listados na figura abaixo e comentados a seguir. Para que possamos pensar criativamente, é importante sabermos identificar e trabalhar cada uma das barreiras que fazem parte do nosso modo de agir é pensar, e que muitas vezes nem nos apercebemos disso.

Algumas barreiras que afetam a criatividade

Medo de crítica	Preocupação prematura com detalhes
Dependência excessiva dos outros	Conservadorismo
Motivação em excesso	Rejeição prematura
Hábito	Satisfação prematura
	Fixação funcional

HÁBITO. Os hábitos tornam a vida mais fácil, pois criam rotina de procedimento, padrões de reconhecimento, familiaridade com os objetos à nossa volta. Imaginemos por exemplo que, a cada vez que fôssemos comer, tivéssemos a necessidade de imaginar uma forma de cortar os alimentos, de levá-los à boca, de mastigá-los. Ou termos de criar, a todo momento, uma maneira diferente de nos vestirmos, de caminhar ou de falar. Seria extremamente trabalhoso, talvez inviável.

Se por um lado ter hábitos é bom - por disciplinar a mente e tornar automática uma série de ações -, por outro pode ser altamente prejudicial, pois pode fazer com que o fluxo de idéias cesse e se iniciem somente as ações de rotina, que exigem menos esforço, principalmente mental. Para manter um equilíbrio, devemos avaliar com frequência nossos hábitos, de modo a fazermos deles aliados, e não empecilhos. Se os considerarmos benéficos, devemos utilizá-los e mantê-los. Mas quando alguns deles estiverem nos prejudicando, o melhor a fazer é descartá-los, quem sabe substituindo-os por outros mais saudáveis à nossa atividade criativa.

FIXAÇÃO FUNCIONAL. Psicólogos afirmam que, com frequência, assumimos um único uso para um produto, de acordo com a sua utilização original. Por exemplo, uma lâmpada de filamento incandescente teve a finalidade primeira de iluminar um ambiente, mas pode também ser utilizada para aquecer uma cultura de bactérias, para sinalizar o funcionamento de uma máquina, como elemento de decoração, como objeto para tiro ao alvo ou como equipamento auxiliar para medir a altura de um edifício.

Em inúmeras situações, desde que livre da fixação funcional, podemos utilizar um objeto para funções diversas daquela para a qual ele foi originalmente projetado. Um lápis é visto como um objeto para escrever, mas dificilmente como objeto para fixar uma porta, como combustível ou como arma de defesa pessoal.

PREOCUPAÇÃO PREMATURA COM DETALHES. Um problema não pode ser detalhado muito cedo, pois isso poderá impedir que uma visão ampla de suas potencialidades seja liberada. Quando isso acontece, torna-se difícil originar idéias radicalmente diferentes. É preciso pensar em termos amplos, centrando as buscas em soluções gerais e deixando para mais tarde os detalhamentos. Tentativas de iniciarmos imediatamente o detalhamento da primeira suposta boa idéia prejudicam a capacidade de pensar com liberdade. Vaguear imaginativamente sobre o problema é uma boa medida para encontrarmos soluções alternativas. O detalhamento prematuro é um sintoma de pessoas que não são práticas.

DEPENDÊNCIA EXCESSIVA DOS OUTROS. Um ofuscamento comum de acontecer - e que leva à redução do potencial da capacidade criadora - é o fato de nos deixarmos impressionar em demasia pelos conhecimentos ou pelo julgamento de outros. Para vencer essa barreira, devemos constantemente procurar resolver pessoalmente os problemas. Esta dependência, no entanto, não significa que pessoas com mais experiência e conhecimentos não devam ser consultadas. Ao contrário, procurarmos informações e sugestões de indivíduos mais experientes - vendedores, clientes ou técnicos - tem o efeito direto de aumentar os nossos conhecimentos e estimular a geração de idéias.

MOTIVAÇÃO EM EXCESSO. A motivação excessiva pode ofuscar a visão, estreitar o campo de observação e reduzir a eficácia do processo solucionador. Isso pode levar à busca do perfeccionismo ou, então, à fixação de objetivos muito difíceis de serem alcançados, o que conduzirá à pouca ou nenhuma produção. Sem ser levada ao exagero, a motivação é um auxiliar decisivo na busca de soluções.

MEDO DE CRÍTICA. Muitas vezes o medo de críticas - ou de desaprovação por parte de outros, ou mesmo de desapontamentos pessoais - pode inibir a

proposição de idéias. Infelizmente, quanto mais originais e brilhantes forem as idéias, mais vulneráveis à crítica elas serão. Uma rápida consulta à história revela casos bastante eloqüentes disso. A invenção da máquina têxtil - uma das precursoras da Revolução Industrial - foi duramente criticada na sua época. A invenção da imprensa, os trabalhos especulativos de Leonardo da Vinci, a teoria da evolução das espécies — de Charles Darwin — e tantas outras idéias revolucionárias são exemplos bastante fortes da vulnerabilidade das novidades.

CONSERVADORISMO. Não fugir de idéias radicalmente diferentes das usuais e consagradas é uma atitude altamente importante no processo criativo. Reprimir idéias novas parece ser uma tendência natural do ser humano. O conservadorismo pode levar à rejeição prematura de idéias que um pouco mais tarde, em consequência de pequenas alterações, podem revelar-se valiosas. Uma das qualidades do bom engenheiro é dar oportunidades razoáveis a todas as alternativas. Se as primeiras experiências com o "mais pesado que o ar" fossem abandonadas, quanto do progresso que hoje a civilização conhece estaria hibernando!

SATISFAÇÃO PREMATURA. Nos contentarmos com a primeira boa idéia ou com um aperfeiçoamento apreciável da solução atual é uma atitude comodista que inibe o nosso processo criativo. Ficarmos ofuscados pela primeira resposta brilhante que tivermos cessa a busca de outras alternativas que poderão ser valiosas.

Isso leva à "síndrome da primeira solução" - sempre que encontramos uma solução para um problema, costumamos relaxar o esforço de trabalho, considerando a tarefa cumprida. Uma sugestão excelente é procurar uma segunda solução, ou outras mais, mesmo depois de termos construído a primeira.

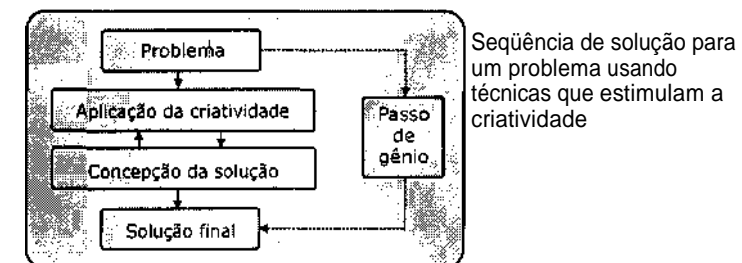
REJEIÇÃO PREMATURA. Como não devemos adotar a primeira boa proposta surgida, também não devemos rejeitar prematuramente qualquer idéia que não pareça ser tão boa. Aquela que em um dado momento parece ser uma idéia pobre poderá servir, mais tarde, como peça-chave na solução de um problema.

TÉCNICAS DE ESTÍMULO À CRIATIVIDADE

Além das barreiras comentadas acima - que contribuem, de alguma forma, para inibir a criatividade -, há outras. Mas talvez o mais importante seja cada um descobrir o que tolhe o seu potencial criativo e procurar trabalhar para romper estas barreiras. Mas não basta detectar quais são elas. Para contorná-las é necessário que façamos um esforço consciente - com disciplina e trabalho - para transpô-las. Deveríamos, de fato, eliminá-las.

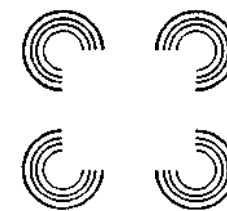
Além disso, existem algumas técnicas de fácil aplicação - que não são únicas nem milagrosas -, que poderão auxiliar muito no processo criativo. A seguir são apresentadas algumas delas.

Para começar a gerar soluções é comum partirmos de uma concepção preliminar, mesmo que pobre, pois isso pode fornecer um importante auxílio na geração de novas idéias. Após a definição inicial do problema, algumas técnicas estimulantes podem ser aplicadas para obtermos várias alternativas. Na figura abaixo está representada graficamente a aplicação da criatividade estimulada na solução de problemas.



Para melhorarmos a nossa inventividade, devemos maximizar o número e a variedade das alternativas dentre as quais poderemos selecionar as mais favoráveis. Há várias atitudes que podemos tomar para nos auxiliar na tarefa de procurarmos soluções criativas, como abaixo comentado:

- aumentar cada vez mais os nossos conhecimentos;
- fazermos uma tentativa consciente de eliminar as condicionantes e romper as barreiras que restringem a busca de alternativas;
- exercer o esforço necessário na busca de soluções, pois não se atinge o poder criador sem esforço mental;
- adotar uma atitude inquisitiva, fazendo perguntas persistentemente;
- procurar idéias em problemas análogos;
- consultar outras pessoas - engenheiros, técnicos, vendedores, clientes - para colher informações e sugestões.



Figuras de ilusão ótica: um quadrado que não existe e dois rostos num só desenho - a velha e a moça



O espaço ampliado para obter novas soluções deve ser aproveitado plenamente. Para ampliar este espaço e evitar que a procura se processe de forma aleatória, três procedimentos básicos podem ser utilizados:

- **REFERÊNCIA.** Tomar como referência o volume de produção, a utilização e os critérios previamente estabelecidos. A quantidade de produtos a serem fabricados, o tipo de utilização a que estarão submetidos e os critérios que serão utilizados para a escolha da melhor solução servirão como orientação ao projetista para delimitar a área de procura das possíveis soluções, reduzindo a aleatoriedade da busca.
- **PROCURA.** Sistematizar a procura. A sistematização da procura também torna o processo menos aleatório. Isso acontece porque passamos a organizar melhor nossas idéias, as indagações e a própria pesquisa, o que permite a combinação de diversas soluções parciais alternativas.
- **TÉCNICA.** Utilizar técnicas que facilitem e estimulem a procura de soluções. Uma forma bastante eficaz de orientar a busca de soluções - e maximizar o número e a variedade das alternativas - é através da utilização de técnicas estimulantes. Tais técnicas objetivam auxiliar na geração de idéias para a solução do problema, abrindo frentes para a imaginação trabalhar livremente, ativando e desenvolvendo a criatividade. Algumas delas são vistas a seguir.

Algumas técnicas de estímulo a criatividade

Quebra da adaptação psicológica		Caixa-preta
Inversão	Fantasia	Brainstorming
Caixa morfológica	Empatia	Analogia

BRAINSTORMING. O *brainstorming* talvez seja a técnica mais difundida e que traz os melhores resultados. É um termo inglês que significa "tempestade cerebral". Pela larga utilização deste termo no Brasil, vamos utilizar o termo no original, sem tradução.

Esta técnica pode ser aplicada em qualquer fase do desenvolvimento do projeto - na elaboração de uma solução para um problema, na procura de nomes para um novo produto a ser lançado no mercado ou para desenvolver formas de embalar um novo produto.

O brainstorming tem por objetivo estimular um grupo de pessoas - geralmente de cinco a dez - a detectar necessidades, produzir idéias ou propor soluções. É lançado um tema ao grupo, por um coordenador que o formulará

de maneira ampla e isenta de tendências. O grupo deverá, durante um tempo entre quarenta e cinco minutos e uma hora - nunca superior a isso para evitar a estagnação -, lançar o maior número possível de idéias e propostos sobre o tema, que serão anotadas pelo coordenador em local visível a todo os participantes.

Para um bom desempenho no *brainstorming*, as seguintes regras devem ser seguidas:

- **CRÍTICAS** - todas as idéias devem ser anotadas, sem exceção; comentários, discussões e críticas devem ser permitidas apenas no fim da sessão; a fantasia é livre;
- **GERAÇÃO DE IDEIAS** - quanto mais idéias geradas, melhor; a quantidade, em determinado momento, é mais importante que a qualidade,
- **AUTORIA** - cada participante pode retomar e desenvolver as idéias de outros; aliás, esse tipo de comportamento deve ser incentivado, não há direito de autor; todos são co-responsáveis pelas idéias surgidas durante a sessão.

Regras gerais para o brainstorming

É proibido criticar

Deve-se gerar muitas idéias

Não há direitos de autor

Depois de escolhido o grupo que desenvolverá a atividade, o coordenador deverá anunciar, com antecedência, qual o problema que será discutido, pois assim os participantes poderão, a partir desse momento, ocupar-se do problema até o instante da sessão.

Ao coordenador cabem, ainda, algumas outras tarefas:

- explicar claramente ao grupo o que é o *brainstorming* e quais são as suas regras;
- não permitir que os participantes apresentem idéias preparados e anotadas previamente;
- estimular a criatividade dos participantes, se o fluxo de idéias diminuir
- ler todas as idéias geradas, no final da reunião, pois freqüentemente novas sugestões surgem;
- classificar, no fim da sessão, as idéias PUI categorias e selecionar as mais interessantes e viáveis.

A técnica do *brainstorming* - como todas as demais descritas a seguir, embora de fácil entendimento - requer alguma prática. Sugerimos que grupos de estudantes, ao longo de seus cursos, procurem solucionar alguns problemas através dela. Temos certeza de que os resultados motivarão novas experiências.

QUEBRA DA ADAPTAÇÃO PSICOLÓGICA. Esta técnica visa a romper os condicionamentos de situações e lugares usuais, através da simulação de um ambiente completamente novo, submetido a novas regras e caracterizado por situações especiais. Por exemplo: ao tentarmos resolver o problema de transporte de um produto, podemos reunir um grupo de interessados e definir um novo ambiente. Poderia ser um planeta onde não existisse gravidade, onde seus habitantes tivessem apenas um olho, três braços e uma perna e não percebessem sons com frequência abaixo de 20 mil Hz. Esse novo contexto deverá quebrar a adaptação psicológica usual dos participantes e os forçará a criar alternativas sob novas regras. E de se esperar que as soluções sejam radicalmente diferentes das usuais.

Uma alternativa - complementar à técnica da adaptação psicológica - é o uso da fantasia: para gerar novas idéias imaginam-se coisas irreais ou processos sobrenaturais. Isso pode ser de grande valia para maximizar e diversificar as soluções. Considerar soluções idealmente perfeitas também pode ser útil. Mais uma vez, neste caso, a idéia é criar uma composição de fatores totalmente diferente da usual. Espera-se com isso disparar formas inovadoras de resolver nossos problemas.

INVERSÃO. Esta técnica normalmente é empregada para encontrarmos novas soluções para um problema atual. Ela consiste, basicamente, em observar um problema de uma forma completamente diversa da tradicional. Se um sistema normalmente é observado pelo lado de fora, a técnica da inversão instiga sua observação pelo lado de dentro. Se um sistema é normalmente usado na vertical, deve-se imaginá-lo funcionando na horizontal. Se numa máquina uma parte sempre é fixa e outra móvel, podemos imaginá-la com as funções invertidas.

Podemos inferir daí que esta técnica também objetiva cortar os vínculos que a forma convencional de pensar das pessoas impõe ao seu comportamento cotidiano. Com isso, abrem-se novas fronteiras para a busca de soluções alternativas.

ANALOGIA. Através desta técnica, soluções de problemas são sugeridas a partir de situações análogas encontradas na natureza ou em áreas diferentes das do nosso campo de trabalho. Esta técnica exige - para que seja eficaz - conhecimentos em vários ramos, como biologia, fisiologia, folclore, mitologia ou ficção científica.

Muitos problemas de engenharia podem ser resolvidos por analogia. Como exemplos podemos citar:

- Marc Isambard Brunel (1769-1849) inventou um método de proteção para túneis, observando o trabalho de vermes na madeira;
- em 1876, Alexandre Graham Bell (1847-1922) patenteou o telefone elétrico, inventado com base numa analogia com fenômenos que ocorrem no ouvido interno;
- os diversos tipos e tamanhos de corações de seres vivos podem, em muito, auxiliar o engenheiro no problema de transporte de líquidos;
- Thomas Edison (1847-1931), quando pesquisava a lâmpada elétrica, constatando que todos os filamentos queimavam, resolveu usar um já queimado - filamento de carbono; esta idéia lhe surgiu quando leu um livro de provérbios orientais que dizia algo como: a vantagem de estar morto reside no fato de não se morrer de novo;
- Albert Einstein imaginou-se cavalgando num raio de luz, e dali concluiu passos importantes para formular a teoria da relatividade

CAIXA MORFOLÓGICA. A técnica da caixa morfológica é a aplicação de um sistema organizado para a solução de um problema, através do uso de uma matriz ou de uma caixa morfológica. A análise morfológica é mais eficiente quando se decompõe o problema em subproblemas. Cada componente pode representar partes identificáveis de um problema maior.

Esta técnica consiste em dividirmos o problema em duas ou mais dimensões baseadas nas funções requeridas do sistema ou de componente, a serem projetados. Devemos listar o maior número de possíveis caminhos para a solução do problema. Depois, essas listagens são colocadas em forma de matriz, de modo que diversas combinações possam ser analisadas.

O exemplo de um sistema de aquecimento de uma residência serve como ilustração de um processo morfológico simples. Na figura abaixo está mostrada uma matriz onde podemos estudar novas alternativas para o sistema de aquecimento de residências.

FONTE	DISTRIBUIÇÃO DO CALOR				
	água	ar	óleo	vapor	gás
gás					
óleo					
carvão				X	
sol					
lenha					

Análise de alternativas de aquecimento residencial

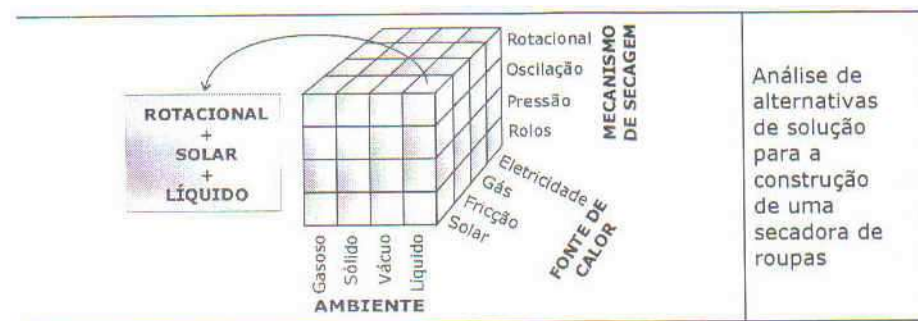
Combinar pares de alternativas, analisando-as, é uma boa forma de solução de problemas técnicos. Por exemplo, como assinalado na figura acima, uma combinação seria adotar como fonte de calor o carvão, e como elemento para a distribuição deste calor aos diversos ambientes da residência, o vapor. Em outra situação pode ser mais interessante optar pela utilização da lenha como fonte de calor, e a água para a sua distribuição.

No problema descrito a seguir é empregada a técnica morfológica para propor soluções alternativas para uma secadora de roupas.

O primeiro passo é identificar as principais funções que influem na operação da secadora. Uma avaliação das condições do problema e dos dados disponíveis revela, por exemplo, que as seguintes características são as mais relevantes:

- FONTE DE CALOR - determina a velocidade e a uniformidade da secagem;
- AMBIENTE DE SECAGEM - as condições de secagem da roupa determinam o seu aroma depois de concluído o processo;
- MECANISMO DE SECAGEM - determina o encolhimento das roupas.

Na montagem da caixa morfológica, cada célula deve representar um mecanismo de secagem, uma fonte de calor e um ambiente, e constituir uma configuração em potencial para a solução. No caso em questão, existem 64 possíveis combinações. Algumas dessas combinações podem ser impraticáveis e, por isso, são rapidamente abandonadas. Outras podem merecer alguns estudos adicionais para verificar a sua viabilidade.



A grande vantagem do método morfológico é possibilitar, em alguns casos, o aparecimento de combinações altamente inovadoras. Verificando a caixa, podemos perceber que uma possível solução seria utilizar como ambiente de secagem um líquido; como fonte de calor, a solar; e como mecanismo de secagem, um mecanismo rotacional.

O processo morfológico pode ser repetido para a célula da matriz que se mostrar mais promissora. Dessa forma, podemos utilizar a célula acima referida e formular uma nova caixa morfológica, dividindo cada uma das soluções - líquido, solar e rotacional, por exemplo - em alternativas mais detalhadas. Para o ambiente líquido poderia ser utilizada a água ou o óleo; a energia solar poderia ser captada diretamente por coletores solares ou por painéis fotovoltaicos; o sistema rotacional poderia ser movido por um motor elétrico ou por um cata-vento.

EMPATIA. Uma técnica interessante - e de resultados inusitados - e baseada no processo de empatia. Empatia significa nos identificarmos ou sentirmos o que outra pessoa sente. O termo também pode ser adotado para significar identificação com objetos, sistemas ou processos que pretendemos desenvolver ou projetar. Poderia ser, por exemplo, nos imaginarmos entrando numa canalização de água - nos consideraríamos uma molécula de H₂O para "sentir" como o fluido passa pelo circuito. Ou nos imaginarmos como um dente de uma engrenagem, para poder estudar melhor como funciona o engrenamento de uma caixa de câmbio.

Esta técnica é também muito valiosa quando o engenheiro deve solucionar problemas que afetam de forma direta outras pessoas.

CAIXA-PRETA. Nesta técnica, consideramos apenas as entradas e saídas do problema, estabelecendo uma formulação genérica, sem nos preocuparmos com detalhes construtivos. Isso amplia o campo de soluções.

A vantagem do uso da técnica da caixa-preta reside, principalmente, no aspecto de evitar detalhamentos antes que o problema esteja formulado. Apesar de ser simples, este é um meio muito criativo de abordar um problema, pois desvia o pensamento das soluções atuais e passadas, abrindo campo para novas alternativas.

No capítulo sobre projeto comentamos um pouco mais detalhadamente algumas características desta técnica.

O CRÍTICO E O PERCEPTIVO

Engenheiros e estudantes de engenharia muitas vezes acham o estudo da criatividade vago e subjetivo. Geralmente preferem assuntos técnicos e bem específicos. No entanto, devemos começar a pensar com mais seriedade sobre o fato de que a boa definição de um problema e a sua solução passam também pelo grau de criatividade do indivíduo. Seria interessante sempre lembrarmos is para alcançar os objetivos da engenharia - que a criatividade é a habilidade de lei idéias novas e úteis.

Um dado interessante que merece destaque diz respeito à definição do indivíduo criativo e do não-criativo. Esta definição pode nos auxiliar a nos identificarmos dentro de um destes grupos, facilitando trabalhar nossas limitações. Carl Jung sugere classificar os indivíduos em dois tipos psicológicos:

- CRÍTICO - é um indivíduo que, quando se confronta com uma nova situação, julga de imediato se ela é boa ou ruim, ou como deveria ser; o funcionamento das coisas não lhe interessa; está mais preocupado com o seu próprio julgamento; este indivíduo deixa o julgamento pessoal tomar o lugar da percepção, assimilando menos experiência e, com isso, inibindo a capacidade criativa.
- PERCEPTIVO - é um indivíduo curioso sobre as coisas; está mais interessado em descobrir como funcionam do que em fazer um julgamento sobre elas; o indivíduo perceptivo tem se mostrado mais criativo que o crítico; uma pessoa criativa apresenta, ainda, como características, ser mais aberta à experiência, mais curiosa, valoriza mais o teórico e é mais intuitiva e mais otimista.

Devemos também ser otimistas nos desafios, pois com isso mantemos nossa mente aberta. Autoconfiança, perseverança, liberdade, paciência e ambição também são características fundamentais para o sucesso na ação criativa.

É importante frisar que - além das características acima descritas - é fundamental que pratiquemos técnicas que despertem a criatividade, e que procuremos vencer com todo o esforço possível as barreiras que a bloqueiam.

Tarefas para complementação do aprendizado

É possível que você esteja cursando neste semestre uma disciplina que considera chata. Discuta com seus colegas por que isso acontece. Apostando *em* melhoria da construção do conhecimento - sempre buscando motivações para os estudos -, reúna o grupo e vá conversar com o professor sobre essas idéias

Observe com atenção as coisas à sua volta - na rua, *em* casa, na escola, num supermercado, *em* qualquer lugar. Registre tudo o que você considera que poderia ser melhorado, ou os problemas que você imagina ser possível sanar. Quando surgir a oportunidade, desenvolva um projeto para pôr *em* prática as suas idéias a respeito de um destes itens registrados.

Vimos neste capítulo que algumas barreiras podem tolher nossa criatividade. Comente, por escrito, algumas delas e apresente sugestões para transpô-las. A leitura desta parte do texto pode ajudá-lo a orientar as respostas, mas faça um esforço sério e consciente para acrescentar sugestões nesta sua construção.

É possível que o *brainstorming* seja uma das ferramentas mais eficientes para incentivar a criatividade. Procure entender bem o funcionamento do processo. Depois reúna um grupo de colegas, elabore um *tema* e desenvolva esta atividade. Lembre-se que qualquer situação do cotidiano pode merecer um *brainstorming para a geração de idéias*.

Quebra da adaptação psicológica, Inversão, Analogia, Caixa Morfológica, Empatia etc. são alguns dos estímulos que podem despertar a criatividade. Procure entender o que eles significam e busque aplicar cada um deles a situações concretas.

Depois de uma leitura atenta, procure estabelecer no mínimo *dez* atividades que complementem o aprendizado deste capítulo.

Através de pesquisas em bibliotecas e na internet, selecione ao menos cinco livros que, na sua opinião, possam aprofundar as questões tratadas neste capítulo. Discuta com colegas ou com professores a pertinência da sua proposta.

Capítulo 7

Modelos e simulação



MODELAGEM

Vamos imaginar como seria a construção de um transatlântico, de uma aeronave comercial, de uma barragem para uma usina hidrelétrica ou de uma indústria petroquímica se os responsáveis pela obra partissem diretamente para a sua fabricação. Se, depois de conceber mentalmente a obra -fundamentados apenas na concepção de alguma solução - rapidamente eles comessem a juntar materiais, operários, recursos financeiros, equipamentos, espaço físico e partissem para a construção. E bem possível que o resultado não fosse dos melhores. Ao menos três grandes preocupações constantes da engenharia estariam severamente comprometidas neste caso: segurança, custos e eficiência do sistema.

É muito arriscado, além de difícil, e às vezes até impossível, propor uma solução direta para muitos problemas, dando-lhe imediatamente um corpo para, em seguida, colocá-la em operação.

Esta dificuldade não ocorre apenas nestes casos extremos, de grandes obras ou de produtos sofisticados. Mesmo quando o objetivo é a construção de produtos visivelmente mais simples, como uma tesoura, uma campanha elétrica ou um pequeno galpão rural, há a necessidade de algum tipo de planejamento para que se alcance o sucesso pretendido.

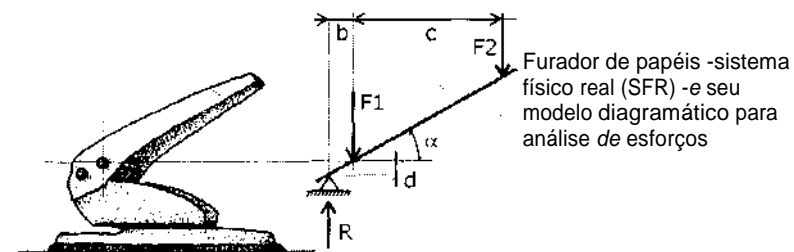
Durante este planejamento, uma das principais tarefas do engenheiro é modelar adequadamente o problema. Modelar no papel, na mente, num laboratório ou no computador uma representação do produto final é um passo indispensável para a construção de algo. Modelar, no caso, pode ser a construção de uma maquete ou a dedução de equações representativas do sistema. Pode ser também uma descrição formal, no papel, com esquemas e palavras, daquilo que se pretende construir. Dessa forma, podemos representar o produto - antes da sua concretização - usando para isso artifícios que nos possibilitem compreender o que de fato ele será - a sua essência, funcionamento, detalhes construtivos, operação, manutenção...

O QUE É MODELAR

Modelar é representar o sistema físico real (SFR), ou parte dele, em forma física ou simbólica, convenientemente preparada para prever ou

descrever o seu comportamento. Modelagem é o ato de modelar, ou seja, é a atividade de construir o modelo para representar o SFR.

Abaixo estão apresentadas duas figuras: à esquerda, o esboço de um furador de papéis - modelo icônico -, e à direita um esquema dele - modelo diagramático. O esquema representa um modelo simplificado do furador, que poderia ser utilizado para especificar a forma de uso, os materiais a serem empregados para a construção ou as dimensões gerais. Este esquema é justamente um possível modelo utilizado por um projetista para análise do sistema físico real, o furador.



Modelos e sua classificação

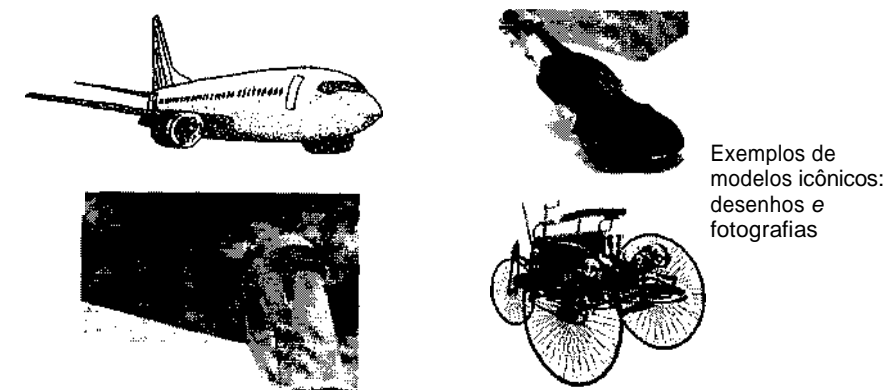
Os modelos podem ser classificados basicamente em quatro tipos, conforme mostrado na figura abaixo. Na verdade, a representação gráfica, lá referida, pode ser interpretada como uma visualização dos modelos matemáticos, ou de algum SFR.



MODELO ICÔNICO. *ícone* significa *imagem*. Modelo icônico, portanto, é a imagem de algo que, obedecendo a formas e proporções do SFR - que podem ser em escala —, o represente da forma mais fiel possível. Sua característica básica é o alto grau de semelhança com o seu equivalente real. Tem como objetivo comunicar informações que permitam transmitir como era, é ou será o SFR.

Uma grande utilidade deste tipo de modelo é a possibilidade de, através dele, podermos alterar o projeto com aperfeiçoamentos que melhorem a segurança de operação e manutenção, ou mesmo definir mais realisticamente detalhes construtivos, antes de construirmos o SFR.

Os modelos icônicos podem ser bi ou tridimensionais. Podem ser confeccionados em tamanho natural - escala 1x1, onde, por exemplo, cada 1 centímetro no SFR está representado por 1 centímetro no modelo -, ou em escala reduzida ou ampliada, devendo sempre preservar as proporções e formas do que se pretende representar. Estátuas e maquetes, por exemplo, são representações icônicas tridimensionais. Estes modelos são especialmente importantes para comunicar projetos complexos ou de difícil visualização espacial.



Exemplos de modelos icônicos: desenhos e fotografias

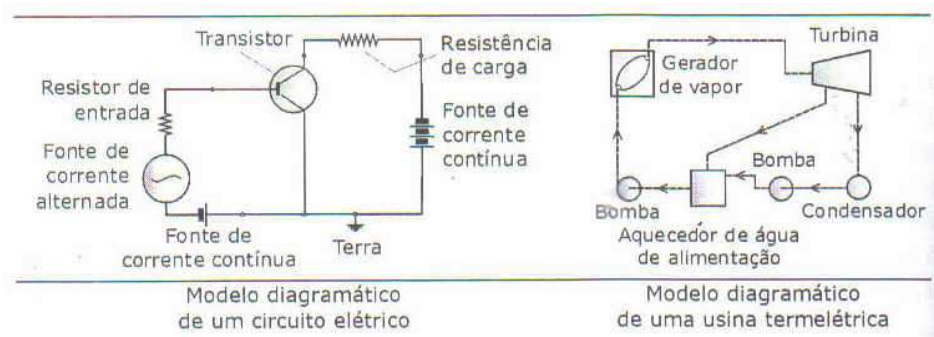
MODELO DIAGRAMÁTICO. Neste tipo de modelo, um conjunto de linhas e símbolos representa a estrutura ou o comportamento do SFR.

Uma característica típica desta forma de representação é a pouca semelhança física entre o modelo e o seu equivalente real. Esquemas de circuitos de rádio ou televisão também são exemplos típicos desta forma de modelo.

Uma grande vantagem do uso de modelos diagramáticos é a facilidade de representação de SFRs. Isto acontece por serem eles relativamente isentos de complicações — como a inclusão de detalhes menos significativos -, o que torna bastante simples a visualização de processos e sistemas.

Entretanto, devido à pouca semelhança com o SFR - em especial por causa das convenções de representação de componentes e funções - o-, modelos diagramáticos só são perfeitamente identificados e interpretados por

iniciados no assunto. A representação diagramática das interligações atômicas de uma molécula de benzeno - o anel hexagonal de Kekulé - dá uma idéia do acima comentado. Outros dois exemplos seguem abaixo.



MODELO MATEMÁTICO. Alguns dos objetivos de um bom curso de engenharia são: fornecer um repertório de representações simbólicas de uso freqüente, despertar no estudante a importância da utilização deste potente instrumento e desenvolver a capacidade de pensar com lógica e precisão. Uma excelente oportunidade de alcançarmos isso é exercitar e dominar as técnicas matemáticas. E para que serve isso?

A experiência tem demonstrado que o projeto é, basicamente, um processo iterativo, através do qual se avaliam os resultados, retorna-se à fase anterior, refaz-se a análise e assim por diante, até otimizar e sintetizar uma solução. Este processo exige que se criem modelos abstratos do sistema, ou dos seus subsistemas, para que seja admitida alguma forma de análise simbólica. Dentre os modelos simbólicos, o matemático é o de aplicação mais importante na engenharia.

O modelo matemático é uma idealização, na qual são usadas técnicas de construção lógica, não necessariamente naturais e, certamente, não completas. Com ele os fenômenos e as variáveis do problema são descritos por elementos idealizados que representam as características essenciais da situação real, sendo relacionados através de uma expressão matemática. Por ser uma representação, os resultados não apresentam garantia de representatividade, devendo-se realizar constantes verificações.

Devemos ter em mente que os SFRs são, em geral, complexos e que, criando um modelo matemático, simplificamos o sistema a ponto de podermos analisá-lo convenientemente e com mais facilidade. O primeiro passo é divisar um modelo conceitual que represente adequadamente o SFR a ser estudado. Muitos exemplos de modelos matemáticos simples já deverão ser do

conhecimento do projetista, pois a sua aprendizagem faz parte da educação formal de engenharia.

A modelagem - em especial a matemática - é uma arte altamente individualizada, e o engenheiro deverá decidir, por um lado, qual o grau de realismo necessário para o modelo e, por outro, a sua praticidade para determinar uma solução numérica.

Alguns problemas, por envolverem riscos de vida ou somas vultosas de recursos financeiros ou outros, exigem modelos sofisticados, com alta capacidade de previsão. Outros, devido à sua natureza e a aspectos econômicos, não exigem, e nem é desejável, uma engenharia de alto nível. O engenheiro deve sempre ponderar qual tratamento dar a um determinado problema, a fim de obter resultados no tempo disponível para solucioná-lo.

A modelagem matemática de um SFR talvez seja o mais poderoso instrumento de representação disponível. Ela proporciona um meio eficiente de previsão e uma linguagem concisa e universal de comunicação. Também permite uma estimativa rápida do comportamento de um fenômeno. Quanto mais aperfeiçoado for o modelo, menor o tempo gasto no processo iterativo, que é parte integrante de um projeto.

Equação de Torricelli	MRUV
Expressão que fornece a velocidade final V de um móvel, com velocidade inicial V_0 , aceleração constante a , tendo este percorrido uma distância S	Expressão geral que define a posição de um móvel em movimento retilíneo uniformemente variado em função do tempo t
$V^2 = V_0^2 + 2 a S$	$S = S_0 + V_0 t + (a t^2)/2$

Exemplos de modelos matemáticos

Nesta forma de representação, o uso de um sistema de regras, de convenções matemáticas e de símbolos para representar fenômenos físicos e suas relações facilita a determinação de expressões que permitem, através de um processo de simulação, prever aquilo que se pode esperar do SFR sob condições normais de uso.

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA. Este tipo de representação constitui um útil auxílio à visualização, comunicação e previsão de projetos. Neste caso, segmentos de retas ou cores representam uma propriedade, como temperatura, pressão, velocidade, tempo; ou um fato, como número de falhas por unidade de tempo, acréscimo populacional de uma cidade.

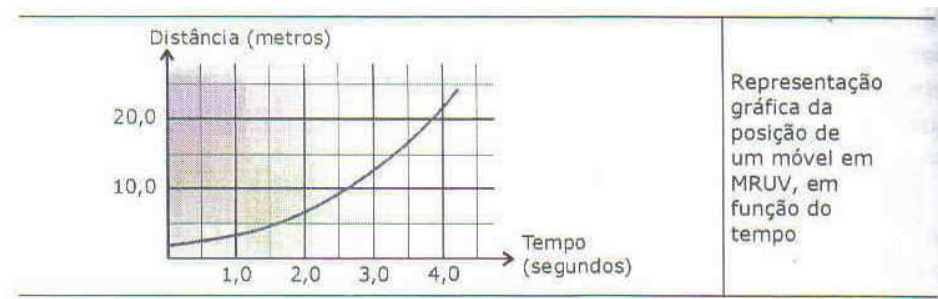
Para evidenciar a importância da representação gráfica, o modelo matemático do movimento retilíneo uniformemente variável (MRUV) pode servir de exemplo. Se adotarmos os valores: $S_0 = 1\text{m}$, $V_0 = 1\text{ m/s}$ e $(\alpha) = 2\text{ m/s}^2$, teremos:

$$S = 1 + 1t + 1/2 \cdot 2 \cdot t^2$$

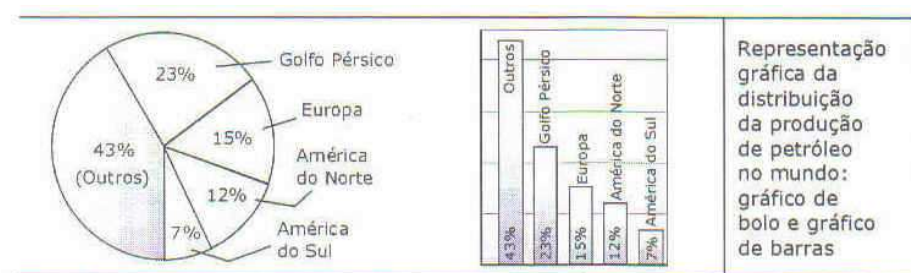
Substituindo na expressão acima valores para t teremos:

t (segundos)	0	1	2	3	4
S (metros)	1	3	7	13	21

Com estes valores poderemos agora traçar o gráfico da figura, que nada mais é do que uma representação gráfica da expressão original, para valores das variáveis previamente estabelecidos.



Na figura abaixo está mostrado um *gráfico de setores*, também conhecido como *gráfico de bolo*, onde está representada a produção de petróleo no mundo. Esta forma de representação permite que o leitor, com uma rápida visualização do desenho, tenha uma idéia geral do processo ou acontecimento representado. Outro auxílio importante à visualização de fatos ou dados é fornecido pelo *gráfico de barras*. Neste caso, é utilizada a proporção para indicar o comportamento de algum fenômeno.



Inúmeras outras representações gráficas podem fornecer valiosas informações a respeito de algum fenômeno físico, levantamento estatístico etc. Então, devemos estar atentos às leituras diárias para notar a importância destas representações no auxílio à informação. Neste livro, diversos fenômenos físicos são identificados através da representação gráfica.

VALOR DOS MODELOS

Modelo é uma representação idealizada do SFR, que auxilia na análise do problema. O objetivo - com estas idealizações - é estabelecer uma correlação entre o modelo e a realidade correspondente. As concepções da natureza do átomo, do universo e da luz, ou as teorias de Darwin e de Einstein, nada mais são do que modelos concebidos pelo homem para explicar e analisar determinados fenômenos.

Sem os modelos ficaria praticamente inviabilizada a civilização moderna. A própria linguagem humana é altamente dependente da capacidade de utilizarmos modelos de forma lógica e bem estruturada. As palavras *cadeira* e *avião*, por exemplo, são modelos verbais de realidades físicas. Sempre que as pronunciamos, alguma imagem vem logo à nossa mente.

Ao ler as palavras *pleskra* ou *rauresbo*, uma certa surpresa se instalei, pois nenhuma imagem é lembrada; isto acontece pelo fato de que a primeira palavra não existe, tendo sido construída deliberadamente para provocar algum desconforto, pois não está associada a nenhuma imagem reconhecida pela mente. Com relação à segunda palavra, após observar um pouco, é possível que reconheçamos nela alguma familiaridade, até que entendemos a sua lógica. Mesmo assim, não está associada a nada reconhecível pela nossa mente.

Os modelos são utilizados na engenharia porque:

- é muito dispendioso, e nada prático, construir todas as alternativas possíveis do SFR, até encontrarmos uma solução satisfatória.
- o processo direto de construção de alguns sistemas, além de impraticável, pode ser destrutivo e perigoso. Vidas humanas podem correr riscos se exaustivos testes com modelos não comprovarem a segurança do que se pretende construir. Além disso, a maioria dos sistemas mais complexos não funciona da primeira vez, necessitando de diversas revisões e ajustes.
- a precisão do processo pode ser aumentada através do aprimoramento do modelo, pois, como o problema está simplificado, temos condições de exercer um controle maior sobre o seu comportamento.

Isso acontece porque estão envolvidas, neste caso, menos variáveis para serem controladas durante os testes.

- com eles, é possível, em menor espaço de tempo, fazer um exame da situação de muitas variáveis, determinando seus efeitos no desempenho do SFR.
- com o crescente progresso no campo computacional, que constitui um forte auxílio à modelagem, diversas combinações de variáveis podem ser analisadas mais rápida e economicamente. Vários testes podem ser realizados e exaustivamente repetidos num curto espaço de tempo, verificando-se com maior facilidade a situação mais favorável para a construção do SFR.
- a abstração de um problema do seu equivalente real o leva de um campo desconhecido para um campo familiar. Desta forma o engenheiro sente-se muito mais à vontade para trabalhar, pois está lidando com algo que pertence ao seu domínio de conhecimento.

Por último, é bom lembrar ainda que os modelos não são únicos. Diferentes modelos podem ser empregados para analisar o desempenho de um sistema sob diferentes pontos de vista.

O MODELO E O SISTEMA FÍSICO REAL

Durante a solução de problemas, devemos ter consciência das limitações que sempre estarão presentes quando da utilização de um modelo na descrição de um fenômeno físico ou na previsão do seu comportamento. É necessário fazer esta ressalva porque sempre aparecerão erros ou diferenças entre os resultados previstos - calculados - e os medidos. Estas diferenças ocorrem devido às simplificações introduzidas para a formulação dos modelos e também porque elas são dependentes da forma de abordagem do problema, bem como dos objetivos pretendidos com a solução.

A solução perfeita ou a análise completa de um problema - que exige considerar todos os fatores e efeitos concebíveis - é praticamente impossível. Em primeiro lugar, porque ninguém pode conhecer todos os fatores relevantes ou prever todos os seus possíveis efeitos. Em segundo, porque muitos destes fatores, por serem pouco significativos, têm pouca influência no processo e, portanto, podem perfeitamente ser desprezados.

Na prática, ao resolver um problema, é necessário nos afastarmos um pouco do SFR, simplificando-o adequadamente e substituindo-o por outro problema mais simples, que é o modelo. Cabe ao engenheiro, pelo seu

juízo da relevância e influência das diversas variáveis, simplificar o SFR até conseguir representá-lo através de um modelo. Muitas vezes, se a realidade não fosse imaginada de forma simplificada, seria impossível o emprego de um modelo para representá-la.

Em muitas aplicações práticas, o fato de certas condições deixarem de ser satisfeitas não aumenta o erro das previsões, a ponto de anular o valor do modelo. Porém, é sempre possível introduzir algumas simplificações sem prejudicar a utilidade do modelo. Erros de precisão - diferenças entre o previsto e o real - de 5% ou mesmo de 10%, para a maioria dos problemas de engenharia, são perfeitamente admissíveis e, normalmente, não invalidam a solução. Em alguns casos chega-se a erros até maiores e, mesmo assim, não está invalidado o trabalho. Estes resultados muitas vezes são os únicos disponíveis e podem, ao menos, servir de orientação para o projeto preliminar.

EXEMPLO DE MODELAGEM MATEMÁTICA. A seguir é mostrado um modelo para prever o deslocamento na extremidade livre de uma viga em balanço, correspondente, por exemplo, ao SFR representado na figura.

Em função dos dados particulares de cada problema, podemos estimar, sem construir um modelo físico, a deflexão y - deslocamento vertical, ou deflexão - da extremidade livre.

Para chegarmos à equação do deslocamento - que fornece a previsão do deslocamento na extremidade livre da viga em balanço -, algumas hipóteses simplificativas foram supostas válidas. Isso significa que diversas variáveis que influem no SFR foram desconsideradas, para permitir a formulação de um modelo simples que o represente com precisão aceitável.

$$y = \frac{4FL^3}{Ebh^3},$$

onde E é uma propriedade do material - módulo de elasticidade - que representa, de alguma forma, a sua flexibilidade.



Algumas hipóteses simplificativas admitidas em tal caso são:

- A CARGA F É PONTUAL. É uma idealização, pois não existem cargas pontuais na natureza. Qualquer força mecânica real está aplicada numa área, embora, às vezes, bastante pequena se comparada com as demais dimensões do sistema. Esta simplificação, que não trata a carga como distribuída, facilita a formulação do problema.
- O MATERIAL DA VIGA É HOMOGÊNEO. Considerando o material como homogêneo e isento de falhas e impurezas, podemos tratá-lo como um meio contínuo. Assim, as variáveis que representarão o sistema também serão contínuas em certos domínios.
- A CARGA F É ESTÁTICA. Se a carga é aplicada lentamente desde zero até o seu valor total, podemos considerá-la estática, pois ou não varia ou varia pouco a sua intensidade com o tempo.
- ENGASTE PERFEITO. Podemos considerar, para efeito de cálculo, que o apoio da viga seja um engaste perfeito, ou seja, que a viga esteja rigidamente fixada numa parede, por exemplo. Embora não existam corpos rígidos na natureza - todos têm algum grau de flexibilidade - podemos considerar a flexibilidade da viga substancialmente maior do que a do engaste. Simulamos assim o engaste como um apoio rígido.
- O PESO PRÓPRIO DA VIGA É DESPREZADO. Considerando que a carga atuante seja bem maior do que o peso da viga, podemos desprezar esta última parcela. Uma análise da equação acima revela que a única carga ali considerada é a força F . Se o peso p da viga fosse considerado, teríamos uma expressão final com mais uma parcela, talvez um pouco mais precisa, porém de emprego mais difícil.

VALIDADE DAS HIPÓTESES SIMPLIFICATIVAS

Sempre que forem estabelecidas hipóteses simplificativas para a solução de um problema, surge a necessidade da sua verificação, especialmente através da experimentação. A verificação é mesmo imprescindível, pois não podemos utilizar um modelo sem conhecer o seu grau de representatividade.

Todavia, devemos nos lembrar que com a vivência vem uma maior habilidade na definição das hipóteses simplificativas. Com a experiência profissional conseguimos com mais propriedade desenvolver, ou escolher, modelos que representem cada vez mais adequadamente os sistemas físicos a serem analisados. Mas um bom preparo acadêmico pode abreviar sensivelmente este tempo de maturação profissional.

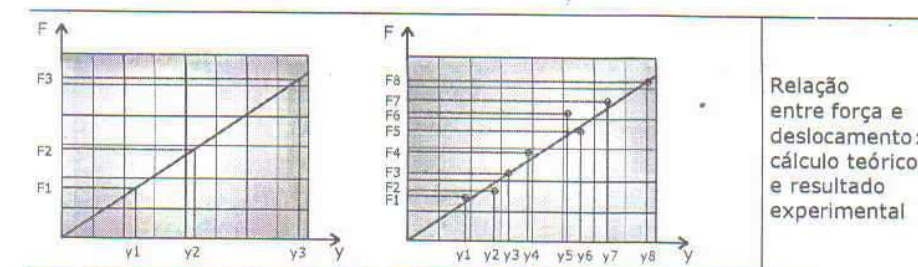
Embora uma divergência entre os resultados previstos e a realidade das medições seja inevitável, a utilidade de um modelo não está em representar fielmente, ou não, o SFR. Segundo este critério, todos os modelos teriam de ser rejeitados. Em função das hipóteses simplificativas, deles devemos esperar um certo grau de discrepância com a realidade. O modelo é importante pela sua praticidade e pela previsão que proporciona, e não necessariamente pela sua precisão.

Retomando o problema apresentado no item anterior, as explicações que seguem resgatam uma questão importante.

Após terem sido preparados os modelos, passamos a comparar as previsões fornecidas pelo modelo matemático com o que realmente ocorre no SFR em operação. Para isso, realizamos uma série de ensaios com diferentes valores de L , F , E , b e h e medimos as deflexões. Com os mesmos valores, calculamos as deflexões usando o modelo matemático. Para um conjunto de dados, obtemos um valor para a deflexão medida e outro para a calculada. Estes valores podem ser representados graficamente para a verificação da validade do modelo matemático com as hipóteses simplificativas adotadas.

Com os valores calculados através do modelo matemático, podemos traçar um gráfico como o da figura abaixo, onde, no eixo das abscissas, estão representados os deslocamentos y da extremidade livre da viga e, no eixo das ordenadas, os valores das forças aplicadas F . Para traçar este gráfico foram considerados constantes E , b , h e L , ou seja, para uma viga específica foram determinados os deslocamentos correspondentes a vários níveis de carregamento.

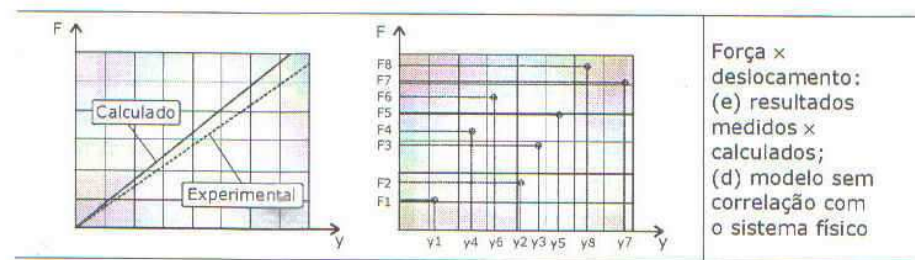
Para cada par (F ; y) temos um ponto no gráfico. Unindo os pontos, encontramos a curva F - y da viga. O resultado gráfico obtido tem uma característica interessante na engenharia: para pequenos níveis de aplicação de carregamento - níveis comuns de cargas atuantes na prática - a relação entre F e y é uma reta. Aliás, é exatamente isto que a expressão apresentada acima representa: uma reta. A chamada *Lei de Hooke* - que define uma proporcionalidade direta entre cargas aplicadas F e deslocamentos y - é fundamentada nesta característica.



Um outro gráfico pode ser traçado com os valores medidos numa experimentação em laboratório - notar a correlação entre os procedimentos matemático e experimental. Nesse caso são aplicadas forças reais, na extremidade livre da viga, que podem ser medidas, por exemplo, através de dinamômetros. As deflexões produzidas por essas forças podem ser lidas através de equipamentos que medem deslocamentos por meio de um relógio comparador. Neste caso, cada par (F; y) representa uma medição em laboratório, e no caso anterior representava um cálculo teórico.

Como os resultados obtidos na experimentação raramente estão dispostos de modo a permitir o traçado de uma linha que passe por todos os pontos, devemos utilizar um procedimento matemático para representar a tendência do comportamento do sistema. Porém, para que o modelo matemático tenha uma boa capacidade de representação, estas duas linhas deverão estar bastante próximas.

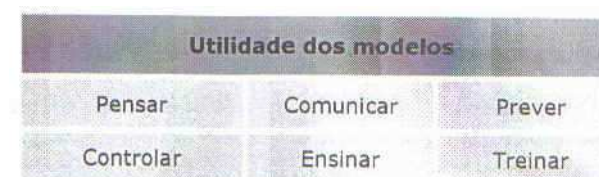
Entretanto, dificilmente os pontos experimentais estarão em perfeita consonância com a curva obtida matematicamente. Os resultados matemáticos foram obtidos através de um modelo que, por sua vez, foi deduzido em função de uma série de simplificações do SFR, como as comentadas anteriormente. A correlação perfeita entre o resultado medido e o resultado calculado deve ser analisada com cautela, pois é inevitável alguma divergência entre eles. Previsões sem erros são praticamente inatingíveis. Na verdade, seriam até antieconômicas as tentativas de alcançá-las.



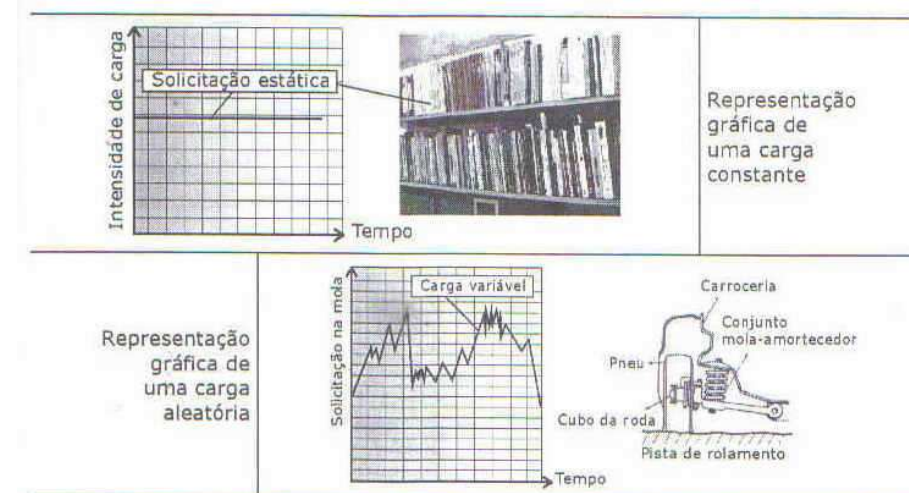
Por outro lado, se os resultados experimentais não estabelecem uma tendência, indica que não existe qualquer correlação entre o modelo e o SFR equivalente. Neste caso, devemos reavaliar o modelo, modificando-o - verificando se o erro reside nas medições efetuadas, na interpretação dos resultados obtidos ou se realmente o modelo utilizado é inadequado - até garantir uma precisão aceitável nas previsões.

PARA QUE SERVEM OS MODELOS

Os engenheiros utilizam modelos com várias finalidades. Seguem abaixo alguns comentários a respeito de algumas dessas finalidades.



PENSAR. Modelos são valiosos instrumentos de auxílio para visualizar e pensar acerca da natureza de um sistema e do seu comportamento. Mecanismos, circuitos eletrônicos, sistemas industriais ou processos químicos, pela sua complexidade, mais que necessitam, exigem modelos adequados para a sua perfeita compreensão. Um engenheiro, por exemplo, imagina uma carga constante através de uma representação gráfica. Imagina também uma carga aleatória - como as forças que atuam no sistema de suspensão de um automóvel, ou as cargas de vento sobre uma edificação - através de representações gráficas como apresentado na figura abaixo.

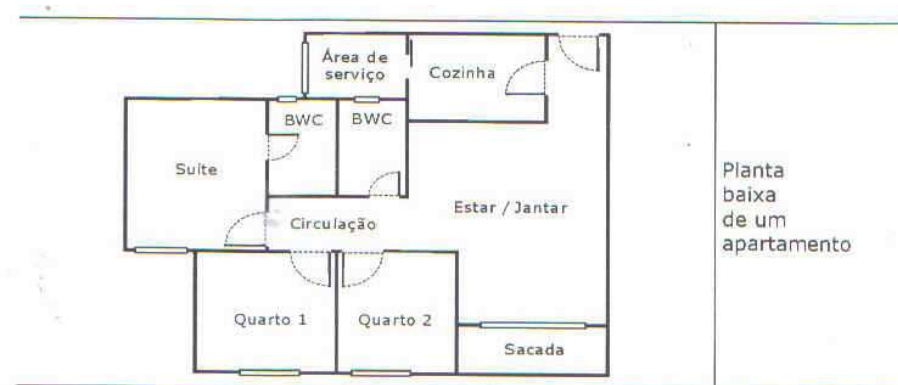


COMUNICAR. Uma importante habilidade que o engenheiro deve ter é a capacidade de comunicação dos seus projetos para aqueles que deverão aprová-los, construí-los, operá-los ou mantê-los. Os modelos, por facilitarem a descrição da natureza e do funcionamento dessas criações, são muito usados

para transmitir informações. Quem nunca viu, por exemplo, a maquete de um edifício confeccionada com o propósito de mostrar aos prováveis compradores como ele será depois de concluído; ou de um modelo de um automóvel em escala reduzida? Os modelos diagramáticos e matemáticos - e as representações gráficas - são fundamentais para a comunicação de trabalhos científicos, relatórios técnicos ou qualquer outro trabalho de divulgação de resultados.

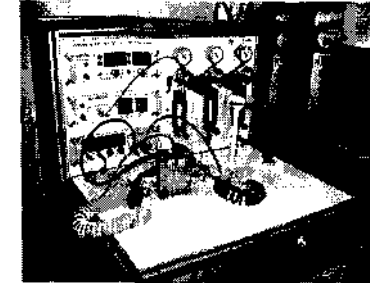
PREVER. Na solução de problemas, o engenheiro tem geralmente de examinar muitas possíveis soluções. E para decidir qual delas é a mais adequada, sob algum critério, pode usar o artifício de comparar os seus desempenhos usando modelos. Tais artifícios permitem que de alguma forma os SFRs sejam simulados, sem a necessidade de preparar materialmente a solução. Estes procedimentos economizam tempo e envolvem menos custos do que seriam necessários para uma experimentação do SER. Além do mais, garantem maior precisão do que a obtida com o uso exclusivo do julgamento pessoal. Serve como exemplo, neste caso, o modelo da viga engastada, apresentado acima.

CONTROLAR. Em algumas situações preparamos o modelo e procuramos fazer com que o SER o obedeça. Esta situação é comum na engenharia e acontece, por exemplo, com o projeto de um edifício, cuja planta é um modelo a ser seguido na construção; ou com a trajetória programada para o vôo de um foguete, quando são usados complexos sistemas de controle e tenta-se fazer com que o vôo real coincida com o modelo.



ENSINAR E TREINAR. Os modelos também são usados como auxílio à instrução. Por exemplo: diagramas, gráficos e plantas são importantes suportes didáticos. Devemos ressaltar a grande utilidade prática da simulação participativa, particularmente quando o custo de prováveis erros for elevado, tanto no aspecto de segurança quanto no econômico. Exemplos típicos são

os treinamentos de controladores de tráfego aéreo, pilotos e astronautas, pois permitem errar no simulador, sem incorrer em acidentes que poderiam ser fatais em situações reais.



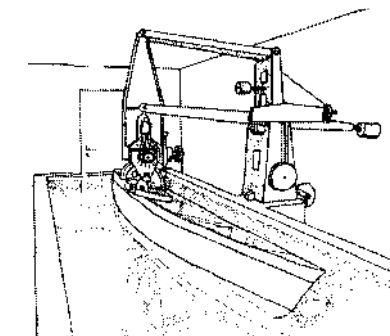
Bancada experimental de uma célula combustível, para avaliar o desempenho do hidrogênio como combustível veicular. Cortesia: Prof. Edson Bazzo - EMC/CTC/UFSC

QUE É SIMULAR

Simular é submeter modelos a ensaios, sob diversas condições, para observar como eles se comportam. Dessa forma avaliamos a resposta que deve ser esperada do SER.

A simulação pode envolver protótipos - primeiros exemplares de um produto, construídos para testes - ou modelos submetidos a ambientes físicos reais. No caso particular de modelos matemáticos, eles são submetidos a distúrbios matemáticos para avaliar a condição de serviço esperada.

É conveniente lembrar que, para simular um SER em operação - quer por experimentação em laboratório ou em campo, quer através de formulações matemáticas -, é necessário que sejam adotadas hipóteses simplificativas desta realidade física.



Simulação realizada em laboratório

Devemos ter em mente que a solução de problemas exige, normalmente, que construamos ou criemos modelos abstratos do SFR, para que seja possível algum tipo de análise. Desta forma, devemos estar preparados para enfrentar tais abstrações, saber usá-las com propriedade e destreza e, principalmente, nunca perder de vista que elas simplesmente tentam representar a realidade, embora isso nem sempre seja conseguido com a precisão desejável.

Com a simulação conseguimos a reprodução, em condições diferentes das reais, do funcionamento de um determinado sistema. Isso permite a comparação de diferentes soluções sem incorrer nas despesas, demoras e riscos, algumas vezes proibitivos - em geral inevitáveis - nos ensaios em verdadeira grandeza, sob condições reais.

Podemos citar como exemplos em que o recurso da simulação é altamente desejável: desenvolvimento de um coração artificial, projeto de um avião comercial, lançamento de um satélite, construção de uma grande barragem, construção de um complexo entroncamento rodoviário.

TIPOS DE SIMULAÇÃO

De uma forma geral podemos classificar a simulação - como recurso utilizado na engenharia - em três tipos: icônica, analógica e matemática.

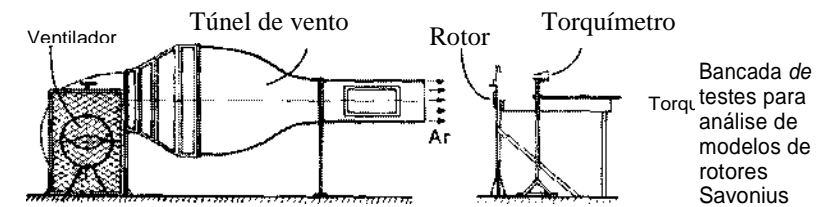
Ícônica	Analógica	Matemática
SIMULAÇÃO ICÔNICA. Entendemos por simulação icônica aquela que se assemelha à realidade. Acontece quando o SFR é representado através de modelos físicos - geralmente com dimensões diferentes das reais - com o propósito de verificar como ele funcionará.		

Um exemplo típico de simulação icônica são os ensaios em túnel de vento para avaliar a influência da forma de um objeto no seu arraste aerodinâmico - muito usado no projeto de carros e aviões. Outro pode ser a construção em escala reduzida de uma hidrelétrica para melhor definir detalhes construtivos ou mesmo para verificar a sua influência no ambiente em que estará inserida.

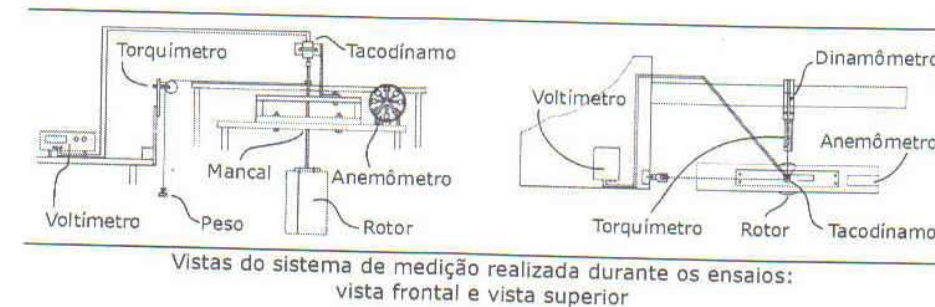
Uma forma de simulação bastante usada pelo engenheiro é a experimentação em laboratório. Neste caso, são feitos testes com protótipos ou modelos em condições controladas. Geralmente realizados em laboratórios, estes testes são de grande valia, porque deles muitas vezes obtemos dados referentes aos materiais empregados, e porque podemos analisar o comportamento esperado de sistemas ou subsistemas.

Nestes ensaios as características relevantes são controladas com mais rigor, pois são elas que influirão mais sensivelmente nos resultados finais.

EXEMPLO DE SIMULAÇÃO ICÔNICA. Um caso de simulação icônica é apresentado neste item. Trata-se da experimentação de um rotor *Savonius* testado em túnel de vento. Na experimentação foram utilizados modelos icônicos, tendo sido envolvidos, também, modelos matemáticos e representações gráficas.



A necessidade de saber quais as características geométricas mais adequadas para o rotor motivou o estudo que envolveu modelos numa análise experimental realizada em laboratório, de acordo com os esquemas mostrados nas figuras abaixo.

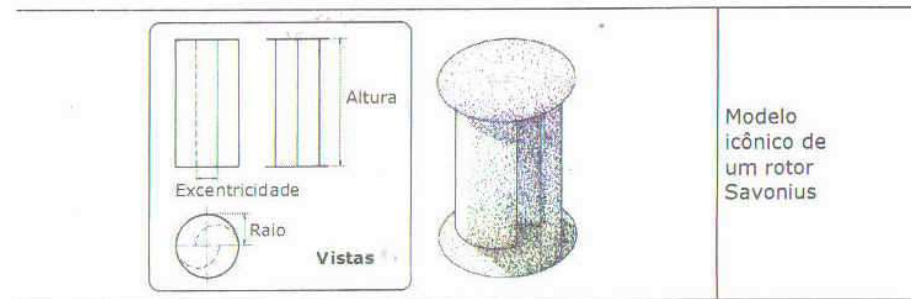


Os testes foram realizados com o intuito de prever a capacidade de um equipamento eólico transformar energia cinética dos ventos em energia mecânica útil.

É de se destacar que inúmeros outros aspectos são envolvidos num procedimento simulatório, como por exemplo a montagem da bancada, a escolha dos equipamentos, a coleta de dados, o controle das variáveis mais significativas que podem estabelecer diferenças substanciais nos resultados.

O rotor Savonius é um rotor de eixo vertical, com duas pás semicirculares presas a dois discos, um na parte superior e outro na parte inferior. Este tipo

de rolar destaca-se dentre outros meios de extrair energia mecânica da energia cinética dos ventos pela sua concepção simples e funcional, pelo fato de o vento poder incidir sobre o rotor vindo de qualquer direção e por ser bastante econômico e fácil de construir.



O objetivo dos experimentos realizados em laboratório foi analisar o comportamento, em ambiente controlado, de vários modelos icônicos, em escala reduzida, para posteriormente utilizar os resultados para projetos de SFRs.

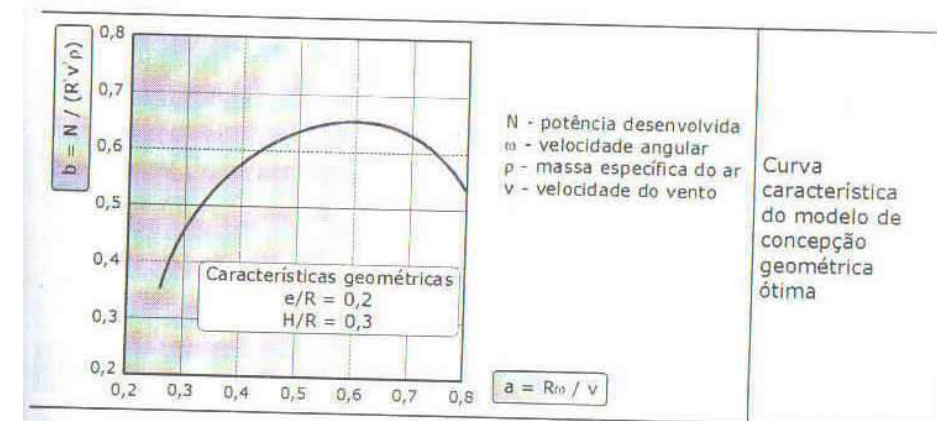
Ficou então demonstrado que o estudo através de modelos, neste caso, é um excelente recurso para a pesquisa e o projeto. Vários aspectos revelaram a vantagem do uso de modelos, e dentre eles podemos citar:

- por serem grandes as dimensões do SFR, a construção dos modelos em escala reduzida tornou-se bastante econômica e simples de realizar, não sendo necessários complexos recursos técnicos para a sua elaboração;
- o uso de modelos permitiu que as medições fossem mais facilmente efetuadas, quando comparadas com as que seriam feitas no SFR. Como as medições foram realizadas em laboratório, elas puderam ser repetidas tantas vezes quantas julgadas necessárias para a elaboração de uma tabela de resultados.

Com base nas experimentações e na análise dos resultados, chegou-se a relações ideais entre a excentricidade, o raio e a altura do rotor.

Com os dados de um problema específico a ser resolvido, e de posse do gráfico da figura, o projetista pode, então, determinar as características geométricas de um rotor necessário para gerar uma potência elétrica especificada.

O resultado destes cálculos constitui, agora, um instrumento de controle, pois o construtor pode nele se basear para a confecção do SFR.



SIMULAÇÃO ANALÓGICA. Na simulação analógica é feita a comparação de alguma coisa não-familiar, ou *de* difícil manipulação, com outra familiar, ou de fácil manuseio. Ou seja, é feito um sistema comportar-se de modo análogo a outro. Na simulação analógica a água, por exemplo, pode representar o ar passando pelas pás de uma turbina; uma voltagem pode representar a pressão do vapor numa usina termelétrica; uma bolha de sabão pode fornecer um meio de determinarmos o estado de tensão num eixo sob torção.

Uma característica básica desta forma de simulação é a pouca semelhança existente entre os dois sistemas - o análogo e o real. Assim, o seu uso exige do engenheiro a aplicação da imaginação e bons conhecimentos dos fenômenos físicos básicos - como ótica, eletromagnetismo, eletricidade e calor. Também é necessária uma boa bagagem de conhecimentos nas mais diversas áreas - como por exemplo botânica, biologia e zoologia. Isso é importante para que tenhamos ciência do funcionamento de vários sistemas para podermos formular as analogias apropriadas.

Várias analogias são utilizadas na engenharia. Dentre as mais comuns está a formulada entre sistemas elétricos e outros fenômenos físicos. Dois exemplos de simulação analógica são descritos a seguir:

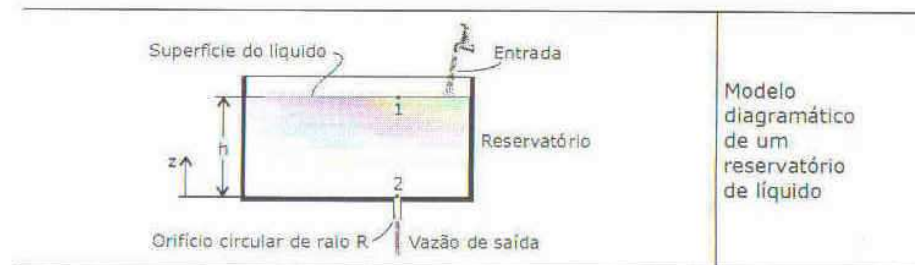
- **UM AMORTECEDOR** - utilizado em sistemas de suspensão de automóveis de passeio - pode ser simulado por um sistema elétrico, onde a corrente representa a velocidade do pistão, a resistência, o atrito do pistão e a força aplicada, a diferença de potencial elétrico medida nas extremidades da resistência. Variando a corrente elétrica, variamos a tensão, o que simula a intensidade de força necessária para cada velocidade do pistão. Assim, sem construir o amortecedor, podemos selecioná-lo para uma dada aplicação.

O FLUXO DE CALOR através de uma parede de espessura L , com uma temperatura T_1 na superfície superior e T_2 na inferior, pode ser simulado por um sistema elétrico onde T_1 e T_2 são representadas, respectivamente, pelas tensões elétricas V_1 e V_2 e a resistência térmica $[L/(KA)]$ da parede, pela resistência elétrica R . Assim, variando R podemos simular diversas formas de isolamento, por exemplo, de um refrigerador.

	Sistema 1		Sistema 2	
Representação	Mecânico	Elétrico	Térmico	Elétrico
Diagramática				
Matemática	$F=bu$ $u=F/b$	$V=RI$ $I=V/R$	$Q=(T_1-T_2)/(L/KA)$	$I=(V_1-V_2)/R$

SIMULAÇÃO MATEMÁTICA. A simulação do SFR usando a modelagem matemática é um instrumento de previsão muito útil, na qual as características essenciais dos elementos idealizados são descritas por símbolos matemáticos. Neste caso, distúrbios nas variáveis envolvidas nas equações simulam o comportamento do sistema representado. Isso fornece um modelo de previsão tipo entrada-saída, onde são introduzidos os dados iniciais e obtém-se, na saída, o resultado final. Podemos classificar este tipo de simulação como simbólica. Um exemplo simples de engenharia é explicado a seguir para mostrar o ferramental importante que a simulação matemática oferece.

EXEMPLO DE SIMULAÇÃO MATEMÁTICA. Na figura abaixo está mostrado um reservatório de um fluido qualquer utilizado na indústria. O problema consiste em determinarmos a vazão Q pelo orifício do fundo, em função da altura H do líquido no reservatório. Partimos do pressuposto de que a altura H deva ser mantida constante, o que é conseguido adequando a vazão de entrada à de saída.



Analisando o caso, e considerando que H deve ser constante, podemos perceber que as energias nos pontos 1 e 2 serão iguais, ou seja, o que entra é igual ao que sai.

Considerando que o escoamento ocorre sem viscosidade, podemos empregar a equação de Bernoulli - cientista que a formulou - para representar o que foi acima descrito, já que por meio desta expressão é estabelecido que a energia entre dois pontos de uma linha de corrente deve permanecer constante, o que se aplica ao presente caso.

O modelo matemático - equação de Bernoulli - que representa esta igualdade pode ser assim descrito:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g z_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g z_2$$

onde: p é a pressão, V a velocidade, g a aceleração da gravidade, ρ a massa específica e z a posição do ponto.

Analisando um pouco mais o problema, podemos concluir que $V_1 = 0$, pois o ponto 1 está localizado na superfície do líquido. Sendo H constante, a superfície estará parada. Podemos também afirmar que p_1 é aproximadamente igual a p_2 ; isto é válido apenas se o bocal de saída é bastante curto, caso contrário seria necessário considerar a pressão em 2 igual à soma da pressão atmosférica - que atua em 1 - com o efeito da pressão exercida pela coluna de líquido acima daquele ponto. Considerando ainda que as coordenadas dos pontos 1 e 2 são $z_1 = H$ e $z_2 = 0$, a expressão acima fica reduzida a:

$$V_2 = \sqrt{2 g H}$$

Como a vazão do líquido pelo orifício é igual ao produto da área deste orifício pela velocidade do líquido - ou seja, $Q = A V$ -, com o auxílio da equação acima chegamos finalmente a:

$$Q = \pi R^2 \sqrt{2 g H}$$

TAREFAS PARA COMPLEMENTAÇÃO DO APRENDIZADO

Abra aleatoriamente um livro de Física. Leia algumas páginas e procure entender os modelos utilizados pelo autor para trabalhar os temas abordados,

Você deve ter algum colega que estude num curso diferente do seu -psicologia, odontologia, história, administração... Tente explicar para ele o que são modelos icônicos e qual a importância deste tipo de representação.

Para cada um dos seis tópicos apontados como motivos para se utilizar modelos na engenharia, indique ao menos um exemplo e um contra-exemplo.

Selecione um ou dois modelos utilizados em cada uma das várias disciplinas que você está cursando neste período. Agora tente entender quais foram as hipóteses simplificativas feitas para a construção de cada um deles.

Identifique um sistema físico real, formule um problema, construa um modelo matemático dele e o resolva.

Em linhas gerais, podemos afirmar que sabemos um assunto quando conseguimos explicá-lo objetivamente para alguém. Vamos lá, então: explique para um colega, de forma clara e concisa, o que é simulação.

Você viu, na leitura deste livro, dois exemplos característicos que reforçam a importância da simulação analógica. Além de tentar entender bem quais são as vantagens deste tipo de simulação, faça uma pesquisa buscando encontrar mais cinco exemplos nos quais ela é de grande utilidade.

Procure estabelecer uma correlação entre a confecção de um modelo e a sua utilização numa simulação. Depois disso, aponte algumas limitações deste processo. O que você faria, na qualidade de engenheiro, para minimizar essas limitações?

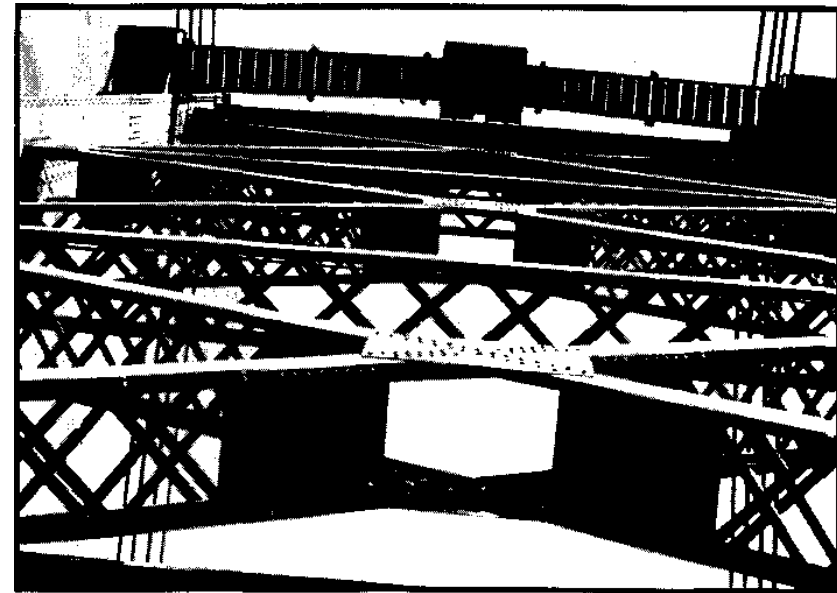
O avanço tecnológico, além de uma infinidade de confortos, estabelece novas possibilidades de trabalhar com simulação dentro da engenharia. Procure relatar alguns exemplos em que esta relação fique evidenciada.

Neste texto foi relatado um exemplo de simulação matemática utilizando a equação de Bernoulli. Tome como desafio encontrar um algoritmo matemático - que nada mais é que um modelo - de uma situação física real e depois faça uma análise semelhante ao exemplo citado.

Depois de uma leitura atenta, procure estabelecer no mínimo dez atividades que complementem o aprendizado deste capítulo.

Através de pesquisas em bibliotecas e na internet, selecione ao menos cinco livros que, na sua opinião, possam aprofundar as questões tratadas neste capítulo. Discuta com colegas ou com professores a pertinência da sua proposta.

Otimização

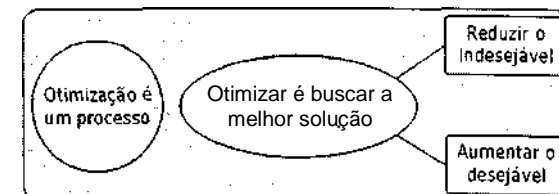


A PROCURA POR MELHORES SOLUÇÕES

O trabalho do engenheiro é uma incessante procura pela redução de peso, custo, consumo... e pelo aumento do rendimento de sistemas, da sua produtividade, utilidade... Como sempre existem várias soluções para cada problema, o engenheiro deve também estar apto a selecionar a melhor dentre elas. Essa seleção nem sempre se dá por decisões puramente técnicas, nem acontecem por passe de mágica. Além do mais, um bom profissional jamais estará satisfeito com o seu trabalho enquanto não conseguir melhorar uma solução até quanto lhe for possível. O procedimento utilizado para se chegar a estes objetivos é a otimização.

Otimização é o processo de procura por uma solução que forneça o máximo benefício segundo algum critério; ou seja, é a busca da melhor condição. Afirmamos que é *procura* porque nem sempre a condição ótima é alcançada, embora o ótimo seja sempre uma meta. Às vezes, restrições econômicas, de tempo, de recursos técnicos ou mesmo de falta de conhecimento limitam essa busca pelo ótimo.

Por ótimo entendemos o melhor possível, ou seja, a melhor solução para um problema ou a condição mais favorável de um parâmetro, que pode aparecer de diferentes formas. Por exemplo, em algumas situações procuramos por um máximo - como no caso de melhorar a produtividade na colheita de grãos numa plantação de soja -, e em outras, por um mínimo - quando procuramos reduzir um custo - como no caso em que queremos reduzir os gastos com transporte de frangos entre o aviário e o abatedouro. Assim, o processo de otimização em engenharia pode ser entendido como um procedimento de maximizar ou minimizar variáveis.



Este processo é vital na engenharia, pois sempre há uma solução melhor para praticamente todos os problemas. Para um problema novo, temos um imenso campo para procurar a melhor solução. Porém mesmo para um problema já detectado e resolvido, cuja solução atual seja boa, certamente haverá uma melhor; nem que para isso tenhamos de utilizar novos materiais, novas tecnologias, técnicas mais modernas de cálculo ou até quem sabe tentar resolver o problema sob um novo enfoque.

Entretanto, raramente os problemas em engenharia são estritamente técnicos. A busca de melhores soluções quase sempre se dá numa dupla dimensão: uma técnica e uma econômica. Na verdade, vários aspectos têm influência muito grande na resolução de um problema de engenharia, como o tempo, os recursos técnicos e financeiros disponíveis, as questões sociais e políticas, a criatividade profissional. Nenhuma solução tecnológica escapa destes fatores.

Quanto ao lado técnico, é bom não esquecer que os processos de otimização ensinados nos cursos formais são basicamente procedimentos matemáticos, sendo aplicáveis a parâmetros específicos. Todavia, é utópico imaginar que na vida real sempre caberá aplicar modelos matemáticos típicos a todos os problemas que desejamos otimizar. Desafortunadamente, existem casos em que a realidade é muito complexa, e os modelos usuais não têm capacidade de descrevê-la. Existem aplicações em que o valor ótimo só pode ser conseguido com o auxílio de avançados processos numéricos e computadores de grande velocidade; por exemplo a otimização estrutural de grandes sistemas - aviões, navios etc. - e a otimização do perfil aerodinâmico de aviões supersônicos - esta só viável com o auxílio de supercomputadores.

Cada caso contém particularidades próprias que exigirão do engenheiro, não raramente, muita arte e intuição, além de um estudo técnico apropriado. Mas, em última análise, a otimização é quase sempre econômica, ainda que as variáveis a serem otimizadas sejam outras, tais como:

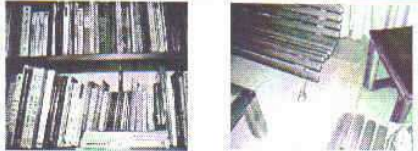



- PESO - deve ser reduzido para minimizar os custos, seja de produção, de transporte ou de armazenamento;
- RESISTÊNCIA - aumentá-la significa conseguir maior eficiência, e com isso podemos usar menos material para resistir a um mesmo nível de carga;
- RENDIMENTO - a melhoria do rendimento implica diminuição de perdas ou aumento de produção.

A otimização nem sempre é realizada para um sistema completo. Podemos não ter tempo ou recursos financeiros suficientes para produzir uma melhoria global no sistema, e em muitos casos procuramos melhorar apenas partes dele.

As informações apresentadas neste capítulo são apenas noções gerais introdutórias acerca do processo de otimização, podendo ser enquadradas, em sua maioria, como pertinentes à dimensão técnica acima referida.

A MELHOR SOLUÇÃO

O processo de procura da melhor solução não está presente apenas nos problemas de engenharia, podendo ser facilmente identificado em muitas situações práticas do dia-a-dia das pessoas, que constantemente o estão empregando. Neste processo de otimização, raramente alguma técnica específica é utilizada. No mais das vezes, trata-se tão-somente de um procedimento que poderíamos chamar de *intuitivo*. Este é o primeiro, o mais freqüente e o mais comum método de otimização, que é essencialmente subjetivo. Ele é usado cotidianamente em várias situações.

Melhorar a disposição dos livros numa prateleira		Arranjar fisicamente os móveis numa sala, de forma a sobrar o maior espaço livre possível	
	Traçar o melhor caminho para chegar a um determinado local, pelas ruas da cidade	Ajustar a temperatura da água do chuveiro para tomar um banho	
	Afinar um violão: através do comando de uma variável – o retesamento das cordas – procura-se um tom determinado		

Exemplos gerais de otimização do dia-a-dia

Num outro extremo está outra categoria de otimização - utilizada sobremaneira pelos engenheiros - que é identificada pelo emprego sistemático de técnicas específicas.

Exemplos de otimização em engenharia

Materiais em estruturas

Escolha dos materiais mais adequados para cada tipo de aplicação, relativamente a cargas, temperatura, agressividade do meio ambiente, confiabilidade etc.

Circuitos de fluidos

Projeto para as pressões envolvidas e escolha das velocidades adequadas, considerando as variações de seções com as rugosidades das superfícies, e as ondas de choque que poderão estar presentes na canalização

Processos

químicos

Maximizar a razão da reação de produtos químicos, a transferência de calor, a temperatura e as pressões envolvidas; avaliar se, sob certas situações críticas, um produto adicional é necessário para que o processo se complete; otimizar matematicamente uma coluna de destilação

Circuitos elétrico

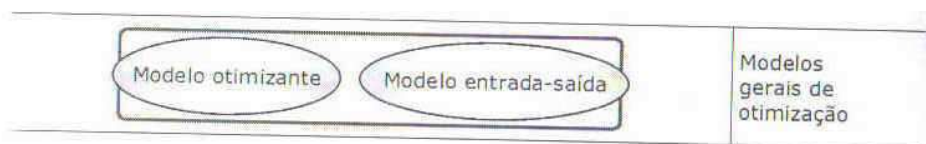
Procedimentos de comutação, modulação ou controle devem ser feitos de forma a termos o menor gasto de energia possível

Conservação de energia

No projeto do sistema de propulsão de um navio, um dos objetivos é minimizar a produção de ondas no seu rastro deixado nas águas, para que se tenha o menor gasto possível de combustível; determinar a potência adequada de refrigeração de um ambiente, considerando as diversas variáveis envolvidas, tais como isolamento térmico e fontes internas de calor

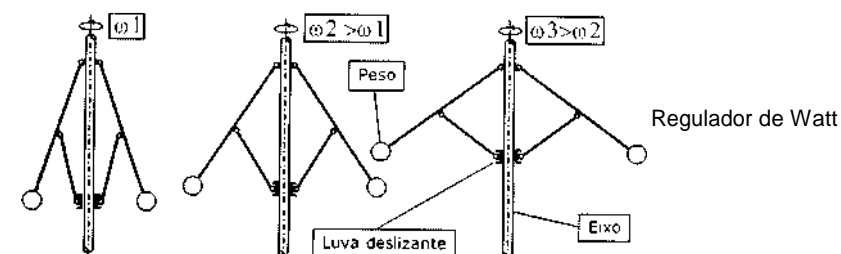
MODELOS DE OTIMIZAÇÃO

De forma geral podemos identificar dois modelos de otimização: *modelo otimizante e modelo entrada-saída*.

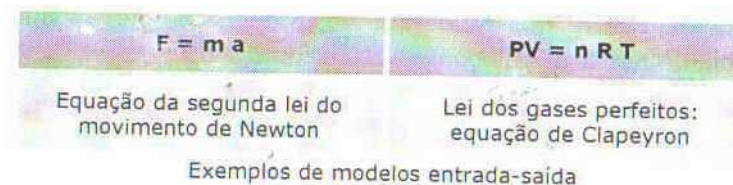


MODELO OTIMIZANTE. É um modelo que permite a determinação direta da condição ótima. Ao alimentarmos este modelo com um conjunto de características de entrada e efetuarmos os procedimentos operacionais, obteremos a melhor condição. Por exemplo, ao dirigir um automóvel, o motorista está constantemente corrigindo a trajetória do veículo, em função das características da pista, da incidência dos ventos e do fluxo do tráfego. Os sistemas homeostáticos - que mantêm algumas das suas variáveis dentro de limites especificados - são exemplos de modelos otimizantes. Alguns sistemas homeostáticos são:

- **PANELA DE PRESSÃO** - cuja pressão interna é mantida dentro de uma faixa, controlada por uma válvula;
- **GELADEIRA** - um termostato regula a temperatura interna entre um limite máximo e um mínimo;
- **REGULADOR DE WATT** - a função deste tipo de regulador, por exemplo numa central de turbina, é manter aproximadamente constante a rotação, mesmo variando a carga; ao aumentar a rotação, uma luva deslizante é movimentada, acionando um comando que reduz a entrada de vapor, fazendo com que a turbina volte à rotação de trabalho.



MODELO ENTRADA-SAÍDA. Neste caso, as variáveis do sistema são substituídas por valores numéricos apropriados - entradas - e é determinado o valor de uma variável que é dependente das demais - saída. As simulações matemáticas são modelos deste tipo, pois substituições e iterações são processadas para a obtenção de uma saída otimizada.



MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO

Diversas técnicas de otimização são aplicadas, quer no projeto em si, quer no seu resultado. O engenheiro, além de conhecer de aplicar estas técnicas, tem de ter um sentido prático e considerar as particularidades de cada caso, com base na sua formação teórica.

Um fato importante de ser notado é que quanto melhores forem os resultados obtidos num processo de otimização, mais difíceis se tornam os aperfeiçoamentos. Isso é fácil de ser entendido quando fazemos uma analogia com os processos de medição de grandezas físicas. Neste caso, quanto mais sofisticados e precisos forem os equipamentos de medição, mais difíceis se tornam as melhorias de resultados, pois crescem sensivelmente as necessidades de tempo e de recursos financeiros e técnicos para alcançá-las.

Não há um método único e direto para encontrarmos a melhor solução para todos os problemas. O método a ser usado depende da natureza das funções a otimizar, que podem ser, dentre outras: custo, peso, confiabilidade, produtividade, consumo e rendimento.

A experiência e a criatividade do engenheiro em muito ajudam na tarefa da escolha do método de otimização a empregar em cada caso. Em diversas situações, dois ou mais deles serão usados simultaneamente.

Métodos de otimização

Evolução Intuição Tentativa Gráfico Analítico

OTIMIZAÇÃO POR EVOLUÇÃO. A otimização por evolução muitas vezes está relacionada com a evolução tecnológica. Ela acontece quando um sistema já existente é aperfeiçoado através de alterações e melhorias na sua concepção, processo de fabricação ou mesmo no aspecto estético. Com isso, ao longo do tempo, tem-se um sistema mais eficiente e moderno.

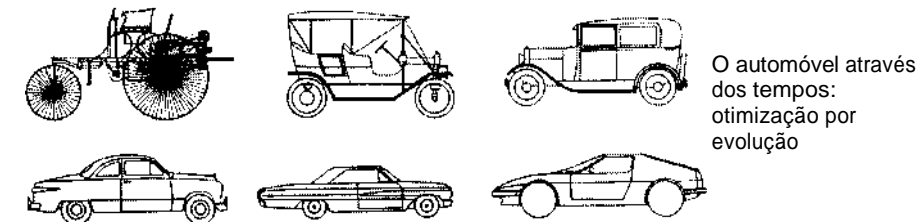
Podemos enquadrar nesta forma de otimização a melhoria que constantemente ocorre nos processos de industrialização de alimentos, consequência de novos aperfeiçoamentos tecnológicos.

Um exemplo de otimização por evolução bastante característico, e que também exemplifica o que foi classificado como projeto por evolução, é o desenvolvimento que culminou com o patenteamento, por James Watt, em 1769, da máquina a vapor. Por volta de 1700, Thomas Savery inventou este equipamento - certamente com base em outro invento mais simples, pois há indícios de antecessores deste no século 18. Em seguida, Thomas Newcomen, em sociedade com Savery, em 1705, aperfeiçoou esse invento e, mais tarde, o escocês James Watt, introduzindo uma série de aperfeiçoamentos, o patenteou.

Outro exemplo é a disposição das letras no teclado da máquina de datilografia. Inventada pelo norte-americano Christopher Layhan Sholes, em

1868, a máquina tinha suas teclas dispostas em ordem alfabética. Em 1872, James Densmore, após estudos das letras e suas disposições mais freqüentes na língua inglesa, apresentou um novo teclado - o QWERTY, assim denominado por causa da distribuição das seis primeiras letras da fila superior, à esquerda. Em 1932, August Dvorak apresentou uma nova disposição, mais eficiente, que permitiu a escrita de cerca de três mil palavras - em inglês com as letras da fila principal. Desta forma, sucessivamente foram sendo apresentadas disposições mais eficientes.

Outro exemplo bem característico deste método de otimização é a contínua mudança realizada nos automóveis de passeio. Desde a sua invenção, a cada ano diversas alterações são efetuadas nos modelos anteriores, a tal ponto que, se formos comparar os primeiros veículos com os mais modernos de hoje, é fácil perceberemos diferenças radicais entre eles.



OTIMIZAÇÃO POR INTUIÇÃO. De forma geral, associamos este tipo de otimização com o dia-a-dia das pessoas. Entretanto, este método também é empregado na engenharia. A intuição, de fato, faz parte do trabalho do engenheiro, pois, em muitas situações, ele está às voltas com a decisão de quais parâmetros empregar, ou tem de combinar sistemas que cumprem diferentes funções, para compor o seu projeto. E nem sempre tem, para tomar tais decisões, outros instrumentos além do seu próprio julgamento.

O projeto em engenharia - que é um processo criativo - é altamente dependente da arte. Na área técnica, a arte está relacionada, por exemplo, com a habilidade para ter boas soluções ou para modelar sistemas - em forma física ou matemática -, mesmo que não conheçamos uma justificativa com base científica para explicar o problema.

OTIMIZAÇÃO POR TENTATIVA. O projeto, conforme já enfatizado, é um processo iterativo. E iniciado com um esboço preliminar da solução - que normalmente é pobre — e, através de refinamentos e novas definições, chega-se a um resultado final melhor que a proposta inicial. Isso é normal num projeto,

pois usualmente a primeira alternativa não é satisfatória, sendo necessárias novas tentativas para encontrar uma boa solução.

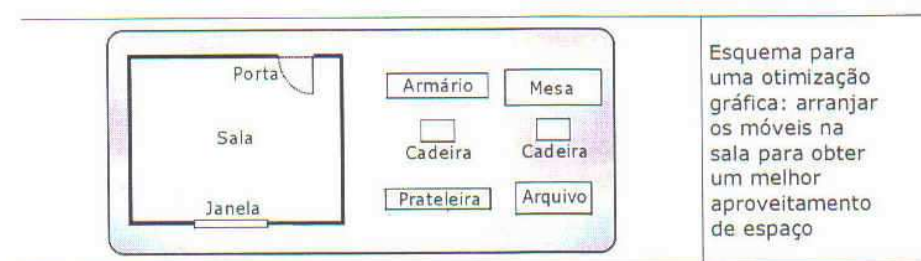
Portanto, a otimização, no sentido geral - e em particular a otimização por tentativa - é inerente ao processo do projeto.

Naturalmente que esta forma de otimização não deve ser confundida como uma busca a esmo, na qual uma combinação aleatória de variáveis é feita com o intuito de encontrar uma solução melhor. Todo o trabalho deve ser sistemático e baseado em hipóteses consistentes, mantendo sempre uma coerência no raciocínio, o que, aliás, é uma característica do engenheiro.

TÉCNICA GRÁFICA. A técnica de otimização gráfica consiste, basicamente, na utilização de esquemas ou desenhos de um sistema físico real na procura da melhor solução para o problema em análise.

Este instrumento de otimização, devido à sua característica visual e grande facilidade de permitir modificações, é excelente auxiliar na definição de formas, tamanhos, proporções etc. Assim, podemos experimentar, através de representações gráficas, a melhor disposição ou o melhor uso de espaços.

Um exemplo deste tipo de otimização está esquematizado na figura abaixo, onde estão representados elementos para melhorar a disposição dos móveis numa sala de trabalho. O processo consiste em dispor a mobília no ambiente, num desenho em escala, de forma a se obter a melhor distribuição.



Esquema para uma otimização gráfica: arranjar os móveis na sala para obter um melhor aproveitamento de espaço

Uma forma alternativa de aplicar esta técnica é desenhar a planta baixa da sala e recortar em papelão, em escala, os móveis que serão dispostos no ambiente. Em seguida devem ser experimentadas várias combinações até encontrarmos a melhor. Esta técnica constitui um bom meio de proceder a otimização por intuição ou por tentativa.

MÉTODO ANALÍTICO. Esta é a área mais recente da otimização, sendo baseada no desenvolvimento matemático.

A teoria matemática da otimização, desenvolvida desde 1950, tem sido gradualmente aplicada a várias situações da engenharia. Um fato que muito

contribuiu para a evolução desses processos de otimização - e a sua aplicação a situações práticas - é o desenvolvimento dos computadores, com a sua grande capacidade de armazenar informações e de realizar cálculos com alta velocidade.

Dentre os tipos de otimização que usam a matemática e que podem ser encontrados na literatura técnica especializada, estão: programação linear e não-linear, programação geométrica, programação dinâmica, método variacional, cálculo diferencial, método analítico-gráfico, teoria de controle

A seguir são apresentados alguns métodos simples de otimização analítica, com o intuito de demonstrar as suas potencialidades e importância na engenharia.

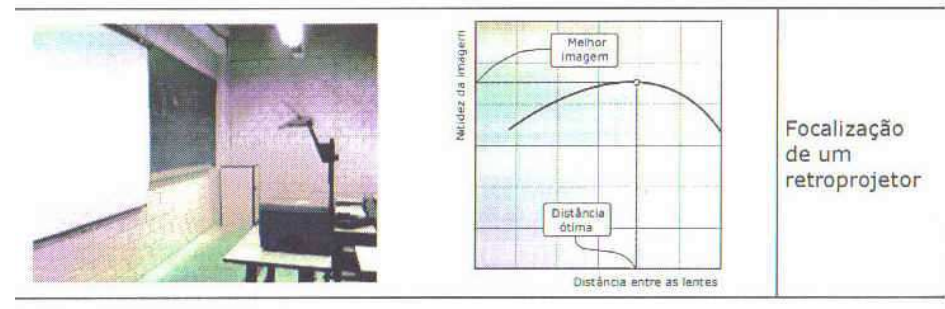
OTIMIZAÇÃO COM UMA VARIÁVEL

O caso mais simples de otimização ocorre quando temos apenas uma variável envolvida. Podemos, então, representar o sistema a otimizar por uma função que contém uma variável independente x e uma variável dependente. Uma expressão matemática para isso pode ser: $y = f(x)$, onde x é a variável independente, que pode assumir, em princípio, qualquer valor, e y é a variável dependente de x , ou seja, dependendo do valor que x assumir, teremos um valor específico para y .

O processo de otimização, neste caso, resume-se a encontrar o valor limite de y , ou seja, o máximo valor de alguma quantidade desejável ou o mínimo valor de uma característica indesejável.

Em todo processo de otimização o critério de escolha da melhor solução deve ser previamente especificado, pois em função dele é que determinaremos o ótimo.

Um caso simples e corriqueiro de otimização pode ser exemplificado através do processo de focalização da imagem de um retroprojektor, onde o critério - variável dependente - é a nitidez da imagem, e a variável independente é a distância entre as lentes do aparelho. Graficamente, este procedimento pode ser representado conforme mostrado na figura abaixo. Neste esquema podemos perceber a correlação que existe entre a realidade e a representação gráfica, pois enquanto as distâncias não estão adequadas, não estaremos com a focalização otimizada.



Sendo o critério - notadamente neste caso - fruto da decisão de alguém, que o determinará com base nos próprios sentidos, os ótimos obtidos por diferentes pessoas poderão não coincidir.

No quadro abaixo são apresentados exemplos típicos de otimização, onde equações contendo apenas uma variável independente podem representar adequadamente os fenômenos descritos.

Exemplos de otimização com uma variável

Rapidez e quantidade de um trabalho realizado

Preço de um produto e receita resultante de sua venda

Temperatura ambiente e sensação de conforto térmico

Sintonização de uma estação de rádio

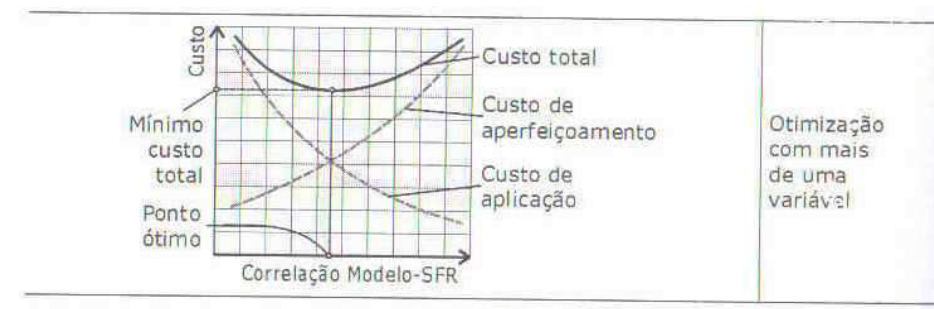
OTIMIZAÇÃO COM DUAS OU MAIS VARIÁVEIS

No item anterior foi mostrado um método de otimização que envolve apenas uma variável independente x . Embora em vários casos, na prática, o comportamento de sistemas possa ser representado por uma curva semelhante à proposta para o caso do retroprojetor, a realidade é que, na maioria dos problemas, a situação se apresenta mais complexa, exigindo representações matemáticas mais elaboradas.

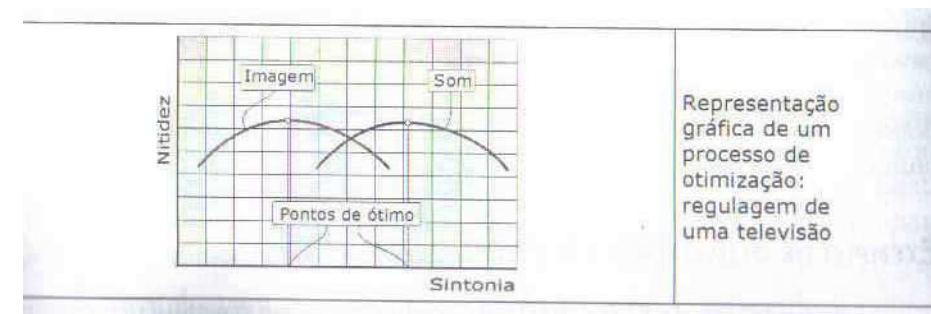
Por exemplo, quando se trata de encontrar o menor custo para o desenvolvimento de modelos que representem a melhor correlação possível com a situação real, uma análise revela, de pronto, que existem pelo menos duas componentes essenciais envolvidas. Estas componentes são: custo do desenvolvimento do modelo, que cresce com o aumento da exigência de

perfeição deste, e o custo de sua aplicação, que diminui com a melhoria da correlação entre o modelo e o sistema físico real. Na figura abaixo está representado graficamente este exemplo.

Neste caso, após estabelecer as relações matemáticas entre as variáveis envolvidas, devemos proceder a otimização com a curva que representa o custo total. Há aqui uma variável de controle - o grau de representatividade do modelo - e duas variáveis dela dependentes - os custos.



Outro caso ocorre quando temos, por exemplo, dois critérios comandados por uma única variável de controle, cujos pontos ótimos particulares são diferentes. Isso acontece quando, em alguns aparelhos de televisão, sintonizamos uma emissora. Para uma determinada posição da sintonia - através de um rastreamento automático ou manual -, teremos uma boa imagem, porém um som ruim. Regulando para o melhor som, pioramos um pouco a nitidez da imagem. Isso ocorre porque cada um dos critérios - imagem e som - tem o seu próprio ponto de ótimo. A melhor situação estará localizada entre estes dois ótimos particulares.



Quando vários critérios estão presentes no processo de escolha da melhor solução, e estes são contraditórios, devemos ponderar o peso relativo com que cada um deles vai ser considerado. Os pesos relativos - que em muitas

situações são subjetivos - devem ser baseados, tanto quanto possível, em critérios técnicos, tomando como referência, por exemplo: peso, custos de aquisição e manutenção, capacidade de produção, consumo, desempenho

Critérios	Peso	Soluções					
		Carro A		Carro B		Carro C	
	N	N	PxN	N	PxN	N	PxN
Autonomia	1	4	4	4	4	2	2
Capacidade de carga	2	3	6	3	6	2	4
Consumo	3	1	3	3	9	4	12
Custo de aquisição	3	2	6	2	6	3	9
Desempenho	1	3	3	3	3	4	4
Estética	1	3	3	4	4	2	2
Manutenção	2	2	4	1	2	3	6
Totais	-	-	29	-	34	-	39

Um exemplo típico desse processo de escolha da melhor solução é apresentado na tabela acima, onde está representado um caso hipotético da escolha de um automóvel para compra. Na coluna da esquerda estão listados vários critérios selecionados como mais importantes, seguidos dos seus pesos relativos P, estabelecidos pelo responsável pela compra. Nas demais colunas encontram-se as notas N - de 0 a 4 - para cada critério e para cada solução, seguidas do produto destas notas pelo peso do critério - $P \times N$. Na última linha abaixo estão registrados os somatórios dos produtos das notas pelo peso de cada solução - cada tipo de automóvel. Aquele que obteve o maior número de pontos é a melhor solução para os critérios escolhidos e os pesos ponderados estabelecidos. No exemplo mostrado, o automóvel recomendado para a compra é o C.

EXEMPLO DE OTIMIZAÇÃO - PROBLEMA DO PROJÉTIL

Um problema da Física, bastante conhecido e que constitui um exemplo de aplicação do conceito de máximos e mínimos, é o do lançamento de projéteis. É o problema da determinação do ângulo de inclinação de lançamento de um projétil — com uma velocidade inicial V - para que este alcance o chão a uma distância horizontal máxima do ponto inicial.

A expressão apresentada na figura representa o modelo matemático idealizado da trajetória do projétil. Naquela expressão não é considerada a resistência do ar ao movimento do projétil, e é admitido que a aceleração da gravidade g é constante, ou seja, é independente da altura y. Assim, para uma velocidade inicial V, a expressão apresenta três variáveis, duas independentes - x e $a(\alpha)$ - e uma dependente y.

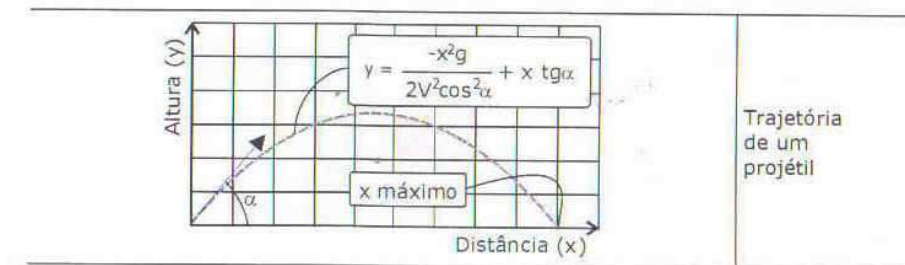
Entretanto, neste caso, desejamos determinar a máxima distância x, o que ocorre quando $y = 0$. Portanto, igualando a expressão que aparece na figura a zero, vem:

$$x \operatorname{tg}(\alpha) = \frac{g x^2}{2V^2 \cos^2 \alpha}$$

que, rearranjada, fornece

$$x = \frac{\operatorname{tg} \alpha 2V^2 \cos^2 \alpha}{g} = \frac{\operatorname{sen} \alpha 2V^2 \cos \alpha}{g} = \frac{\operatorname{sen} 2\alpha V^2}{g}$$

Podemos notar, agora, que chegamos a uma equação com uma variável independente $a(\alpha)$ e uma dependente x, ou seja, para cada valor de $a(\alpha)$ temos um x correspondente.



Como desejamos determinar o ângulo ótimo que fornece - para uma certa velocidade inicial V - a maior distância, devemos derivar a função com relação a $a(\alpha)$, e igualar a expressão resultante desta operação a zero. Desta forma determinaremos o valor do ângulo de inclinação do lançamento para que x seja máximo.

Derivando, vem:

$$\frac{dx}{d\alpha} = \frac{V^2 2 \cos 2\alpha}{g}$$

Igualando a zero a expressão acima, teremos que $\cos 2a(\text{alfa}) = 0$, pois V e g são, naturalmente, diferentes de zero - g representa a aceleração da gravidade, e V , a velocidade inicial do projétil.

Para garantir que $\cos 2a(\text{alfa}) = 0$, $2(\text{alfa})$ deve ser igual a $\pi/2$, ou um múltiplo dele, e, conseqüentemente, $a = 45^\circ$. Assim, o ângulo ótimo de inclinação para o lançamento, que fornece a maior distância, é de 45° .

SOLUÇÃO ALTERNATIVA 1. O procedimento utilizado acima, para determinar o ângulo desejado, nada mais é do que uma simulação matemática. Uma série de testes experimentais poderia ser feita - em campo ou em laboratório - para chegarmos ao mesmo resultado. Neste caso, por exemplo com o auxílio de uma catapulta, o projétil seria lançado sucessivas vezes, sempre com a mesma velocidade inicial, e com ângulos de inclinação diferentes. As distâncias obtidas seriam anotadas para cada ensaio. À maior distância x corresponderia o ângulo ótimo. Este procedimento também é um processo de procura da melhor situação, podendo ser classificado como *otimização por tentativa*.

SOLUÇÃO ALTERNATIVA 2. Uma outra forma de representação do mesmo fenômeno é explicada a seguir.

Partindo da expressão

$$x = \frac{\text{sen}2\alpha V^2}{g}$$

podemos montar a tabela abaixo, que foi obtida atribuindo valores - de 10° em 10° - à variável a . Note-se que das duas tabelas seguintes podemos obter o valor de x multiplicando cada resultado pela constante V^2/g .

Valores de $\text{sen}2\alpha$							
α	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
$\text{sen}2\alpha$	0	0,34	0,64	0,87	0,98	0,98	0,87

Analisando a tabela acima podemos notar que ocorrerá um acréscimo de x para um acréscimo de a até 40° . Para 50° o valor de x é repetido, e para 60° ocorre um decréscimo desta distância. Portanto, há um forte indício de que o ponto ótimo esteja entre 40° e 50° . Se refinarmos mais os acréscimos dentro desta faixa - por exemplo de um em um grau - poderemos determinar com maior precisão o ponto procurado.

Valores de $\text{sen}2\alpha$, com maior refino de α

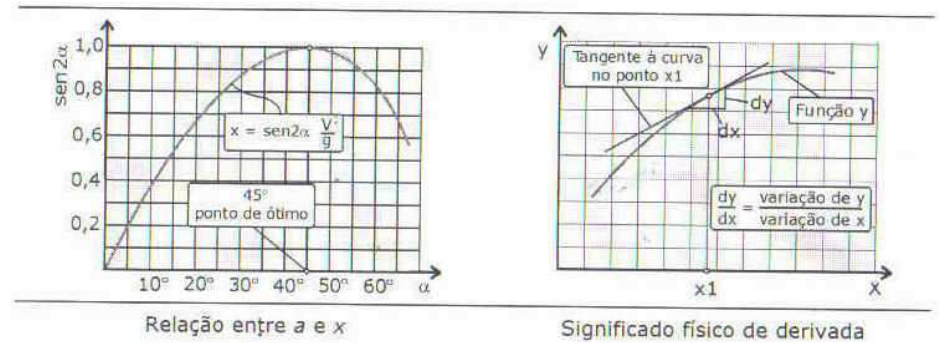
α	41°	42°	43°	44°	45°	46°	47°
$\text{sen}2\alpha$	0,990	0,994	0,997	0,999	1,000	0,999	0,997

Deste procedimento numérico podemos concluir, também, que o ângulo de lançamento que fornece a máxima distância é de 45° .

É importante uma análise deste raciocínio porque uma simulação por computador é feita de maneira muito parecida com a acima descrita.

Com os valores registrados nas duas tabelas acima podemos traçar o gráfico mostrado na figura abaixo.

O conceito de derivada acima utilizado talvez possa ser entendido com o auxílio do raciocínio seguinte. O seu significado físico é o ângulo da tangente à curva num determinado ponto - ver figuras abaixo. Ao derivar uma função f com relação a uma variável x , estaremos determinando a inclinação da curva num determinado ponto.



Ao igualarmos a derivada a zero, estaremos especificando o valor da variável $x - a$, no caso do projétil - para o qual a função assume o maior ou o menor valor - máximo ou mínimo. Determinamos assim o valor de x para que a tangente à curva seja horizontal.

TAREFAS PARA COMPLEMENTAÇÃO DO APRENDIZADO

Relacione alguns equipamentos, processos, sistemas ou produtos que, no seu modo de ver, poderiam ser melhorados em alguns aspectos - estética, custo, peso, manutenção, rendimento, durabilidade... É importante, para tirar maior proveito do exercício, que você esquematize modelos diagramáticos para visualizar melhor cada problema.

O trânsito configura uma questão caótica em quase todo o país. Operar remédios paliativos parece ser inócuo. Mesmo admitindo isso como verdade, identifique os pontos críticos de sua cidade em relação ao trânsito e, através de um modelo de sua própria idealização, tente otimizar este processo. Desenhos e esquemas podem ajudá-lo na busca desta otimização.

As salas de aula geralmente se constituem em locais não muito apropriados em termos ergonômicos ou de leiaute. Considerando-se, além de um usuário, um especialista em otimização, elabore um modelo otimizado desse ambiente. Seja exigente em relação às soluções: não aceite a primeira imediatamente. Lembre-se que a otimização é uma constante procura.

O rendimento de qualquer equipamento ou processo é sempre um dos objetivos da otimização. Você sabe que este rendimento é a relação entre o trabalho útil e o trabalho ideal. Procure matematizar tal definição para várias situações típicas da engenharia. Escreva, em cinco linhas, com suas próprias palavras, uma explicação para tais situações.

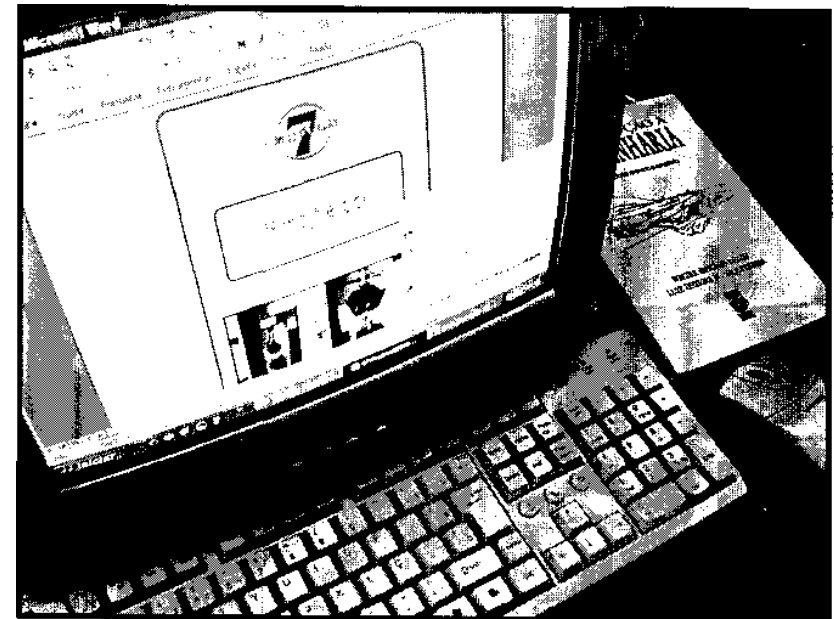
Tomar decisões quando estamos às voltas com inúmeras variáveis é algo complicado que requer decisões ponderadas. Neste texto foi apresentado um exemplo para se tomar a decisão da compra de um carro. Procure um caso similar e elabore uma estratégia para selecionar a melhor solução. Lembrar que apresentar o resultado desta sua elaboração mental para alguém ajuda a melhorar e analisar os resultados!

Depois da leitura deste capítulo procure estabelecer no mínimo dez atividades que complementem o aprendizado deste assunto.

Através de pesquisas em bibliotecas e na internet, selecione ao menos cinco livros que, na sua opinião, possam aprofundar as questões tratadas neste capítulo. Discuta com colegas ou com professores a pertinência da sua proposta.

Capítulo 9

Projeto



A ESSÊNCIA DA ENGENHARIA

Os engenheiros são por excelência identificadores, formuladores e solucionadores de problemas. A toda hora, em sua atividade profissional, estão às voltas com informações que, devidamente reunidas, ordenadas e trabalhadas, podem ser transformadas em resultados práticos e úteis.

Resolver problemas é uma atividade que sintetiza a importância da engenharia, sendo vital para a sua realização. Mas também é preciso identificar os problemas, encontrá-los, criá-los. Mais que isso, é essencial saber formular adequadamente as questões para as quais vamos procurar construir respostas. Uma necessidade só vai ser um problema - tecnicamente resolvível - depois de ter sido formalmente prescrito. Sem esse conjunto, pouco pode ser feito em termos práticos.

Identificar, formular e solucionar problemas - em engenharia - pode resultar na elaboração de um novo produto, sistema ou processo, ou a sua melhoria. Por produto entendemos o resultado de qualquer ação humana - aqui entendida como a ação técnica, por exemplo uma garrafa plástica, um chip, um sapato ou um manual de uso de uma calculadora científica. Processo seria um conjunto de atividades concretas que visam à realização de algo - um produto, por exemplo.

O termo sistema é aqui entendido como uma combinação completa de equipamentos, materiais, energia, informações de ordem econômica, técnica, social e pessoal necessária para alcançar alguma meta específica. Um sistema pode ser uma estação de distribuição de energia elétrica, um processo para detectar falhas na solda em um vaso pressurizado, a produção de mudas em estufas - para fins de reflorestamento - ou o levantamento das implicações da instalação de uma bateria de rotores eólicos. Um grande sistema pode ser subdividido em subsistemas, que são conjuntos de componentes que cumprem funções específicas no sistema global.

Como é que o engenheiro soluciona os seus problemas? Projetando! É através do projeto que ele aplica de forma mais significativa os seus conhecimentos técnicos e científicos. Na verdade, ao projetar, um engenheiro aplica mais que apenas conhecimentos formais específicos de sua área de atuação. Usa também conhecimentos econômicos, éticos e sociais, além de

experiência e bom senso. Mais que isso! Dá vazão à sua imaginação criadora na busca de algo novo que possa atender às necessidades da sociedade. Por isso, podemos considerar que o projeto é a essência da engenharia.

COMO SER UM BOM PROJETISTA

Em alguma medida, para projetar, devemos identificar, formular e solucionar um problema. Da habilidade de compor esses passos vai depender nosso sucesso na ação projetual.

Além das qualidades registradas acima, para ser um bom projetista devemos também saber empregar dois processos muito importantes na elaboração de um trabalho: análise e síntese. Ambos fazem parte de qualquer plano de pesquisa, seja ela científica ou tecnológica. A análise envolve a divisão do sistema físico real em componentes mais simples, para que possamos estudá-los separadamente com maior profundidade. Com o sistema fracionado em subsistemas, podemos construir modelos teóricos de estudo de cada uma dessas partes. E como se dissecássemos o problema maior até identificarmos os fenômenos fundamentais envolvidos. Depois dessa investigação mais detalhada, reunimos todas as conclusões e propostas de solução, sintetizando uma composição unificada dos resultados obtidos. Temos então em mãos uma solução global para o problema, uma resposta conclusiva.

Difícilmente conseguimos sistematizar todas as nuances que uma atividade de projeto envolve. Apenas lermos ou assistirmos a aulas sobre projeto não nos garante uma boa formação na área. Vivenciar com dedicação as tarefas propostas nos cursos formais, desenvolver os trabalhos sugeridos por pessoas mais experientes e estar sempre em contato com leituras, as mais diversas, é uma boa orientação para quem quer ser um bom projetista.

Neste capítulo vamos traçar algumas orientações relativas ao processo de projeto em engenharia.

As linhas gerais aqui apresentadas - procedimentos comuns à maioria dos processos de solução de problemas - devem servir como orientação para o trabalho dos profissionais da engenharia. Mas não substituem nem a prática da aprendizagem contínua nem a experiência particular de cada um, que, julgamos, são partes integrantes de um bom processo de projeto.

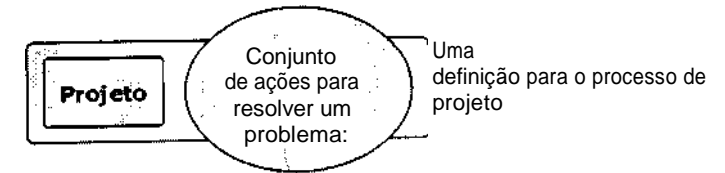
O QUE É PROJETO?

Talvez por parecer uma experiência humana tão corriqueira, presente no dia-a-dia das pessoas, nos mais diversos campos de atividades, todos nós nos

consideramos de alguma forma projetistas. Organizar uma festa para o final de semana, conceber a construção de uma prateleira para organizar livros ou preparar uma experiência para uma feira de ciências são exemplos de projetos; afinal, exigem experiência, bom senso, criatividade, habilidade, ação...

Aqui nós vamos falar de um outro tipo de projeto, mais técnico e que exige - além dos aspectos acima lembrados - técnica, regras e roteiro de ação.

Projeto - em engenharia - é uma atividade que envolve ciência e arte. Envolve também conhecimentos dos mais diversos assuntos do saber humano, o que implica experiência de quem o desenvolve. Nós (autores) pensamos assim: a ciência pode ser aprendida através do exercício do uso de técnicas, da formação básica e da realização de cursos específicos. Mas a arte precisa ser aprimorada com experiência, dedicação e força de vontade pessoal. Deve ser exatamente por isso que a atividade de projetar tanto fascina, pois estimula o nosso desenvolvimento intelectual em várias áreas.



Projeto é um plano de execução, é um planejamento para se alcançar objetivos dentro de metas de orçamento e tempo; é o conjunto de atividades que precede a execução de um produto, sistema, processo ou serviço. Podemos *realizar*, por exemplo, um projeto de viabilidade econômico-financeira, um projeto editorial, um projeto de um equipamento para extração de óleo de mamona, um projeto de pesquisa ou um projeto de trabalho acadêmico.

Assim, projetar é estabelecer um conjunto de procedimentos e especificações que, se postos em prática, resultam em algo concreto ou em um conjunto de informações. Portanto, o processo do projeto é a aplicação específica de uma metodologia de trabalho à resolução de problemas.

Mas não devemos confundir projetar com descobrir, nem tampouco projeto com invenção, posto que são coisas diferentes. Descoberta ou invenção podem estar presentes num projeto, mas não fazem, necessariamente, parte dele. Descobrir é ter a primeira visão ou o primeiro conhecimento relacionado com algum assunto. O projeto é o produto de um plano e de um trabalho deliberadamente realizados para satisfazer alguma necessidade. O seu resultado é algo que nem sempre existiu e, na verdade, constitui uma criação

De forma geral podemos identificar dois tipos de projeto:

- PROJETO POR EVOLUÇÃO - é aquele que surge da adaptação ou variação de um projeto anterior. Esta variação pode ficar restrita, por exemplo, à forma ou às dimensões do produto. Este tipo de projeto pode surgir em resposta ao rápido desenvolvimento da tecnologia ou a descobertas científicas recentes, que permitem novas explorações tecnológicas. Com esse avanço, têm-se cada vez mais condições de melhorar produtos existentes. Por se ter conhecimento do desempenho do sistema anterior, o projeto por evolução apresenta menores riscos de falhas, tendo, entretanto, menores possibilidades de competição, por apresentar poucas novidades ao consumidor.
- PROJETO POR INOVAÇÃO - é aquele que surge da aplicação de conhecimentos anteriormente não experimentados. Normalmente é uma resposta a uma descoberta científica, que gera um novo conjunto de conhecimentos técnicos, cuja utilização pode romper com práticas tradicionais. Este tipo de projeto resulta em novos produtos que, por falta de conhecimento do desempenho de produtos análogos, correm maior risco de apresentar erros.

PROCESSO DE PROJETO

Um projeto não começa com um profissional postado à frente de um computador ou de uma mesa, munido de papel, calculadora, manuais ou outros utensílios, como imaginam aqueles que não trabalham na área. Os cálculos, esquemas, esboços, tomadas de decisões etc. são atividades decorrentes de inúmeras outras tarefas, algumas de ordem técnica, outras fruto de palpites, outras ainda já determinadas anteriormente.

O projeto também não se encerra quando a resposta final do problema é proposta. A solução deve ser ainda comunicada, de forma clara, correta e concisa. Por isso a comunicação é uma tarefa de muita responsabilidade e de extrema importância para a engenharia. (Infelizmente há quem afirme - de maneira simplista e equivocada - que engenheiro não precisa saber escrever!)

O sucesso do projeto tem forte ligação com a adoção de um bom processo solucionador, como bons profissionais e professores de engenharia reconhecem. Naturalmente que apenas o emprego de um bom método de trabalho, por si só, não garante tal sucesso; mas é um fator determinante para isso.

Embora em muitos casos possa ser entendido como mais amplo e complexo, o processo de projeto pode ser esquematizado, simplificada, conforme o modelo diagramático apresentado na figura seguinte.

Esquema do processo de projeto

Identificação de uma necessidade

Definição do problema

Coleta de informações

Concepção

Avaliação

Especificação da solução

Comunicação

Mesmo sem se dar conta disso, quem resolve um problema estará executando esses passos. Eles não estarão necessariamente naquela ordem, ou nem mesmo precisam estar cronologicamente bem delimitados, mas quase sempre poderão ser identificados.

Não obstante o fato de diferentes autores e projetistas sugerirem abordagens diversas para este trabalho, acreditamos que a aplicação de um método seja sempre vantajosa. Por isso, sugerimos que uma determinada linha de solução de problema seja aprendida e exercitada, porque sistematiza e facilita o trabalho do engenheiro.

As técnicas de projeto têm evoluído continuamente, sendo aprimoradas a partir de experiências particulares. Isso explica por que não existe um padrão único e absoluto para o processo de projeto e nem uma seqüência de passos aceita universalmente.

AÇÃO CIENTÍFICA E AÇÃO TECNOLÓGICA

Na educação formal universitária aprende-se o método científico, identificado como sendo a progressão lógica de eventos que conduzem à solução de problemas científicos. É fundamental a aplicação de um método, e não obrigatoriamente a obediência a um método fechado e absoluto, como se fosse um roteiro a ser empregado em qualquer caso.

A solução de problemas de engenharia, embora semelhante para várias situações, apresenta algumas diferenças quando comparada à solução de problemas científicos. Uma comparação entre essas duas ações pode ser esquematizada conforme mostrado na figura a seguir.

Estado da arte	Conhecimentos
Necessidade	Curiosidade
Viabilidade	Análise
Produção	Prova

A ação científica é iniciada com um conjunto de conhecimentos existentes. A curiosidade científica provoca a arguição das leis da ciência e dos fenômenos da natureza em geral e, como resultado desse questionamento, o cientista formula hipóteses, que são submetidas à análise lógica e à experimentação, que a confirma ou rejeita. Se análises e experimentações revelam a não validade da hipótese formulada, ela pode ser refeita através de um processo iterativo. Finalmente, quando a nova idéia é confirmada - satisfazendo à hipótese original - ela é aceita como prova para trabalhos futuros da comunidade científica, e passa a fazer parte dos conhecimentos científicos dominados.

A ação tecnológica é muito similar à científica. Esta atividade é iniciada com o conhecimento do estado da arte, que inclui o conhecimento científico atual e o conjunto de inventos, componentes, materiais e métodos de fabricação dominados, além das condições econômicas, mercadológicas, ambientais e sociais. Antes de procurar dar amparo à curiosidade científica, este método visa a solucionar problemas práticos, que são, não raramente, expressos através de fatores econômicos.

É importante ressaltar novamente que, apesar de uma preocupação com o lucro sempre estar presente, os novos tempos do comportamento social imputam aos projetistas outras variáveis importantes que estão relacionadas aos aspectos de ordem ambiental e social com bastante ênfase. Este fator é extremamente cobrado hoje, principalmente pela ação de cidadãos que começam cada vez mais a ter contato com as possibilidades de impactos ecológicos, como resultado do uso de tecnologias agressivas ao meio ambiente. Quando uma necessidade é identificada, deve ser conceitualizada como um modelo de pensamento. Ato contínuo, a concepção do projeto deve ser submetida a uma análise de viabilidade, quase sempre usando do artifício de iterações sucessivas, até que um produto ou processo aceitável seja conseguido, ou o projeto seja abandonado. Quando o projeto entra na fase de produção e comercialização, ele inicia a competição no mercado. O ciclo é então fechado quando o produto é aceito como parte da tecnologia corrente e passa, por sua vez, a fazer parte do estado da arte.

FASES DO PROJETO

Diversas fases compõem o processo solucionador de problemas. Em cada uma delas, várias informações são necessárias para que se alcance o sucesso do projeto. Estas informações são, basicamente, de dois tipos: gerais e específicas. As informações gerais são aquelas de conhecimento tanto dos engenheiros quanto dos leigos no assunto. Já as informações específicas são as referentes a assuntos técnicos pertinentes ao projeto em pauta. Nestas últimas é que se enquadram, por exemplo, informações referentes às propriedades dos materiais, processos de fabricação, desempenho de sistemas anteriores ou técnicas experimentais, e que podem ser encontradas em referências especializadas e em catálogos de fabricantes.

Além dessas informações, outras podem ser necessárias para o bom andamento de um projeto. Embora de cunho específico, estas informações são referentes a áreas de conhecimentos não tipicamente de engenharia, tais como: estudo de mercado, finanças, pessoal, ecológicas, sociais etc.

Em seu trabalho o engenheiro deve transformar as informações disponíveis, e que a princípio não estão ordenadas ou selecionadas, numa saída útil para o processo do projeto.

Desde que armado das informações necessárias, o engenheiro projetista - ou a equipe de projeto - inicia a operação de projeto através do uso de técnicas apropriadas e ferramentas computacionais ou experimentais. Neste estágio, pode ser necessário construir um modelo matemático e proceder a uma simulação do funcionamento dos componentes, usando para isso um computador ou testes, após a construção de um protótipo.

Embora o resultado final de um processo solucionador seja normalmente um produto ou um sistema, muitos projetos podem objetivar a geração de novas informações. A propósito, muitos projetos, por não demonstrarem viabilidade técnica, econômica ou apresentarem problemas de ordem social e ambiental - hoje isso é cada vez mais cobrado pela sociedade -, são interrompidos no transcorrer do seu desenvolvimento. Nestes casos, no mínimo, muitas informações terão sido geradas e, se forem adequadamente registradas, poderão ser de grande valia no futuro.

Por outro lado, é bom lembrar que nenhum projeto é iniciado se não estiverem garantidos os recursos financeiros e as questões legais - com setores governamentais e órgãos fiscalizadores. Na realidade, raros são os problemas de engenharia que não se complicam por considerações econômicas ou questões de prazo ou legislações vigentes, diferenciadas para os diversos países. Normalmente uma solução é aceita se apresenta possibilidades comerciais -

isso para empresas privadas - ou uma relação custo/benefício compensadora - quando o cliente é uma entidade pública.

O resultado de um projeto não tem vida infinita, e em algum momento poderá ocorrer o seu obsoleto, que pode se dar quando algo novo e mais eficaz aparece para cumprir a mesma função, ou as necessidades do consumidor mudam.

As fases que compõem o processo do projeto são comentadas no próximo item.

IDENTIFICAÇÃO DE UMA NECESSIDADE

O passo inicial do processo de projeto é a identificação de uma necessidade, que pode surgir de muitas maneiras. O mais comum é que surja da insatisfação com a situação presente, ou com a solução atual. Essa tarefa pode ser de vital importância para a sociedade, uma vez que a necessidade, usualmente, surge na ânsia de reduzir custos, aumentar a confiabilidade ou o desempenho de sistemas, ou, simplesmente, para satisfazer o público consumidor, que cansou de determinado produto ou mudou de hábitos.

As vezes um projeto tem início quando o próprio projetista identifica uma necessidade e decide abordá-la num trabalho. Mas isso nem sempre acontece.

Durante a própria formação do engenheiro, os problemas a serem resolvidos geralmente surgem por orientação de um professor, que indica um tema a ser desenvolvido por um determinado método. Nesta ocasião se estará perfazendo um caminho que conduz à aprendizagem do processo solucionador de problemas, e que mais tarde será aplicado a situações práticas.

Porém, também na vida profissional, esta forma de aparecimento de problemas postos à solução é comum. O engenheiro de uma empresa estará constantemente às voltas com a solução de problemas que lhe serão apresentados por outros profissionais. Apesar de que, quando o engenheiro tem a capacidade de estar constantemente identificando necessidades, isso será de grande valia não só para a empresa na qual trabalha, mas para toda a sociedade.

Identificação de uma necessidade

Definição do problema

Coleta de informações

Concepção

Avaliação

Especificação da solução

Comunicação

Muitas organizações têm equipes de pesquisadores que estão encarregados de gerar idéias que sejam úteis para as suas necessidades. Estas podem ser identificadas como resposta da entrada em operação de equipamentos, serviços pessoais ou ainda de operações comuns de venda. Outras necessidades são geradas por consultores externos, agentes de compras, agentes governamentais, associações de emprego, ou por atitudes ou decisões do público em geral.

Ao contrário do que pode parecer à primeira vista, o reconhecimento de uma necessidade não é um trabalho fácil ou corriqueiro e constitui, na verdade, um ato altamente criativo.

O engenheiro deverá estar constantemente atento ao que acontece à sua volta para poder captar, com precisão, aquilo que clama por uma solução. Isto, por si só, já justificaria a importância da engenharia perante a sociedade, posto que são exatamente os seus profissionais que transformam em realidade, pelos melhores meios disponíveis, novas estruturas, dispositivos, máquinas e processos que contribuem para o homem se relacionar com o seu meio ambiente e viver com dignidade.

Muitas vezes, uma necessidade pode não estar evidente e se encontrar ofuscada por outra, exigindo, para a sua descoberta, um árduo trabalho, ou mesmo um vislumbamento. Por exemplo: o projeto de um automóvel mais seguro pode nascer da necessidade de se produzir um veículo mais econômico, com menor nível de ruído interno ou com menor possibilidade de causar poluição ambiental; o projeto arquitetônico de um edifício residencial pode, em função de suas linhas arrojadas, apontar a necessidade de pesquisas de novos materiais, novos métodos de cálculo e alternativas para economia de energia.

DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Podemos estabelecer pelo menos uma diferença básica entre a identificação de uma necessidade e a formulação do problema. O problema é mais específico, objetivo, e diz respeito a uma questão concreta. A necessidade é mais geral e abrangente, indicando um tema mais amplo. Se a necessidade for melhorar o escoamento de tráfego num entroncamento entre rodovias, o problema poderá ser a construção de um viaduto; se a necessidade for melhorar a segurança contra incêndios em

Identificação de uma necessidade

Definição do problema

Coleta de informações

Concepção

Avaliação

Especificação da solução

Comunicação

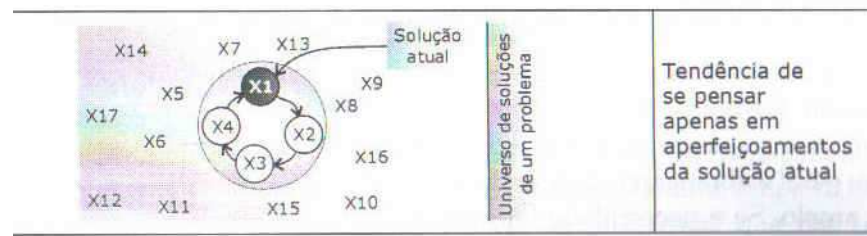
edifícios, o problema poderá ser a construção de escadas de segurança; se a necessidade for armazenar um produto químico inflamável, o problema poderá ser a construção de tanques esféricos.

Um dos passos mais críticos do processo solucionador é a definição do problema. Não que identificar uma necessidade seja tarefa fácil ou de menor importância. Mas definir de forma clara e objetiva o problema a resolver tem um peso fundamental em todo o processo solucionador, pois é esta definição que vai orientar a resposta, que vai facilitar ou complicar a busca de soluções, que vai ampliar ou reduzir o universo de possíveis soluções. Além do mais, se o problema for inicialmente mal formulado, todo o trabalho seguinte poderá ser inútil, por se ter resolvido algo sem utilidade.

Uma análise criteriosa das condicionantes do problema também deve ser feita, para evitar limitações desnecessárias, sem fundamentos lógicos. Este passo, portanto, requer uma profunda análise, justificando, ainda, o processo de retroalimentação, que consiste em voltas sucessivas de uma determinada fase à sua precedente para reavaliação e tomada de decisão.

Não se deve cometer o erro de confundir a solução com o próprio problema. Este alerta é necessário porque é comum, ao se tentar resolver algo, ficarmos às voltas com tentativas de aperfeiçoar a situação atual. Para que isso não ocorra, sugerimos que o projeto seja iniciado pela formulação mais clara possível do problema. Dessa forma evitamos também a tendência de nos emaranharmos, de início, com tentativas de apresentar soluções que só deverão ser tratadas mais adiante.

Essa tendência de ficarmos presos pela solução atual pode ser mais bem visualizada através de uma interpretação do esquema abaixo apresentado. É comum que se cometa o equívoco de dar voltas ao redor da solução atual, sem perceber que inúmeras outras soluções poderiam, perfeitamente, cumprir os objetivos pretendidos.



E sempre vantajoso definir o problema da maneira mais ampla possível. Se a definição for ampla, temos mais chance de encontrar soluções não convencionais ou não-usuais. Um tratamento abrangente do problema pode ter

consequências altamente gratificantes. Entretanto, o grau com que se vai alargar a formulação de um problema depende de fatores que muitas vezes estão fora do controle do projetista. A busca da formulação genérica pode conduzi-lo a um conflito direto com decisões do empregador ou cliente, ou pode, ainda, remetê-lo para áreas de responsabilidade de outras pessoas numa organização.

É muito útil nesta fase o uso do conceito da caixa-preta. Durante a formulação do problema, através deste conceito, apenas os estados inicial e final são importantes e, portanto, identificados. O que vai acontecer entre um estado e outro - ou seja, como vai ocorrer a transformação das variáveis de entrada na resposta da saída - é algo que se vai definir posteriormente.

A técnica da caixa-preta consiste em desconsiderar, preliminarmente, o processo necessário para transformar o estado inicial no estado final. Esta transformação é substituída por uma *caixa preta* que, mais tarde, quando o problema já estiver suficientemente definido, será estudada e definida.



Em muitos casos, o grau de generalização na formulação do problema dependerá da sua importância, dos limites de tempo e recursos disponíveis e da posição do projetista na hierarquia da empresa. Entretanto, o engenheiro não pode furtar-se da responsabilidade da formulação mais ampla possível. Isto só virá em seu benefício e da própria sociedade.

A definição do problema envolve descrevê-lo pormenorizadamente, especificando os seus estados formais - dados iniciais e características finais do sistema - e os objetivos a serem alcançados. A definição também deve identificar os principais termos técnicos e, em especial, as restrições impostas - condicionantes - além dos critérios que serão utilizados para avaliar o resultado final. Estes critérios, obviamente, deverão estar definidos antes que se tenha um conjunto de soluções provisórias, dentre as quais vai ser escolhida a mais apropriada.

Talvez o melhor procedimento nesta fase seja estabelecer uma definição prévia do problema e, numa segunda iteração, depois de reunir várias informações, defini-lo mais precisamente. Com isto estaremos verificando, inclusive, se o problema é merecedor de atenção e, principalmente, evitando o tão prejudicial emaranhamento prematuro com minúcias.

Sendo a formulação uma visão ampla do problema, devemos, nesta fase, concentrar nossa atenção na identificação dos estados inicial e final. Num outro momento, teremos oportunidade para encontrar uma solução, que consiste na busca de uma estrutura material ou de informações - na forma de sistemas ou subsistemas - que viabilize a transformação pretendida do estado inicial para o final.

Um exemplo de como esta formulação pode ser ampliada é mostrado na figura a seguir, onde, usando a técnica da caixa-preta, são definidos os estados inicial e final em ordem crescente de abrangência, de 1 até 5. As linhas desse quadro não identificam necessariamente os estados inicial e final de uma formulação particular. Por exemplo, à situação final 2 pode corresponder o estado inicial 1, ou 5, ou 3... A necessidade que gerou o problema ali formulado - em diversos graus de amplitude -, foi a de tornar disponível energia elétrica nas residências de uma cidade. Podemos facilmente perceber que o grau de abrangência da formulação cresce, e que a última formulação permite outras soluções além da geração de energia através de uma usina hidrelétrica.

Estado Inicial	Estado final
Energia elétrica gerada na usina	Lâmpada acesa na residência do consumidor
Energia cinética produzida pela turbina	Energia elétrica disponível na residência
Energia potencial (água represada)	Energia elétrica disponível para consumo
Fluxo livre da água de um rio	Energia elétrica disponível
Recursos da natureza	Energia para consumo

Múltiplas formulações de um problema

COLETA DE INFORMAÇÕES

A grande frustração que se tem ao efetuar o primeiro projeto costuma ser fruto da escassez de informações. Se a área de atuação do projetista não for exatamente a do projeto, ele terá pouco material sobre o trabalho a ser desenvolvido - referências bibliográficas, formulações análogas, modelos, endereços de fabricantes. Algo parecido acontece com principiantes na arte projetual. Porém, se houver coincidência, ele terá muitas referências e poderá

praticamente iniciar o trabalho esquematizando a solução, ou desenvolvendo as informações disponíveis pertinentes à solução do problema.

As informações necessárias num projeto normalmente são diferentes daquelas associadas aos cursos acadêmicos. Em geral, as informações contidas em livros textos não são de emprego direto, pois a necessidade é sempre de dados mais específicos do que os publicados na literatura técnica. Porém, são eles que fornecem os conhecimentos básicos para o domínio dos fenômenos que compõem todo e qualquer problema.

Artigos publicados como resultados de pesquisa e desenvolvimento de consultorias governamentais e de institutos de pesquisa, catálogos de fabricantes, patentes, manuais e literatura técnica, páginas disponíveis na internet, em geral, são importantes fontes de consulta. Discussões com especialistas, internos ou externos à organização a que pertence o projetista, também são de grande valia.

Nesta fase devemos coletar informações de acordo com:

- **DADOS DE ENTRADA E SAÍDA** - levantamento dos parâmetros disponíveis antes e após a transformação desejada, bem como das suas possíveis variações.
- **CONDICIONANTES DE ENTRADA E SAÍDA** - especificação dos valores que podem assumir cada uma das variáveis de entrada e saída, como peso, volume e formato, por exemplo.
- **CRITÉRIOS** - base de preferência a ser aplicada para avaliar o mérito relativo das várias soluções encontradas, o que orientará, ainda, a concepção do projeto; por exemplo, se ficar estabelecido que o principal critério é a segurança, a procura de soluções deverá ser encaminhada neste sentido.
- **UTILIZAÇÃO** - é importante que seja estimada com a maior precisão possível a utilização que terá o sistema a ser projetado. Com este dado, podemos concentrar a procura considerando os aspectos relacionados com os custos de produção e utilização. Se o sistema tiver uma pequena vida útil, pouca responsabilidade ou pequeno grau de utilização, naturalmente que o projeto não exigirá o mesmo tratamento que um outro em que estas características necessitem de maior nível de detalhamento. Então, uma maior taxa de utilização

Identificação de uma necessidade

Definição do problema

Coleta de informações

Concepção

Avaliação

Especificação da solução

Comunicação

implicará um custo mais elevado - dos materiais empregados, por exemplo - e os lucros só virão em função de uma utilização mais intensa ou mais duradoura. Exemplo: se a travessia de um rio só será efetuada raras vezes num certo local, é evidente que a solução *que* minimizará o custo total - a soma dos custos de projeto, da construção e da travessia - não será uma ponte. Ao contrário, se milhares de pessoas tiverem que cruzar com frequência o rio naquele lugar, certamente que um barco a remo não deve ser a melhor solução.

- **VOLUME DE PRODUÇÃO** - esta característica terá forte influência na escolha do sistema de fabricação. Este fator terá uma importância decisiva no custo final da produção. Se apenas dez unidades de um determinado equipamento devem ser fabricadas, os instrumentos para a sua produção deverão ser diferentes dos empregados no caso em que ele fosse fabricado em larga escala. Podemos lembrar, por exemplo, que os preços relativamente acessíveis dos equipamentos eletrônicos, hoje em dia, devem-se à utilização de processos de fabricação automatizados. Muitos componentes, devido ao seu grau de precisão exigido e ao tamanho reduzido, só têm podido ser fabricados graças a modernos processos de produção e montagem.

CONCEPÇÃO DA SOLUÇÃO

Um projeto é um procedimento muito individualizado, não havendo regras rígidas para se ensinar o seu sucesso. Talvez por isso, pouco se tem escrito sobre a fase da concepção, que é o coração deste processo.

Após ter definido o problema e coletado as informações necessárias para iniciar o projeto, o projetista pode se empenhar ativamente na busca de soluções, sem, necessariamente, preocupar-se com detalhamentos de todas elas. Entretanto, em determinados casos pode ser vantajoso realizar um projeto preliminar, com o objetivo de formular uma primeira idéia de uma solução proposta, ou mesmo para esclarecer algumas características desta solução.

Uma boa revisão bibliográfica, realizada na fase anterior, e o uso de métodos que estimulem a criatividade são de grande valia para a concepção de soluções.

Identificação de uma necessidade

Definição do problema

Coleta de informações

Concepção

Avaliação

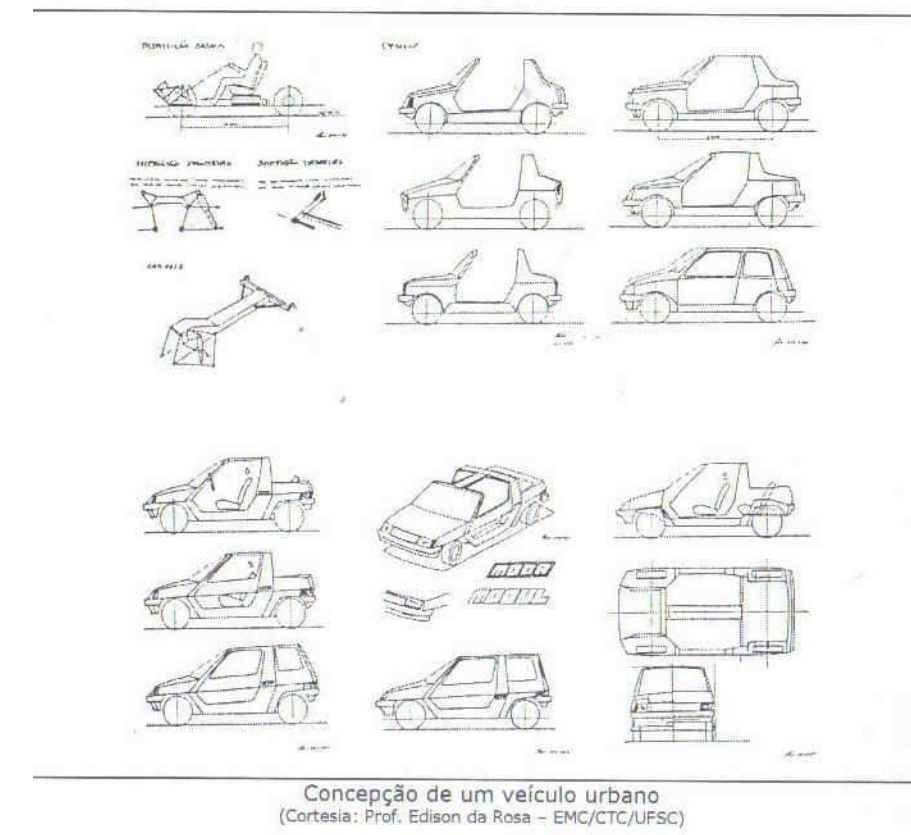
Especificação da solução

Comunicação

Nesta fase, são especificados os elementos, os mecanismos, os processos ou as configurações que resultam no produto final, e que satisfazem necessidades identificadas. Talvez seja esta a fase mais atraente do processo do projeto, por permitir que coloquemos em prática todo o nosso acervo de conhecimentos técnicos e científicos. Aí também podemos, de maneira mais intensa, dar vazão à nossa imaginação criadora.

Em muitos casos, a fase da concepção envolve a formulação de um modelo, que pode ser analítico ou experimental. Em algumas disciplinas de um curso de engenharia, muita ênfase tem sido dada ao desenvolvimento de modelos analíticos baseados em princípios físicos, deixando de fornecer a devida importância aos modelos experimentais. O inverso também tem ocorrido. Não devemos, no entanto, perder de vista sua importância para a vida profissional futura, pois ambos têm seus méritos.

Raramente esta fase culmina com um conjunto de soluções completas e mutuamente excludentes. Ao contrário, geralmente as soluções são parciais e a resposta final poderá ser uma combinação de diversas delas.



São vitais para o bom desempenho desta fase os processos de análise e de síntese. Desmembrar cada possível solução, elemento a elemento, e após rearranjá-las apropriadamente, é uma excelente forma de conseguirmos ter boas soluções. Mas a solução final só poderá ser concluída após a fase de avaliação, quando esta será otimizada e, posteriormente, detalhada para a especificação final.

Um aspecto que merece ser ressaltado é a importância das idéias simples, que, ao contrário do que alguns imaginam, são de muita utilidade prática. Não só por serem mais econômicas de produzir e de usar ou por terem um funcionamento que inspira maior confiança, mas, também, pela satisfação que trazem a quem as criou. O bom engenheiro não se sente efetivamente satisfeito antes de otimizar e simplificar as suas idéias até onde for possível. Mecanismos, circuitos, processos de fabricação, métodos de operação e manutenção sempre podem ser simplificados e otimizados.

Um exemplo valioso da fase da concepção de um projeto de engenharia pode ser acompanhado através da figura anterior. Consiste aquele esquema na especificação preliminar de um veículo urbano recreativo.

AVALIAÇÃO DO PROJETO

O termo avaliação é aqui usado no sentido de julgamento, e envolve uma análise completa do projeto. Desta fase constam cálculos detalhados do desempenho do sistema. Em alguns casos, a avaliação pode envolver extensos testes de simulação com modelos experimentais, em escala reduzida ou ampliada, ou de protótipos em tamanho real.

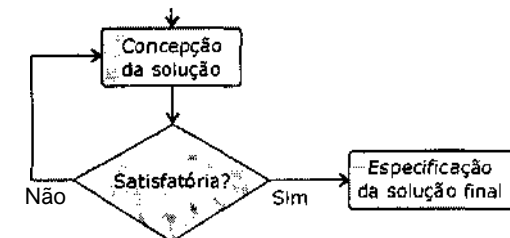
Como o projeto é um processo iterativo, muitas vezes erros cometidos são uma boa fonte de dados para trabalhos futuros. Por isso devem ser devidamente registrados para consultas posteriores, pois um acerto é dependente de outro não tão preciso, ou mesmo de um erro anterior.

Num processo de projeto cada etapa requer uma avaliação, sendo comum que - para se considerar cumprida uma determinada fase - se recorra a um procedimento repetido de tentativas ou iterações. A necessidade de voltar de uma fase para a anterior, e tentar outra vez, não deve ser considerada como uma falha, pois o projeto é um ato criativo e, como tal, é também o

Identificação de uma
necessidade
Definição do problema
Coleta de informações
Concepção
Avaliação
Especificação da solução
Comunicação

resultado de um processo de maturação. Por isso o projetista deve adquirir uma alta tolerância para falhas, além de tenacidade e determinação para conduzir o seu trabalho até o êxito.

A natureza iterativa do projeto conduz a melhores resultados técnicos, permitindo que se chegue a sistemas de desempenhos mais eficientes, com mínimo peso ou custo, por exemplo. Através de um fluxograma, este processo pode ser esquematizado conforme mostrado na próxima figura.



Fluxograma representando o processo iterativo

A avaliação é um importante procedimento para cada fase do projeto e, mais especificamente, quando se está chegando ao seu final. Em geral, dois tipos de conferências são utilizadas: a verificação matemática e a verificação através do uso do que se convencionou chamar bom senso. A verificação matemática é realizada por meio de equações usadas em modelos analíticos ou em programas computacionais apropriados. O *bom senso*, nada mais é do que experiência acumulada aliada à aplicação de um método empírico confiável na abordagem do problema.

ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO FINAL

Se a concepção foi aprovada na fase da avaliação, e estando garantidas sua viabilidade e exequibilidade, partimos para o projeto detalhado, que objetiva estabelecer as especificações de engenharia da solução escolhida, definindo-a pormenorizadamente.

Nesta fase é preparado o memorial descritivo do projeto, que consiste na descrição detalhada das suas partes constituintes. Um memorial costuma conter vários itens, conforme sugerido na tabela abaixo.

Identificação de uma necessidade
Definição do problema
Coleta de informações
Concepção
Avaliação
Especificação da solução
Comunicação

Conteúdo geral de um memorial descritivo

Objetivos, funções e localização de cada uma das partes componentes do projeto

Características básicas da solução final e propriedades dos materiais especificados

Valores previstos para os parâmetros e variáveis envolvidas, com referência às particularidades a serem observadas quando da recepção de materiais e componentes

Detalhes construtivos e operacionais

Desenhos detalhados de componentes, sistemas e subsistemas

COMUNICAÇÃO DO PROJETO

O propósito de um projeto é satisfazer alguma necessidade específica do cliente ou consumidor. Assim, o projeto pronto deve ser apropriadamente comunicado, ou ele pode perder muito do impacto ou significância. Uma ideia, por melhor que seja, se não for bem comunicada, perderá muito do seu valor.

A comunicação pode ser oral ou escrita. Relatórios técnicos, esquemas detalhados, listagens de programas computacionais e modelos icônicos frequentemente fazem parte do trabalho final de comunicação do projeto. São comuns, ainda, rodadas de diálogos entre os projetistas e quem encomendou o trabalho. Devemos portanto encarar esta atividade como parte integrante do projeto.

Uma atenção especial deve ser dada ao relatório final, pois, na maioria das vezes, é apenas esse resultado final o que ficará de um trabalho, e ele precisa historiar com precisão e clareza tudo o que foi realizado.

Em linhas gerais, as seguintes informações costumam fazer parte das comunicações dos trabalhos dos engenheiros:

- MEMORIAL DESCRITIVO - contendo as características básicas referenciadas no item *especificação da solução final*;

Identificação de uma necessidade

Definição do problema

Coleta de informações

Concepção

Avaliação

Especificação da solução

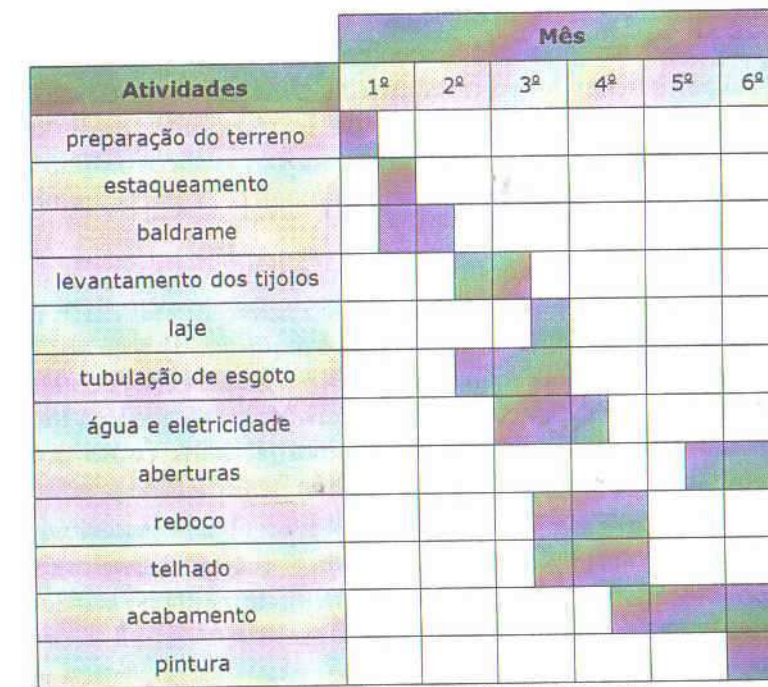
Comunicação

MEMORIAL DE CÁLCULO - apresentando os cálculos realizados para o dimensionamento; é recomendável referenciar as normas utilizadas nestes cálculos;

LISTA DE MATERIAIS - indicando os materiais a serem empregados na produção do sistema projetado, bem como quantidades e especificações comerciais;

CRONOGRAMA - apresentando os prazos de execução do projeto ou da obra, ou de desembolso de recursos financeiros; objetivam estes cronogramas mostrar a distribuição, por exemplo, das atividades durante o desenrolar das operações;

ORÇAMENTO DO PROJETO - relacionando os custos, para demonstrar o montante dos recursos envolvidos na elaboração do projeto e da obra; devem ser discriminados os custos com pesquisas, serviços especializados de terceiros, consultorias técnicas, materiais e equipamentos adquiridos ou alugados, honorários do projetista - ou equipe - etc.;



Cronograma geral de execução de uma casa

INFORMAÇÕES GERAIS - características básicas da solução proposta; especificação de detalhes construtivos; justificativas de métodos, técnicas e procedimentos adotados; critérios utilizados para os cálculos

de verificação; dados operacionais; necessidades de manutenção do sistema em operação; simbologia, convenções e unidades adotadas. Muitas destas informações compõem, na verdade, o memorial *descritivo*.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Cada projeto tem uma história particular, definida pelas suas características. Entretanto, quando um projeto é iniciado, seja ele do tipo que for, uma seqüência de eventos é desdobrada, formando um modelo que é - num sentido mais amplo - comum a todos os projetos. Essa estrutura formal - que ocorre no dia-a-dia da profissão e que sintetiza as etapas básicas que compõem o processo de trabalho dos engenheiros - foi apresentada no item *fases do projeto*.

Porém isso tudo não encerra o trabalho. Uma série de outras tarefas deve ser ainda cumprida, o que depende de planejamentos tais como:

- PROCESSO DE PRODUÇÃO - é comum nesta fase a continuidade dos trabalhos trocar de responsabilidade. Uma nova série de experiências técnicas relativas a projetos de ferramentas, equipamentos, engenharia de produção e outros dados específicos entram em jogo. Entretanto, o projetista deve continuar o acompanhamento dos trabalhos.
- DISTRIBUIÇÃO DO PRODUTO NO MERCADO CONSUMIDOR - nesta fase a participação do projetista também costuma ser indireta. É uma fase importante no planejamento, pois os requisitos de mercado poderão influenciar profundamente o projeto, e devemos estar continuamente atentos a estes aspectos. O planejamento de mercado é importante nesta fase, que envolve, basicamente, itens como projeto da embalagem, planejamento do sistema de armazenagem, atividades promocionais e sistema de distribuição.
- CONSUMO - esta preocupação está presente em toda a atividade do projeto, injetando dados que influem diretamente no seu desenrolar, tais como manutenção, segurança, estética, vida útil, economia de operação.
- RETIRADA DO PRODUTO DO MERCADO - alguns sistemas são projetados para uma vida predeterminada; outros, entretanto, não o são. Quem os produz deve estar atento às necessidades do mercado e aos novos lançamentos, para poder planejar a retirada do produto sem que isso cause tramas à organização. Devemos considerar que existe

um certo capital empatado em instalações, despesas com pessoal, impostos, taxas, empréstimos, e que uma retirada repentina de um produto do mercado pode causar problemas, se não for planejada. O planejamento da retirada do produto do mercado está relacionado, normalmente, com a sua obsolescência ou término da vida útil.

ABORDAGEM DE PROBLEMAS EM ENGENHARIA

O erro mais comum do engenheiro inexperiente é partir para a solução antes mesmo de definir adequadamente o problema a ser resolvido. A definição clara do problema, usualmente, requer um estudo aprofundado da situação para determinar os elementos essenciais *de* uma possível solução. O que é conhecido, o que se deseja conhecer e todos os parâmetros envolvidos devem ser analisados para que uma idéia geral do processo seja bem compreendida. O não cumprimento desses requisitos pode comprometer implacavelmente o entendimento do problema e, conseqüentemente, a procura da solução.

É comum acontecer esse fenômeno com estudantes durante a vida acadêmica. O imediatismo em tentar buscar uma solução, não interessando através de quais meios, geralmente conduz por caminho equivocados. Na pressa de solucionar um problema, acabamos adotando a primeira idéia como se fosse a única, e passamos - antes mesmo de termos formulado com clareza a questão - a detalhamentos dela, como se nada mais fosse possível em termos de propostas alternativas.

Em muitos casos, estamos muito preocupados em acompanhar o ritmo acelerado de cobranças da vida acadêmica, e acabamos caindo facilmente no erro da busca de respostas imediatas, inclusive nas avaliações formais. Mas é provado que, quando a preocupação dominante se baseia na absorção e no entendimento dos assuntos, o bom desempenho nas avaliações é uma conseqüência direta da nossa maneira de agir.

O projeto, apesar de às vezes ser confundido com a apresentação escrita, gráfica e esquemática da resposta final, na realidade constitui a abordagem completa de um problema de engenharia. Nesse caso, o que se confunde com o projeto é apenas o passo final do processo geral. Este passo nada mais é do que a solução colocada de forma clara, concisa e correta para a sua conveniente comunicação e implementação.

Para uma grande parte dos problemas de engenharia não se espera uma solução original. Comumente as soluções são fundamentadas na coleta incessante de informações disponíveis. Para isso, além de dominar a metodologia básica comentada ao longo deste capítulo, devemos possuir

conhecimentos e experiência. As informações, sem contar as trabalhadas em sala de aula, podem ser encontradas nos livros técnicos ou em dados anteriormente coletados para a resolução de determinados problemas. A interação com colegas da área sempre produz excelentes resultados, pois todo intercâmbio é uma possível fonte para gerar novas idéias.

Difícilmente os problemas que o engenheiro encontrará na prática poderão ser resolvidos apenas com adaptações rápidas dos problemas acadêmicos que foram estudados durante o curso universitário. Porém, é certo que as ferramentas utilizadas para buscar as informações disponíveis e os conhecimentos necessários - para serem transformados em possíveis soluções - são trabalhadas em disciplinas formais nos diferentes campos de atuação da engenharia.

É notório que aprendemos e sedimentamos melhor os conhecimentos exercitando as teorias através da prática da resolução de problemas. Isso é verdade em qualquer caso, seja na resistência dos materiais, na teoria eletromagnética, na termodinâmica, ou quem sabe no futebol. Em todos estes casos os fundamentos são imprescindíveis; mas eles só serão dominados através da prática constante.

Nunca é demais repetir que a resolução de problemas proporciona a oportunidade de adquirir desenvoltura na aplicação dos embasamentos teóricos. É fundamental, para que isso aconteça, que criemos o hábito de estar sempre em contato direto com as aplicações, porém evitando conscientemente o costume bastante nocivo de, ao abordar um problema, tentar resolvê-lo através do método imediatista de tentar "adivinhar" rapidamente uma solução. Este comportamento leva, normalmente, a soluções pobres e incompletas. Para evitar esse tipo de comportamento na abordagem de problemas, as recomendações a seguir podem auxiliar:

- Listar as informações do enunciado do problema - anotá-las, de preferência com as próprias palavras, para os dados ficarem mais familiares.
- Listar o que deve ser determinado pela solução - muitas vezes, divagando desnecessariamente, perdemos o rumo do problema.
- Elaborar esquemas que ajudem a visualização física da situação -os limites do sistema a ser abordado são fundamentais na procura da solução.
- Relacionar as leis básicas que regem o fenômeno e procurar associar o formulário matemático que auxilie na solução do problema.
- Aplicar as hipóteses simplificativas que eliminam parâmetros irrelevantes para a solução - maiores detalhes sobre hipóteses

simplificativas são discutidos na parte deste livro onde discorreremos sobre modelos e simulação.

- Antes de trabalhar com valores numéricos, resolver o problema algebricamente, para evitar erros de cálculo.
- Estar sempre atento à coerência dimensional do problema; ao substituir os valores numéricos, dar preferência ao Sistema Internacional de Unidades.
- Conferir as respostas e revisar as hipóteses simplificativas para verificar a sua validade.
- Relacionar as respostas de acordo com as exigências do problema.

Se à primeira vista este procedimento pode parecer desnecessário e enfadonho, é bom saber que um método ordenado e lógico, da mesma forma como acontece na elaboração de um projeto, economiza tempo, reduz a possibilidade de erros e, o que é mais importante, permite uma percepção mais clara de tudo o que está envolvido na formulação e na solução do problema.

TAREFAS PARA COMPLEMENTAÇÃO DO APRENDIZADO

Converse com um engenheiro, de preferência da sua especialidade, procurando saber quais foram os projetos - e alguns de seus detalhes - que ele já desenvolveu durante a sua vida profissional.

Encare a sua próxima atividade escolar - em qualquer disciplina: Física, Desenho, Química, Cálculo... - como se ela fosse um trabalho profissional. Desenvolva-a pesquisando e construindo soluções viáveis e bem estudadas, detalhando as suas principais características e preparando um relatório com uma boa apresentação.

Visite um laboratório de sua escola, ou uma empresa que atue na sua área de especialização. Pergunte ao encarregado do setor de projeto, ou a um membro da equipe de projetistas, o que eles estão desenvolvendo no momento. Procure entender como eles trabalham.

Consulte algumas revistas técnicas, ou mesmo catálogos de fabricantes, na sua área de especialização, procurando perceber quais são os assuntos que estão em destaque, quais são as novidades e o que os especialistas dessas áreas imaginam para o futuro.

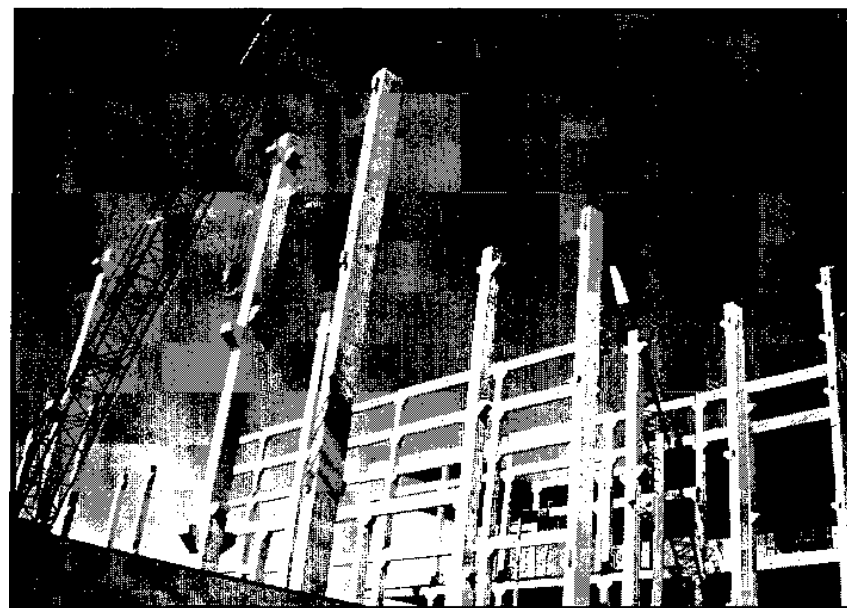
Na sua concepção, o que significa *projeto em engenharia*? Estruture sua resposta com todas as informações que você puder relacionar, para depois fazer a síntese desta definição. Esqueça aquela que lhe foi apresentada no livro. Lembre-se: tornar familiar uma definição é um passo importante para a sedimentação de um conceito.

Depois de uma leitura atenta, procure estabelecer no mínimo dez atividades que complementem o aprendizado deste capítulo.

Através de pesquisas em bibliotecas e na internet, selecione ao menos cinco livros que, na sua opinião, possam aprofundar as questões tratadas neste capítulo. Discuta com colegas ou com professores a pertinência da sua proposta.

Capítulo 10

As engenharias



ÁREAS DE ATUAÇÃO PROFISSIONAL

Podemos dizer que os níveis de atuação da engenharia desenvolvem-se horizontal e verticalmente. No sentido vertical estão os vários níveis de aprofundamento da profissão e formas de nela atuar, como já comentamos anteriormente. Os cursos de aperfeiçoamento, de especialização e de pós-graduação definem, de alguma forma, a atuação profissional através de algumas áreas de especialização. Dentre estas, muitas se notabilizaram de tal maneira que hoje são consideradas ramos especiais da engenharia. Um exemplo é a engenharia de segurança, que não se configura como uma área específica, mas que pode ser alcançada como nível de especialização por qualquer profissional da engenharia. Poderiam também ser enquadradas nesta situação a bioengenharia e a engenharia nuclear.

Um outro ponto que podemos ressaltar é a eventual existência de sobreposição entre as competências dos profissionais engenheiros de áreas diferentes. Isso acontece porque nem sempre os limites de atribuições de cada especialidade estão claramente definidos. Em alguns casos, acontecem inclusive interpretações que tornam dúbios estes limites. Entretanto, normalmente essas sobreposições acontecem pelo dinamismo das profissões, que constante mente evoluem no sentido da busca de novos conhecimentos. Exercer com profissionalismo e ética as suas atividades é a forma mais adequada para fazer frente a eventuais conflitos de interesse.

Em relação às especializações horizontais, ou seja, a cada área de trabalho, podemos identificá-las conforme apresentado a seguir. Cada uma delas possui características próprias e se ocupa de atividades de um ramo específico de atuação. Nem todos os desdobramentos das especializações estão aqui listados, até porque a dinâmica de construção de novos conhecimentos torna isso quase impossível.

AERONÁUTICA

Um engenheiro de aeronáutica trabalha com projeto, construção e manutenção de aviões, helicópteros, satélites, naves espaciais, planadores, balões, dirigíveis, foguetes e instrumentos específicos para a aviação. Ocupa-se também com a infra-estrutura aeronáutica, especialmente no que diz respeito

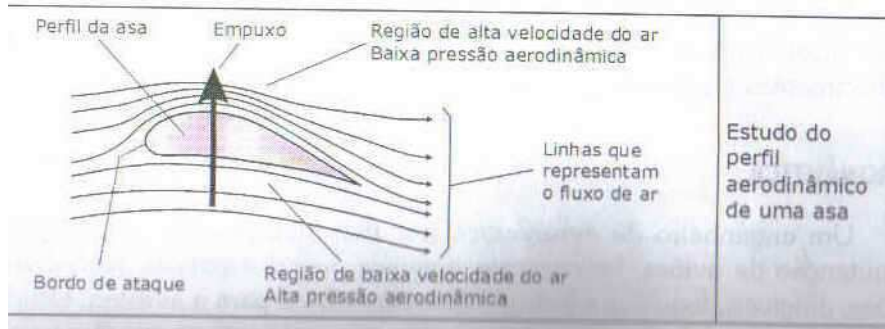
a construção de aeroportos e aos serviços de infra-estrutura aeronáutica, como a fiscalização de serviços ligados ao tráfego aéreo.

Suas atividades podem cobrir, por exemplo, serviços relativos ao projeto e à análise das estruturas que compõem a aeronave - asa, fuselagem, trem de pouso, sistema de propulsão, materiais -, o estudo aerodinâmico, a arquitetura interna da aeronave, o comportamento de voo e os correspondentes processos de fabricação.



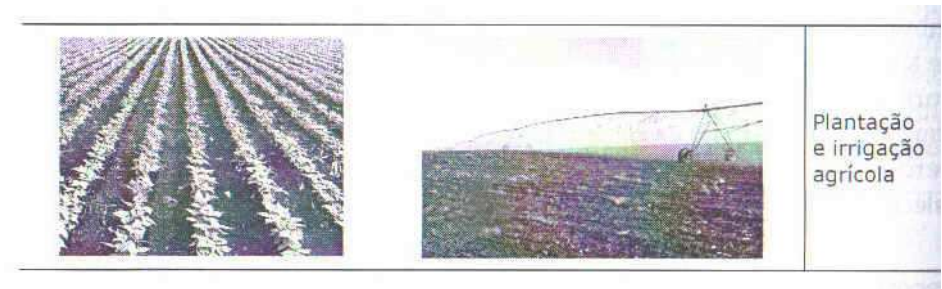
O engenheiro aeronáutico pode se especializar, por exemplo, na área espacial, na manutenção preventiva e corretiva de aeronaves - sendo responsável por programas de inspeção e reparos - ou no planejamento operacional de frota e infra-estrutura de apoio para vôos. Pode também trabalhar com projeto e pesquisa de materiais e processos empregados na construção e manutenção de aeronaves, ou em sistemas de aplicação aeroespacial, projetando, construindo e instalando sensores, motores e outros instrumentos aeroespaciais.

Para formar-se nesta área são necessários, dentre outros, estudos em mecânica e estrutura de aeronaves, ciências dos materiais, aerodinâmica, mecânica e dinâmica de voo, propulsão, mecânica celeste, sistemas de controle, aeroelasticidade.



Na área de ciências agrárias são oferecidos três cursos de engenharia: agrícola, florestal e de pesca, além do curso de agronomia, cujo profissional nele formado *recebe o diploma de engenheiro agrônomo*.

O engenheiro agrícola é o profissional que lida com a produção agrícola, sendo responsável pela construção de barragens, açudes, sistemas de irrigação, drenagem e de combate à erosão, armazenamento de produtos agrícolas e pelas construções rurais. São de sua competência trabalhos que envolvam energia, transporte, sistemas estruturais, equipamentos, máquinas, implementos etc. relativos à produção agrícola. Ele desempenha suas tarefas com vistas a um melhor uso do solo, à preservação de mananciais e ao controle de fatores que otimizem a produção.



Algumas de suas atribuições profissionais englobam:

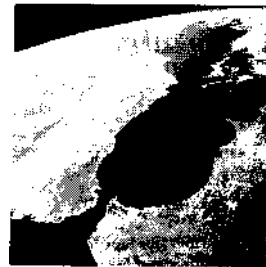
- **MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA** - seleção, projeto e ensaio de máquinas, implementos, componentes e conjuntos empregados nos processos de produção utilizados no preparo do solo, plantio, cultivo, colheita, transporte e manuseio de produtos agrícolas;
- **ENERGIZAÇÃO RURAL** - transformação, distribuição e utilização de energia elétrica, aproveitamento de formas de energia não-convencionais, seleção de geradores, motores e transformadores utilizados em instalações elétricas rurais;
- **ENGENHARIA DE ÁGUA E SOLOS** - irrigação, drenagem, recuperação do solo e controle da erosão, planejamento de propriedades agrícolas, planejamento e manejo de recursos hídricos;
- **CONSTRUÇÃO RURAL** - construções para fins agrícolas, para estocagem de matéria-prima e processamento de produtos agrícolas, habitações rurais e agrovilas, obras de tratamento de resíduos orgânicos rurais e agroindustriais.
- **PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS** - gerenciamento da produção de grãos, frutas, flores, hortaliças, carnes, leite e derivados e da criação de animais domésticos, silvestres ou exóticos de importância agroindustrial.

Para *se* formarem engenharia agrícola estuda-se, dentre outros assuntos topografia, sistema de posicionamento global, geoprocessamento, fitotecnia, equipamentos e máquinas agrícolas, meteorologia, zootecnia, manejo e conservação de solo, irrigação, hidrologia, ambiência e projetos de instalações para animais, manejo de bacias hidrográficas, drenagem ambiental, beneficiamento de grãos e sementes, gestão ambiental.

AGRIMENSURA

O engenheiro agrimensor estuda, descreve, mede, define e divide espaços físicos - como por exemplo propriedades imobiliárias - fornecendo subsídios para a realização de obras civis. Desempenha suas atividades através de levantamentos topográficos, batimétricos, geodésicos e aerofotogramétricos para a viabilização de loteamentos, núcleos habitacionais, sistemas de saneamento, irrigação e drenagem, obras viárias, cidades, barragens, edifícios, aeroportos, usinas hidrelétricas, linhas de transmissão de energia e de telecomunicações, paisagismo...

Para desempenhar suas funções, ele trabalha com tecnologias geoespaciais - geoprocessamento e sensoriamento remoto - tratando imagens de satélites para observar o terreno. Trabalha também com técnicas de mensuração por sistemas de posicionamento GPS e equipamentos topográficos informatizados, além de servir-se de programas e equipamentos de informática.



Espaço físico: objeto de trabalho do engenheiro agrimensor

E também atribuição do engenheiro agrimensor a concepção, o projeto e a elaboração de empreendimentos que visem à criação, organização, manutenção e atualização de arquivos que contenham informações geográficas ou topográficas.

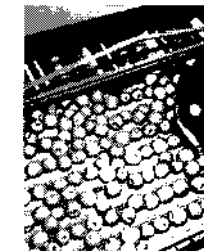
Algumas boas chances de colocação profissional no mercado de trabalho são as empresas privadas nas áreas de construção civil, de hidrelétricas e de estradas. O engenheiro agrimensor é essencial como consultor de órgãos

governamentais para atuar no processo de reforma agrária, que não pode dispensar seus préstimos nos levantamentos fundiários.

Alguns tópicos específicos estudados num curso de graduação em engenharia de agrimensura são: astronomia de campo, cartografia, direito e legislação de terra, estradas, fotogrametria, geodésia, geologia, geoprocessamento, hidráulica, mecânica dos solos, posicionamento por satélites, saneamento básico, topografia, traçado de cidades, transportes.

AGRONOMIA

O engenheiro agrônomo exerce atividades que de forma direta ou indireta estão relacionadas à agropecuária, lidando com recursos naturais - água, solo e ar. É responsável pela mecanização rural e pelo projeto de implementos agrícolas. Ele também é responsável pelo melhoramento animal e vegetal, pela defesa sanitária, e pela manipulação da química agrícola.



Ordenha mecanizada e beneficiamento industrial de frutas

Além disso, também trabalha com:

- supervisão de construções e instalações para fins rurais;
- irrigação e drenagem para fins agrícolas, mecanização da agricultura;
- cultivo e a multiplicação de plantas - fitotecnia;
- fertilizantes e corretivos, processos de cultura e de utilização de solo; manejo dos recursos naturais renováveis;
- tecnologia de transformação de alimentos - açúcar, amidos, óleos, laticínios, vinhos e destilados;
- agropecuária, desenvolvimento da criação e do aperfeiçoamento dos animais domésticos - zootecnia;
- beneficiamento e conservação dos produtos animais e vegetais; nutrição animal.

O que se estuda em agronomia? Biotecnologia, fotointerpretação, hidroponia, processamento de frutos tropicais, topografia, zootecnia, anatomia e morfologia vegetal, bioquímica, taxonomia vegetal, entomologia agrícola, genética e melhoramento, meteorologia e climatologia, microbiologia agrícola, fitopatologia, máquinas agrícolas, topografia agrícola, hidráulica agrícola, construções rurais, horticultura, irrigação e drenagem rural, nutrição animal, tecnologia de produtos agrícolas, fruticultura, tecnologia de sementes.

ALIMENTOS

O engenheiro tecnólogo de alimentos é o profissional especializado na industrialização de alimentos. Desempenha suas atividades visando à fabricação, conservação, armazenamento, transporte e consumo de produtos alimentícios, procurando aproveitar ao máximo as reservas da agricultura, da pecuária e da pesca. Cuida do processamento das matérias-primas básicas como leite, frutas, verduras, legumes, cereais e carnes, por meio de esterilização, desidratação, fermentação, enlatamento, refrigeração, congelamento etc. Ao acompanhar o processamento dos alimentos sob os aspectos químicos, físicos, microbiológicos, econômicos e industriais, ele é capaz de garantir um bom aproveitamento das matérias-primas, proporcionando a manutenção das qualidades nutricionais dos produtos finais.

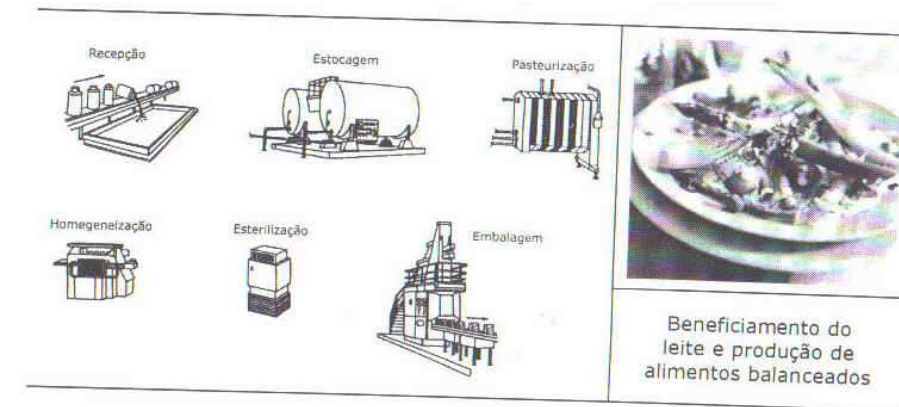
Para trabalhar nesta área, é preciso conhecer bem os diferentes tipos de alimentos (carnes, frutas, hortaliças, laticínios, grãos...), a sua composição (proteínas, açúcares, vitaminas, lipídios...), a bioquímica das matérias-primas utilizadas (reações enzimáticas, respiração, maturação, envelhecimento...), a microbiologia dos produtos (microorganismos, deterioração...) e as características sensoriais (sabor, textura, aroma, densidade...). E preciso também conhecer as diversas técnicas e processos envolvidos: beneficiamento (moagem, extração de polpas, sucos e óleos...), tratamento térmico (pasteurização, esterilização, congelamento, liofilização...), biotecnologia (fermentação, tratamento enzimático...), emprego de ingredientes e matérias-primas.

O engenheiro tecnólogo de alimentos também se dedica ao estudo da determinação analítica das diferentes substâncias nutritivas dos alimentos e suas propriedades, para conservação e preparo de produtos vegetais e de origem animal. Também estuda as intoxicações causadas por alimentos preparados ou armazenados de maneira inadequada.

Em linhas gerais, atua na indústria de produtos alimentícios, na indústria de insumos necessários para o processamento dos produtos - matéria-prima, equipamentos, embalagem, aditivos... -, além de estabelecimentos de ensino, bancos, centros de pesquisa, empresas de serviços etc., onde desempenha.

dentre outras, funções na produção, no projeto de instalações industriais e equipamentos ou na fiscalização de alimentos e bebidas. Pode trabalhar também em laboratórios ou na fiscalização, realizando análises para empresas e indústrias de alimentos, elaborando e avaliando projetos.

Alguns pontos estudados por este profissional, durante o seu curso de graduação, são: fenômenos de transporte, operações e processos unitário, bioengenharia, refrigeração, instalações e processos industriais.



CARTOGRÁFICA

O profissional da engenharia cartográfica pesquisa e elabora processos e meios para definir o posicionamento espacial de superfícies, apresentando em forma gráfica seus resultados. Através de processos geodésicos ou astronômicos planeja, executa e supervisiona o levantamento e a análise de aspectos geográficos para a elaboração de cartas geográficas, cartográficas ou mapas geográficos, especificando o posicionamento da região.

Seu trabalho tem ligação direta com prefeituras, departamentos de estradas e rodagens e empresas que executam serviços em áreas urbanas e rurais, por exemplo para instalação de redes de gás, água, esgoto, telecomunicação ou energia elétrica.

O engenheiro cartográfico também realiza levantamentos topográficos - métodos de estabelecimento de detalhes de acidentes geográficos de uma região -, levantamentos batimétricos - levantamentos topográficos dos oceanos, lagos e rios, usando para isso instrumentos acústicos como radares e sonares - e levantamentos aerofotogramétricos - método de fotografias aéreas de áreas que permite o estabelecimento de mapas para análise do solo, da vegetação e da fauna. Seus serviços também são usados na

aeronavegação, na confecção de cartas que orientam as atividades de pouso, tráfego e zonas de proteção a aeroportos.



Medição com teodolito e acidente geográfico: levantamento cartográfico

Além das disciplinas básicas comuns às demais áreas da engenharia, num curso de engenharia cartográfica são estudados, dentre outros assuntos: topografia, geodésia, geologia, geofísica, fotogrametria, saneamento básico (í ambiental, projeto e produção de cartas e geografia.

CIVIL

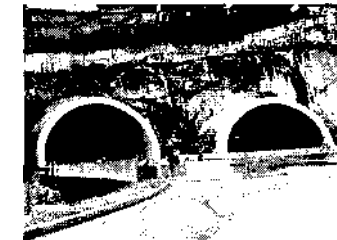
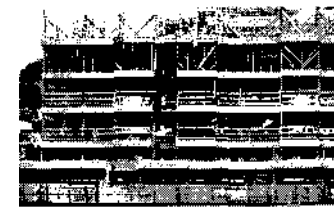
A engenharia civil tem um amplo espectro de atuação. O profissional desta área pode estudar, projetar, fiscalizar ou supervisionar trabalhos relacionados a pontes, túneis, barragens, estradas, vias férreas, portos, canais, rios, diques, drenagem, irrigação, aeroportos, sistemas de transporte, abastecimento de água e saneamento, etc.

Em seu trabalho, um engenheiro civil projeta e acompanha as etapas de obras civis. E para projetar tais obras, ele estuda as características do solo, a incidência do vento, a finalidade de uso da construção, os materiais disponíveis, os custos envolvidos. Como ele desenvolve o seu trabalho? Dimensionando e especificando estruturas, instalações elétricas, hidro-sanitárias e de gás, bem como os materiais a serem utilizados. Ou fazendo cálculos de resistência dos materiais empregados ou orçamentos de obras, traçando cronogramas físicos e financeiros, fiscalizando obras. No seu dia-a-dia, seja no escritório e no canteiro de obras - o local da construção -, chefia equipes, supervisiona prazos, custos e o cumprimento das normas de segurança.

Mais especificamente, são atribuições dos engenheiros civis:

- executar trabalhos relacionados com a construção de edifícios e a instalação, funcionamento e conservação de redes hidráulicas de distribuição de água e de coleta de esgoto, para os serviços de higiene e saneamento;

- examinar projetos e realizar estudos necessários para a determinação do local mais adequado para as construções;
- calcular a natureza e o volume da circulação de ar, terra e água;
- examinar o solo e o subsolo, a fim de determinar os efeitos prováveis sobre as obras projetadas;
- determinar o assentamento de alicerces, condutos e encanamentos;
- projetar estruturas de concreto, aço ou madeira;
- estudar fundações, escavações, obras de estabilização e de contenção;
- planejar e operar sistemas de transporte urbano de passageiros;
- calcular as deformações e tensões, a força da corrente hidráulica, os efeitos do vento e do calor, os desníveis e outros fatores nas construções;
- examinar, provar, estabelecer planos, especificações e orçamentos de obras antigas e novas;
- escolher as máquinas para escavação e construção, assim como os aparelhos para levantar cargas;
- elaborar o programa de trabalho e dirigir as operações à medida que a obra avança;
- administrar empresas construtoras na direção dos setores técnicos de pessoal, de execução de planejamentos, maquetes, protótipos, desenhos etc.



Trabalhos típicos da engenharia civil: construção de prédios residenciais e túneis

De forma geral, o engenheiro civil pode atuar nas indústrias de construção civil, de materiais de construção e indústrias urbanas, além dos setores já comentados anteriormente. Pode se especializar, por exemplo, em estruturas, fundações, saneamento, mecânica dos solos, transportes, infraestrutura portuária e aeroportuária.

O que estuda um engenheiro civil? Além das matérias básicas, comuns a todos os cursos, estuda também solos, concreto, madeira, pontes, estabilidade estrutural, traçado de rodovias...

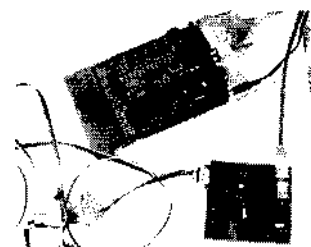
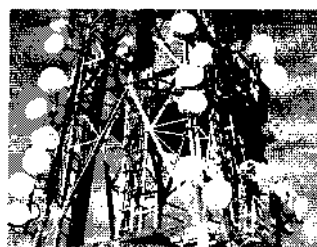
A habilitação engenharia *civil* desdobra-se em ênfases tais como: engenharia civil em geral, edificações, construção de rodovias, construção de aeroportos, construção de ferrovias, construção de pontes e viadutos, construção de túneis, mecânica dos solos, obras sanitárias e hidráulicas.

ELÉTRICA

Os engenheiros eletricitas e eletrônicos podem atuar, de forma geral, em indústrias de material elétrico e eletrônico, automobilística, construção civil ou em qualquer indústria na parte de projeto, instalação e manutenção de instalações elétricas.

A habilitação *engenharia elétrica* envolve campos específicos de atuação tais como:

- ELETRICIDADE EM GERAL - geração, transmissão e distribuição de energia, nos setores de hidrelétrica, subestações e termoeletrica;
- ELETRÔNICA DE POTÊNCIA - dispositivos eletrônicos de potência, controle de motores, acionamento de máquinas elétricas, simulação digital de máquinas e conversores;
- TELECOMUNICAÇÕES - sistemas de áudio e vídeo, antenas e propagação de ondas eletromagnéticas, microondas, telefonia analógica e digital, processamento analógico e digital de sinais, redes de comunicações, telecomunicações por satélite;
- CONTROLE E AUTOMAÇÃO - controle computacional de processos industriais, controle óptico, robótica, inteligência artificial, planejamento e implantação de processos de automação industrial.



Torre de comunicação e teste em um microprocessador

São atribuições dos engenheiros eletricitas, dentre outras:

- realizar pesquisas, elaborar projetos e prestar assessoramento em problemas que envolvam máquinas e equipamentos elétricos, sistemas de proteção e chaveamento, instrumentos elétricos de medida, sistemas de iluminação, transformadores;

- elaborar, executar e dirigir estudos e projetos para construção, montagem ou manutenção de instalações, aparelhos e equipamentos eletrônicos;
- elaborar e executar projetos de sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica;
- planejar e implantar sistemas de microondas, telefonia, transmissão de informações digitais - dados, imagens e sons - etc.;
- na área da eletrônica, trabalhar em projetos de automação e controle, microprocessadores, computação, *modems*, terminais, microeletrônica, circuitos integrados, telecomunicações, periféricos;
- executar e dirigir projetos de montagem e manutenção de vídeo e áudio.

Em linhas gerais, para se formar em engenharia elétrica são necessários estudos em: circuitos elétricos, eletromagnetismo, eletrônica, materiais elétricos, conversão de energia, microeletrônica e automação, controle digital, microondas, antenas e propagação, transdutores e sistemas digitais.

FLORESTAL

O engenheiro florestal é um especialista no planejamento, na organização e na direção do uso racional dos recursos renováveis e seus derivados. Trabalha por exemplo com a produção e o aperfeiçoamento de sementes florestais, com madeiras e com a exploração racional e sustentável e a preservação dos recursos florestais e recursos naturais de uma forma geral. A produção madeireira e sua industrialização, além da preocupação com o paisagismo, os recursos hídricos a fauna, também são competências deste profissional.



Reflorestamento e preservação ambiental

Uma das metas de seu trabalho implica a preservação e a administração de recursos florestais, pois ele planeja melhores maneiras de manter saudável a natureza. Para tanto, planeja a exploração racional das espécies nativas, faz

projetos de reflorestamento e recuperação em áreas atingidas pela erosão, utilizando conhecimentos de biologia, ecologia e de processos manufatureiros.

Num curso de engenharia florestal são estudados assuntos como: biotecnologia, celulose e papel, sistemas agroflorestais, biologia celular, anatomia, fisiologia e morfologia vegetal, zoologia, taxonomia, dendrologia, entomologia florestal, microbiologia agrícola, topografia agrícola, genética e melhoramento, meteorologia e climatologia florestal, manejo e conservação da fauna silvestre, manejo florestal e de bacias hidrográficas.

INDUSTRIAL

O engenheiro industrial acompanha, operacionaliza e mantém uma linha de produção, concentrando suas atividades na instalação, operação e manutenção de máquinas e equipamentos, no planejamento de processos e de estruturas de produção e no desenvolvimento tecnológico. É um profissional eminentemente prático, que acompanha diretamente os processos industriais, trabalhando em busca de uma maior produtividade e controle de qualidade. Planeja instalações, cuida da segurança, reposição e aquisição de máquinas e equipamentos. Enfim, supervisiona a produção, visando melhorar o desempenho de homens e máquinas numa linha de produção. Trabalha também organizando e administrando a infra-estrutura industrial.

A engenharia industrial é uma habilitação específica derivada de qualquer uma das seis grandes áreas da engenharia, por exemplo: engenharia industrial mecânica, química, elétrica e metalúrgica.

O forte relacionamento entre o engenheiro industrial e os operários da linha de produção estabelece a necessidade de algumas disciplinas que fazem parte do curso de formação deste profissional. Dentre elas podemos citar: psicologia aplicada ao trabalho, treinamento e relações humanas no trabalho, princípios de ergonomia, orientação e seleção profissional, psicologia social das organizações.



Chão de fábrica:
atuação do
engenheiro
industrial

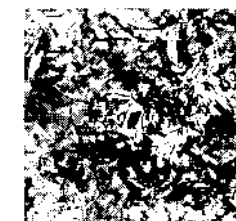
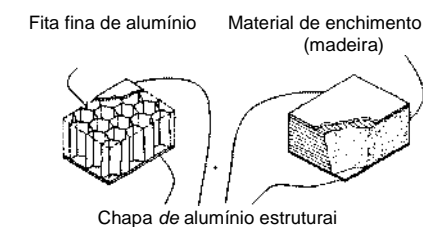
Para se formar nesta área, são necessários estudos em vários assuntos, dentre os quais podemos citar: economia, psicologia do trabalho, ergonomia, controle de qualidade, controle de segurança, manutenção de equipamentos, método de pesquisa operacional.

Um engenheiro industrial pode trabalhar em vários setores, dentre os quais estão: indústria química, petroquímica, de base, farmacêutica, de alimentos, siderúrgica, desempenhando funções que vão do projeto, administração, manutenção, gerência de produção, direção das empresas, dentre outras.

MATERIAIS

O rápido avanço no mundo tecnológico implicou a necessidade de um profissional especializado em novas opções em termos de materiais, para todas as áreas da atividade humana. Plástico, cerâmica, sinterizados, hoje fazem parte dos produtos que utilizamos no nosso dia-a-dia, em casa, no escritório, nos laboratórios, nas indústrias. Com essa necessária especialização, várias atividades que até bem pouco tempo atrás faziam parte, por exemplo, da engenharia mecânica ou da metalurgia passam agora à responsabilidade da engenharia de materiais, que prepara profissionais capacitados para atuar na área.

O engenheiro de materiais é o profissional que trabalha no desenvolvimento de novos materiais e novos produtos industriais para aplicações tradicionais. Em essência, trabalha com ciência dos materiais, polímeros, cerâmica, metais e metalurgia do pó; estuda o desenvolvimento de processos de tratamento das matérias-primas, a fabricação e o controle de qualidade de diversos produtos; prepara novas ligas metálicas e gerência a produção. Pode se especializar em cerâmica, metais ou polímeros.



Pesquisa de
novos
materiais e
metalografia
- análise de
um corpo de
prova em
microscópio

No desempenho de suas funções, atua no desenvolvimento e na obtenção de materiais, envolvendo pesquisa, preparação, processamento e utilização. Para tal, procura associar características vantajosas aos novos

materiais: peso reduzido, melhor resistência a altas temperaturas ou a carregamentos externos, maior durabilidade, maior facilidade de trabalho - para a fabricação de produtos -, melhor resistência ao atrito ou a condições ambientais desfavoráveis...

O engenheiro de materiais pode atuar em empresas de fornecimento de matérias-primas, em indústrias públicas e privadas, nas áreas de siderurgia, petroquímica, automobilística, elétrica, plástico.

Para formar-se na área, deve-se estudar, dentre outros assuntos, caracterização dos materiais, química, estrutura da matéria, teorias de composição, comportamento dos materiais, processos de fabricação.

MECÂNICA

Ao profissional da engenharia mecânica compete projetar motores, máquinas, instalações, veículos e outros produtos das indústrias mecânicas, preparando e fiscalizando sua fabricação, montagem, funcionamento e manutenção. Estuda a natureza dos materiais empregados na construção de máquinas, prevendo seus custos prováveis e os meios de produção. Determina os processos de fabricação e inspeciona a parte técnica da produção; projeta sistemas de ar condicionado, calefação e refrigeração.

O profissional desta área também tem como atribuições submeter à prova instalações mecânicas, para conferir sua segurança e eficiência, e verificar se correspondem às especificações do projeto. Também assessora a instalação mecânica e o funcionamento de indústrias, colaborando com a administração na observação de legislação e no comércio.

Podemos dividir a engenharia mecânica em três grandes classes:

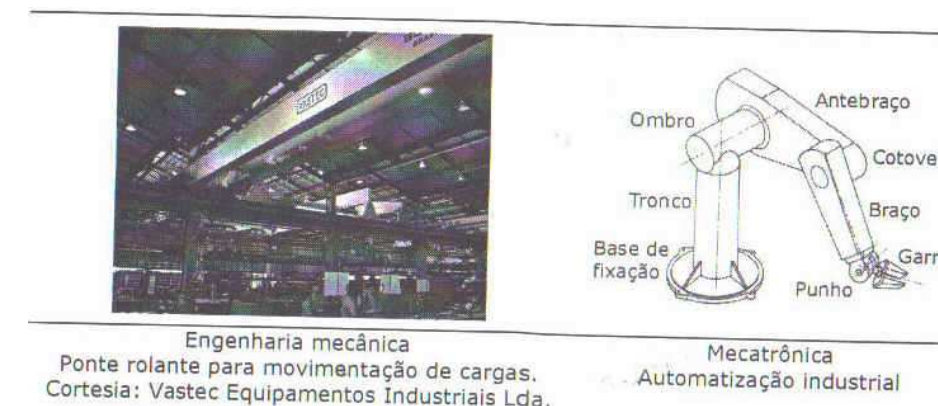
- MECÂNICA PESADA - que trata dos grandes elementos, como turbinas hidráulicas, guindastes, pontes rolantes etc., que normalmente são fabricados unidade por unidade;
- PRODUÇÃO EM SÉRIE - produtos fabricados em grandes quantidades, geralmente em linhas automatizadas, como carros, geladeiras, máquinas de costura etc.;
- MECÂNICA FINA - instrumentos e equipamentos de grande nível de precisão, como impressoras para computadores, instrumentos de medição, máquinas fotográficas etc.

De forma geral, o engenheiro mecânico pode atuar nas indústrias mecânica, automobilística, têxtil e em todas as indústrias, na parte de projeto, instalação, operação e manutenção.

Alguns dos campos específicos de trabalho dos engenheiros mecânicos são: engenharia mecânica em geral, manutenção, máquinas e ferramentas, motores, armamentos, energia nuclear, calefação, ventilação e refrigeração.

Com a automação crescente das linhas de produção e com o emprego cada vez maior do computador na engenharia, um novo campo de trabalho vem sendo aberto. Para atuar nesta nova área há necessidade de um profissional com boa formação em mecânica e eletrônica.

A fusão destas duas áreas tem gerado cursos que levam o nome de *mecatrônica* ou *controle e automação*. Profissionais desta nova área são responsáveis pelo projeto, operação e manutenção de processos e sistemas automatizados, quase sempre comandados por microprocessadores. Estes cursos também podem derivar da engenharia elétrica.



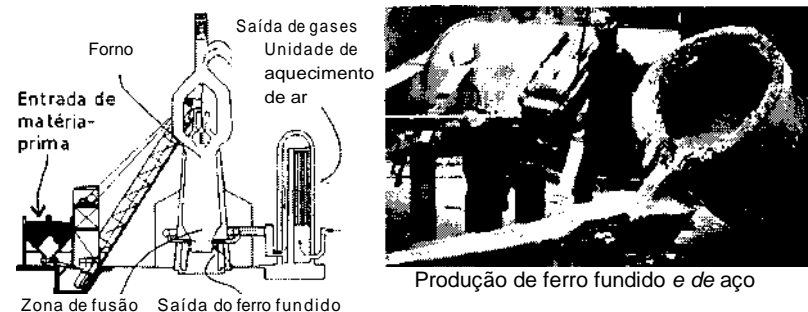
METALÚRGICA

A engenharia metalúrgica é um ramo técnico que se ocupa com o estudo dos materiais metálicos, definindo a caracterização estrutural, as propriedades mecânicas, o processamento da matéria-prima e os procedimentos de produção.

O profissional desta área é responsável pelo processo de beneficiamento de minérios, para a sua transformação em metais e ligas metálicas. Para tanto, elabora e aplica métodos para extrair metais dos minérios - usando tratamentos químicos e físicos - e para a sua transformação em chapas, bobinas, vergalhões, tarugos, perfis etc. É a partir desses produtos que diversos componentes vão ser fabricados, como parafusos, formas de bolo, capôs de automóveis, chaves, facas...

O engenheiro metalurgista desempenha o seu trabalho operando na extração, preparação, produção e aproveitamento industrial de metais, além

de desenvolver técnicas para o combate à corrosão metálica e estudar a composição e as propriedades dos metais para estabelecer um bom contrair de qualidade dos produtos.



Também são atribuições deste profissional:

- estudar os problemas referentes à extração, com o objetivo de determinar os processos para a obtenção da maior quantidade e da melhor qualidade possível de metais;
- determinar as temperaturas, misturas e outras variáveis que devem ser observadas nas operações;
- procurar os meios de melhorar as operações, visando a aumentar o rendimento em termos de metal recuperado e do volume de produção, diminuir o custo de produção e, conseqüentemente, aperfeiçoar o produto em termos de durabilidade, custo, pureza e peso;
- inspecionar a produção de metais puros e ligas;
- inspecionar o tratamento de minério para armazenamento, transporte e transformação - laminação, prensagem, trefilação, estampagem, forjamento...;
- dirigir análises microscópicas, radiológicas, espectroscópicas e outras, para determinar as propriedades físicas dos metais e das ligas;
- estabelecer os processos mecânicos e de tratamento térmico necessários à obtenção das propriedades desejadas.

Um profissional da engenharia metalúrgica pode trabalhar em várias áreas, como indústrias metalúrgicas, siderúrgicas, automotivas, mineradoras, naval, mecânica, química, instituições de pesquisa...

A habilitação do engenheiro metalurgista correspondem basicamente duas ênfases no campo profissional: produção de metais e tratamento de metais.

Para se formar nesta área deve-se estudar, dentre outros assuntos, estrutura da matéria, petrografia, mineralogia, fundição, termodinâmica metalúrgica, corrosão dos metais, siderurgia.

MINAS

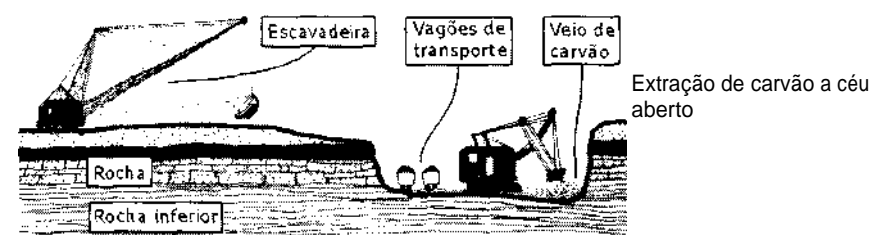
As atividades do engenheiro de minas dizem respeito à prospecção e pesquisa mineral, à lavra de minas, ao planejamento e à operação de aproveitamento de recursos minerais, à captação de água subterrânea, ao beneficiamento de minérios e à abertura de vias subterrâneas - poços, túneis, galerias. Para isso, ele utiliza diversos conhecimentos, em especial da geologia, da química, da física e de disciplinas técnicas específicas que estuda durante seu curso de graduação. É, portanto, um profissional preparado para pesquisar recursos minerais - ferro, alumínio, pedra, areia, água mineral...

A prospecção é o estudo que visa à definição de regiões adequadas para a pesquisa mineral. A lavra de minas diz respeito à retirada de minério do meio ambiente - em jazidas minerais -, a céu aberto, subaquática ou subterrânea. Na detecção de depósitos de minério no subsolo, por exemplo, o engenheiro de minas trabalha com técnicas como sismografia, sensoriamento remoto e sondagem. Na fase de pesquisa, planeja e executa o estudo dos bens minerais, objetivando a caracterização da reserva, da qualidade do minério e da viabilidade tecnoeconômica do aproveitamento dos recursos. Quando se ocupada do beneficiamento de minérios, trabalha com processos como britagem, moagem e métodos de separação.

O engenheiro de minas desenvolve as atividades de prospecção, pesquisa, planejamento e a elaboração de projetos e estudos para o aproveitamento racional dos bens minerais juntamente com o geólogo, exercendo suas atividades basicamente em empresas de mineração.

Quando trabalha na operação de sistemas, o engenheiro de minas assume a responsabilidade pela execução da extração e beneficiamento dos minérios. Também compete ao engenheiro de minas estudar e planejar a captação de águas subterrâneas e a abertura de vias subterrâneas, bem como emitir laudos geológico e geotécnico, quando trabalha com cartografia, hidrologia, topografia. É habilitado também ao trabalho com explosivos e para projetar e executar sistemas para captação de água subterrânea.

A habilitação do engenheiro de minas reúne algumas derivações, como prospecção e pesquisa mineral, lavra de minas, captação de água subterrânea, beneficiamento de minérios e abertura de vias subterrâneas.



Para formar-se em engenharia de minas são necessários estudos em assuntos tais como: cristalografia, geoprocessamento, aerofotogrametria, sensoriamento remoto, geotecnia, hidrogeologia, mecânica de solos e de rochas, desmonte de rochas, estabilidade de taludes, abertura de poços e galerias, construção de barragens, prospecção, lavra de minas, beneficiamento de minérios, cartografia, topografia.

NAVAL

O profissional da engenharia naval ou oceânica elabora, executa e dirige projetos de estruturas navais e oceânicas, preparando especificações, desenhos, técnicas de execução e outros procedimentos para possibilitar a construção, montagem e manutenção dos equipamentos e instalações projetadas. Para tal, envolve-se com custos, dinâmica estrutural, hidrodinâmica de embarcações, máquinas marítimas, projetos de navios, tecnologia da construção naval, transporte interior, de cabotagem e intercontinental.

Em seus projetos, o engenheiro naval se preocupa com o comportamento da embarcação — flutuadores, estabilizadores, potência necessária para o sistema de propulsão, controle direcional etc. -, que garantirá segurança e eficiência ao sistema. Também *se* ocupa com aspectos relativos ao aproveitamento interno - distribuição de pesos, tripulação, arquitetura etc. A escolha dos materiais a serem empregados, a definição dos cortes de chapas, a especificação de soldas, dentre vários outros aspectos técnicos, também são sua responsabilidade.

Além de trabalhar com veículos marítimos e fluviais, os engenheiros naval e oceânico também projetam, executam e mantêm plataformas marítimas, instalações portuárias e estruturas *offshore*, trabalham com processos de fabricação e com exploração de recursos minerais do oceano, exploração marítima de recursos biológicos - como pesca e criação de animais marinhos, - ou com equipamentos para lazer e esportes náuticos. Profissionais desta área podem se especializar em determinado tipo de embarcação, como belonaves, navios de

carga ou de transporte de passageiros. Em linhas gerais, atuam nas indústrias naval, mecânica e urbana, trabalhando com projetos, inspeção, manutenção, reparação ou com planejamento e gestão das operações marítimas e portuárias.



O processo de formação de engenheiros navais e oceânicos envolve estudos em teoria de projeto de embarcações e sistemas oceânicos, hidrostática, hidrodinâmica, tecnologia de construção e de materiais, arquitetura naval, máquinas marítimas e tecnologia mecânica.

PESCA

O engenheiro de pesca trabalha com técnicas de detecção e captura de cardumes e com a conservação, supervisão, planejamento, coordenação, beneficiamento e a transformação dos recursos naturais aquícolas. Executa suas atividades visando a uma boa utilização das riquezas biológicas dos mares, ambientes estuarinos, fluviais e lacustres. Trata também do desenvolvimento da tecnologia da pesca e do projeto dos equipamentos necessários à industrialização dos recursos pesqueiros. Mas, além de trabalhar com recursos naturais, preocupa-se também com o cultivo e a exploração sustentável desses recursos.



Traineira, produção e beneficiamento de frutos do mar

Tem uma forte relação com a engenharia naval, mas dedica-se mais especificamente à concepção e ao aperfeiçoamento das artes da pesca e de métodos e aparelhos de detecção de pescado. Após a captura, trabalha com métodos de transporte, armazenamento e industrialização do pescado.

O trabalho do engenheiro de pesca se desenvolve basicamente na aqüicultura, no processamento de pescado, na pesquisa e produção de alevinos, nas fazendas de criação de peixes, frutos do mar e rãs e em indústrias pesqueiras, além das demais áreas gerais já comentadas em outras modalidades de engenharia. O engenheiro ainda projeta fazendas marinhas, desenvolve equipamentos de pesca, beneficiamento e conservação dos animais no alto mar e em terra.

O que se estuda num curso de engenharia de pesca? Botânica e zoologia aquática, topografia, fotointerpretação, limnologia, microbiologia, oceanografia, navegação, manejo de bacias hidrográficas, aparelhos e técnicas de pesca, aqüicultura, máquinas e motores utilizados na pesca, instalações pesqueiras, meteorologia.

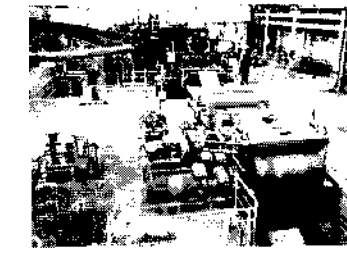
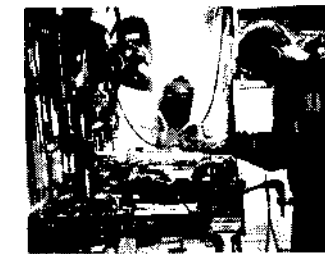
PRODUÇÃO

A engenharia de produção é uma habilitação específica associada às engenharias tradicionais. Existem portanto cursos de engenharia de produção elétrica, de produção civil, de produção mecânica etc.

Numa empresa, a produção implica racionalização e otimização de processos, das matérias-primas empregadas ou da energia consumida, bem como melhor aproveitamento possível do pessoal disponível. O profissional responsável por garantir que se tenha esta produção otimizada e racionalizada, dentro dos níveis de qualidade exigidos, cuidando do bom balanceamento da linha de produção - que envolve métodos e tempos de montagem, alocação de pessoal, ferramentas, velocidades de trabalho etc. -, é o engenheiro de produção.

O engenheiro de produção é responsável pelo planejamento, pela execução e pelo controle da produção, bem como pelo projeto do produto, pela fixação da escala de produção e pelo estabelecimento de programas de trabalho e prazos. E sua atribuição gerenciar recursos humanos, financeiros e materiais para aumentar a produtividade de uma empresa, aperfeiçoando o relacionamento entre homem e máquina.

Podemos dizer que, em linhas gerais, um engenheiro de produção se dedica ao projeto e gerência de sistemas que envolvem pessoas, materiais, equipamentos e ambiente. Por englobar um conjunto maior de conhecimentos e habilidades, este profissional consegue visualizar os problemas de forma global.



Projeto de uma bancada de trabalho eficiente e leiaute de fábrica

Também são suas responsabilidades:

- escolher a localização de indústrias, determinar o equipamento e o processo de manufatura, modificando hábitos não recomendáveis de trabalho;
- analisar as operações e introduzir modificações no sentido de racionalizar o trabalho;
- estudar custos operacionais e dedicar-se ao estudo de tempos e métodos;
- atuar como elemento de ligação entre o setor técnico e o setor administrativo de uma empresa;
- cuidar da segurança do processo produtivo, da avaliação econômico-financeira da empresa e do leiaute das instalações industriais;
- planejar e programar compras, produção e distribuição dos produtos;
- definir estratégias de controle de estoques.

O aluno de engenharia de produção aprende matérias relacionadas à economia, meio ambiente, finanças, etc., além dos conhecimentos tecnológicos básicos da engenharia correspondente. Mais especificamente, alguns assuntos estudados num curso de engenharia de produção são: controle de qualidade, materiais, sistemas e processos, métodos e tempos, gerência de produção, organização do trabalho, ergonomia e segurança do trabalho, administração, pesquisa operacional, avaliação de mercado, gestão da tecnologia, planejamento e controle de produção, estatística, projeto do produto e da fábrica.

Em seu campo de formação específica - civil, mecânica, elétrica... — o engenheiro de produção pode trabalhar em áreas como:

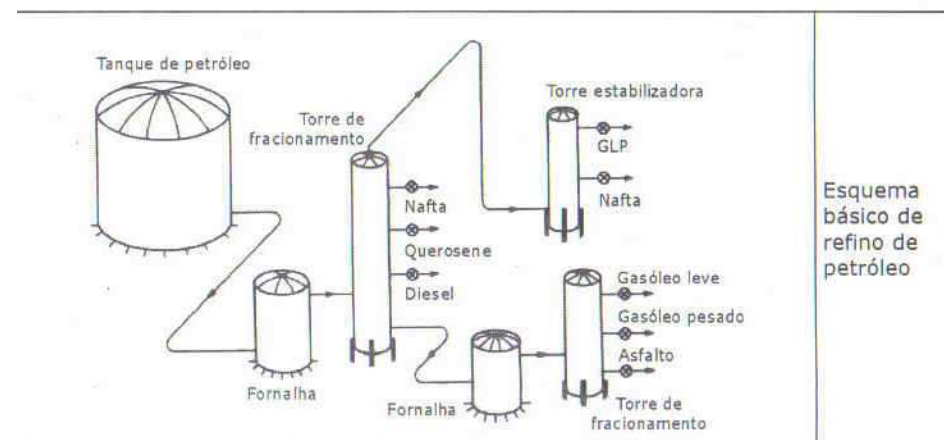
- OPERAÇÕES - distribuição de produtos, controle de suprimentos...
- PLANEJAMENTO -estratégico, financeiro, produtivo...
- FINANÇAS - controle financeiro e de custos, análise de investimentos...
- LOGÍSTICA — planejamento da produção e distribuição de produtos...
- *MARKETING* - planejamento do produto, mercados a atender...

QUÍMICA

O profissional desta área estuda processos de transformação de materiais brutos - em composição química e forma física - em produtos de uso industrial e comercial. Para isso, combina conhecimentos técnicos e científicos para projetar, construir e operar sistemas de conversão de matérias químicas em produtos finais, através de processos químicos, biológicos e físicos.

Também são atribuições do engenheiro químico:

- elaborar métodos novos e aperfeiçoados para a fabricação de produtos químicos e outros produtos sujeitos a tratamento químico;
- projetar e controlar a construção, a montagem e o funcionamento de instalações e fábricas onde se realiza o preparo ou o tratamento químico;
- estudar processos de produção empregados em indústrias ou laboratórios para verificar as diferentes etapas de operação, a viabilidade de produção, a redução dos custos e conseguir um melhor controle de qualidade;
- melhorar e aperfeiçoar os processos técnicos de extração das matérias-primas, sua transformação e utilização;
- responsabilizar-se pela fabricação de tintas, solventes, reagentes, amônia, ácidos, fósforos, fosfatos, sódio, cerâmicas, vidros, cimentos, plásticos, borrachas, fibras naturais e sintéticas, papel, celulose etc.;
- trabalhar na produção de derivados do petróleo ou em processos de destilação do álcool.



O engenheiro químico participa do projeto da planta da fábrica e decide sobre o tipo de instalação necessária, fiscalizando a montagem de instalações novas ou a modificação das existentes. Também inspeciona e coordena as atividades dos trabalhadores encarregados de trituradores, misturadores, cubas, alambiques, reatores, evaporadores e outros sistemas, com o fim de garantir o tratamento químico adequado dos materiais.

Alguns dos campos de atuação do engenheiro químico são as indústrias químicas, petrolíferas, petroquímicas, fármacos e química fina, de papel e celulose, tintas e vernizes, cosméticos e perfumes, alimentos, bebidas, nas quais ele desenvolve trabalhos de produção, controle, automação, acompanhamento e otimização de processos.

Dentre os assuntos estudados num curso de engenharia química constam: química orgânica e inorgânica, físico-química, eletroquímica, corrosão, química analítica, operações unitárias.

SANITÁRIA

O engenheiro sanitário - ou engenheiro sanitário e ambiental - elabora, executa, projeta, opera e mantém obras civis relativas a instalações de saneamento e ambientais. Especifica e prepara orçamentos de custo, recursos necessários, técnicas de execução e outros dados, para assegurar a construção, funcionamento, manutenção e reparos dos sistemas de abastecimento de água e sistemas de esgotos. Por isso, desempenha o importante papel de contribuir para a melhoria da qualidade ambiental e para um desenvolvimento sustentado.



Mais especificamente, competem a este profissional trabalhos referentes a: controle sanitário do ambiente, avaliação de impactos ambientais, captação e distribuição de água, esgoto e resíduos – urbanos e industriais-, controle de poluição, manejo de bacias hidrográficas, drenagem

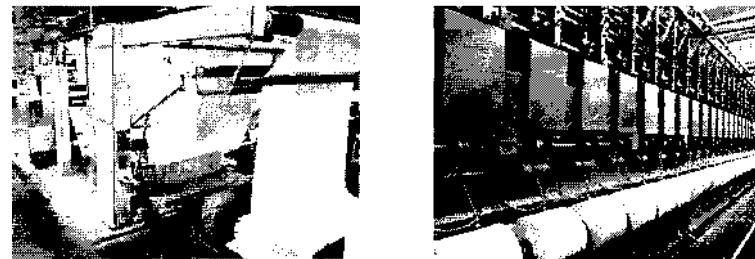
urbana e rural, higiene e conforto ambiental, bem como as obras civis relacionadas a estes sistemas.

Num curso de engenharia sanitária e ambiental, além das matérias de formação geral, são estudados assuntos como: biologia, bioquímica, microbiologia, geologia, topografia, solos, construção civil, hidráulica, hidrologia, recursos hídricos, sistemas de abastecimento e tratamento de efluentes, resíduos sólidos, planejamento e avaliação de impactos ambientais.

TÊXTIL

Uma variação da engenharia química é a modalidade têxtil, cujos profissionais são responsáveis pelos procedimentos referentes à indústria química de produtos têxteis e seus serviços afins e correlatos. O engenheiro têxtil acompanha a fabricação de tecidos cuidando da fiação, tecelagem, tinturaria, estamparia, acabamento e confecção. Atua também na área de controle de qualidade de fios e fibras e na manutenção e construção de equipamentos, máquinas e acessórios têxteis.

Este campo da engenharia se divide em duas áreas: química e mecânica. A primeira se dedica à fabricação de fios artificiais e sintéticos e ao tratamento de fios naturais. Profissionais dessa modalidade administram as etapas de produção industrial - fabricação de fios, tecidos e roupas, o que inclui os processos de tinturaria e estamparia. A segunda - mecânica - implica o projeto, a construção, a montagem e o funcionamento de máquinas e acessórios. Para tal, estuda a viabilidade técnica e econômica da implantação de indústrias têxteis, especificando o maquinário e supervisionando a manutenção da linha de produção.



Indústria
têxtil

Engenheiros têxteis trabalham principalmente em indústrias ou empresas de tecelagem, malharias, fiação, acabamento têxtil e produtos similares, além de outras instituições já comentadas em outras modalidades — institutos de pesquisa, universidade, laboratórios, bancos de investimento...

Faça uma pesquisa na biblioteca de sua escola, ou via internet, e prepare um pequeno artigo explicando o que é e com o que trabalha a engenharia de sua especialidade.

Escreva um pequeno texto, com cerca de 100 palavras, explicando de forma clara por que você está estudando engenharia.

Faça uma lista de personalidades públicas, artistas, políticos ou escritores que tenham formação em engenharia. Procure identificar quais as suas respectivas áreas de formação e em que setor se encontram trabalhando hoje. Se quiser avançar um pouco mais neste exercício, escreva para algum deles perguntando qual conselho eles poderiam lhe dar para ter um bom desempenho na profissão.

Monte um arquivo contendo ofertas de emprego onde o engenheiro possa atuar, separando-as por atividades e por região do país. Atualize de vez em quando este arquivo, tentando perceber as tendências do mercado. Procure enfatizar as principais características que os anúncios relevam como importante na conquista deste emprego.

Sua universidade deve possuir diferentes cursos de engenharia. Faça um levantamento de todos eles e depois, junto às suas coordenadorias, procure saber as características mais marcantes de cada um. Em seguida, situe-os dentro das áreas principais da engenharia e, com isso, discuta as principais funções dos profissionais por eles formados.

Depois da leitura deste capítulo procure estabelecer no mínimo dez atividades que complementem o aprendizado deste assunto.

Através de pesquisas em bibliotecas e na internet, selecione ao menos cinco livros que, na sua opinião, possam aprofundar as questões tratadas neste capítulo. Discuta com colegas ou com professores a pertinência da sua proposta.

APÊNDICE A

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

REGRAS DE EMPREGO DO SI

É de fundamental importância o uso do Sistema Internacional de Unidades - SI - de acordo com suas regras. Quando do seu emprego, é comum que se cometam erros que podem, em algumas situações, acarretar interpretações completamente diferentes daquelas pretendidas. O engenheiro, como qualquer profissional, deve ter o cuidado extremo de verificar se o nome, o símbolo e a grafia das unidades estão em conformidade com as regras de emprego do SI.

Neste item é feita uma síntese das regras de uso do SI, apontando alguns dos erros frequentes cometidos quando do emprego de unidades. Se os exemplos aqui apresentados forem assimilados, dificilmente outros erros serão cometidos.

GRAFIA DOS NOMES DE UNIDADES

- a) Sempre que escritos por extenso, independente de derivarem de nomes próprios - de cientistas, por exemplo -, os nomes de unidades devem começar com letra minúscula. A única exceção acontece com o grau Celsius. Exemplos: ampère, kelvin, newton. Isso se aplica apenas ao nome da unidade. A simbologia segue outras regras.
- b) O valor numérico de uma grandeza deve ser acompanhado da unidade escrita por extenso ou representada pelo seu símbolo. Nunca devem ser misturadas as duas formas. Exemplos: 30 newtons por metro quadrado, e não 30 newtons/m²; 30 N/m², e não 30 N/metro quadrado.

- c) Quando as unidades são palavras simples, o seu plural é formado pela adição da letra *s* no final. Exemplos: quilogramas, joules, farads, grays. Os prefixos SI nunca aparecem no plural. Exemplos: quilogramas, e não quilosgramas; quilowatts, e não quiloswatts.
- d) Quando aparecem palavras compostas nas quais o elemento complementar da unidade não é ligado por hífen, ambas recebem *s* no final. Exemplos: metros cúbicos, quilômetros quadrados. Em metro quadrado, metro é a unidade e quadrado, o elemento complementar.
- e) Quando os termos são compostos por multiplicação, o *s* também é acrescentado ao final de cada um deles. Exemplos: ampères-horas, newtons-metros, watts-horas. Notar que neste caso as duas palavras são unidades, quando usadas separadamente.
- f) Em unidades compostas por divisão, na formação do plural o *s* aparece apenas no numerador, permanecendo o denominador inalterado. Exemplos: quilômetros por hora, newtons por metro quadrado.
- g) Quando as palavras terminam com as letras *s*, *x* ou *z* não recebem a letra *s* para formar o plural. Exemplos: 1 siemens, 10 siemens; 1 lux, 27 lux; 0,1 hertz, 720 quilohertz.
- h) Se a palavra for composta por unidade e elemento complementar, ligados através de hífen ou preposição, o elemento complementar não leva o *s* na formação do plural. Exemplo: anos-luz.

Singular	Plural	Regra
decibel	decibels	c
ohm-metro	ohms-metros	e
volt	volts	c
quilograma-força	quilogramas-força	h
milímetro cúbico	milímetros cúbicos	d
metro por segundo	metros por segundo	f

GRAFIA DOS SÍMBOLOS

Na lida com os símbolos é muito comum o aparecimento de graves erros, grande parte deles ocasionada pela falta de atenção. Cuidados maiores e uma consulta às principais regras podem facilmente eliminar este problema. Estas regras são:

- a) Os símbolos são invariáveis em qualquer circunstância. Eles não admitem *s* de plural, ponto de abreviatura, sinais, letras ou qualquer acessório complementar. Exemplos: metro → m, e nunca ms, mts, M, m.s; watt → W, e nunca w, wts, Ws; quilômetro por hora → km/h, e nunca KM/H, Km/H, Km/h, Kms/hs.
- b) Quando existirem duas unidades multiplicadas entre si, elas devem ser escritas das seguintes maneiras: newton vezes metro → N.m, Nm, N.m.
- c) Quando uma unidade é constituída pela divisão de uma unidade por outra, deve-se utilizar a barra inclinada, o traço horizontal ou potências negativas. Exemplo: metro por segundo → m/s, m.s⁻¹. Nunca se deve repetir na mesma linha mais de uma barra inclinada, a não ser com o emprego de parênteses. Exemplo: m/s², m.s⁻¹ e não m/s/s.
- d) O prefixo é impresso sem espaçamentos entre o seu símbolo e o símbolo da unidade. Exemplos: kJ e não k J, MW e não M W.
- e) Quando um símbolo com prefixo tem expoente, este afeta o prefixo e a unidade, como se ambos estivessem entre parênteses. Exemplos: dm³ = (10⁻¹m)³ = 10⁻³m³; mm³ = (10⁻³m)³ = 10⁻⁹m³; cm³ = (10⁻²m)³ = 10⁻⁶m³.
- f) Não são admitidos prefixos compostos formados pela justaposição de vários prefixos SI. Exemplos: 1 nm (um nanômetro) e não 1 mµm (um milimicro metro); 1 GW (um gigawatts) e não 1 kMW (um quilomewatts).
- g) Os prefixos SI podem coexistir num símbolo composto por multiplicação ou divisão. Exemplos: kΩ.mA → quiloohm vezes miliampère; kV/µs → quilovolt por microssegundo; µW/cm² → microwatt por centímetro quadrado.
- h) Os símbolos de uma mesma unidade podem coexistir num símbolo composto por divisão. Exemplos: kWh/h → quilowatt-hora por hora; Ωmm²/m → ohm vezes milímetro ao quadrado por metro.
- i) O símbolo é escrito no mesmo alinhamento do número a que se refere. Exemplos: 1000 quilowatts → 1000 kW; 350 pascals → Pa.

GRAFIA DE NÚMEROS

As regras a seguir não se aplicam a números que não representam quantidades - como os de telefones, códigos de identificação e datas.

- Quando se trabalha com quantidades definidas, os números devem ser impressos em tipos redondos - romanos. Uma vírgula deve separar a parte inteira da parte decimal. Quando o número é menor que um (1), deve-se colocar um zero à esquerda da vírgula. Exemplos: 6 324 354,479 128 e não 6.324.354,479.143; 0,375 e não ,375 ou .375.
- É recomendado, para facilitar a leitura de números longos, que os algarismos - das partes inteira e decimal - sejam agrupados de três em três, a partir da vírgula tanto para a esquerda como para a direita. Pequenos espaços devem separar estes grupos de algarismos. Quando estes números se referirem a dinheiro, quantidades de mercadorias, bens ou serviços em documentos para fins fiscais, jurídicos ou comerciais, para eximir a possibilidade de erros ou fraudes, devem ter pontos separando os grupos de três algarismos. Exemplos: em se tratando de um custo, R\$ 2.586.878,15, e não R\$ 2 586 878,15; em se tratando da quantidade de um bem, 5.346.000, e não 5 346 000. Deve-se tomar muito cuidado nas operações matemáticas, por mais simples que possam ser. O sinal de multiplicação entre números deve ser o sinal de vezes (x). Exemplo: 172x43, e não 172.43.
- A divisão de um número por outro deve ser indicada por uma barra horizontal inclinada ou por uma potência negativa. Em algumas situações pode-se usar o sinal “÷” para a divisão de números. Exemplos: (195/436)/4,53, e não 195/436/4,53; 195/(436/4,53), e não 195/435/4,53.

PRONÚNCIA DOS MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DECIMAIS DAS UNIDADES

Na forma oral, os nomes dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades são pronunciados por extenso, prevalecendo a sílaba tônica da unidade.

As palavras quilômetro, decímetro, centímetro e milímetro, consagradas pelo uso com o acento tônico deslocado para o prefixo, são as únicas exceções a esta regra. Os demais múltiplos decimais do metro devem ser pronunciados com o acento tônico na penúltima sílaba (*mê*). Exemplo: megametro, micrometro - distinto do micrometro, instrumento de medição -, nanômetro etc.

MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS

Para expressar múltiplos e submúltiplos das unidades do SI, são utilizados os prefixos apresentados na tabela a seguir:

Nome	Símbolo	Valor	Nome	Símbolo	Valor	Nome	Símbolo	Valor
yota	Y	10 ²⁴	quilo	k	10 ³	nano	n	10 ⁻⁹
zetta	Z	10 ²¹	hecto	h	10 ²	pico	p	10 ⁻¹²
exa	E	10 ¹⁸	deca	da	10	femto	f	10 ⁻¹⁵
peta	P	10 ¹⁵	deci	d	10 ⁻¹	atto	a	10 ⁻¹⁸
tera	T	10 ¹²	centi	c	10 ⁻²	zepto	z	10 ⁻²¹
giga	G	10 ⁹	milli	m	10 ⁻³	yocto	y	10 ⁻²⁴
mega	M	10 ⁶	micro	μ	10 ⁻⁶			

ALGUMAS TRANSFORMAÇÕES DE UNIDADES

Para transformar	em	multiplicar por
acre	m ²	4,046 856 x 10 ³
alqueire do Norte	m ²	27 225
alqueire GO, MG, RJ	m ²	48 400
alqueire paulista	m ²	24 200
angström	m	10 ⁻¹⁰
ano-luz	km	9,460 536 207 x 10 ¹⁵
are	m ²	100,00
arroba métrica	kg	15,000
atmosfera	Pa	101 325
bar	Pa	10 ⁵
barril de petróleo (EUA)	m ³	0,158 987 3
braça	m	1,828 8
BTU (IT)	Wh	0,293 071
BTU (unidade térmica inglesa)	J	1 055,056

Para transformar	em	multiplicar por
BTU/hora	W	0,293 071
caloria internacional	J	4,186 84
caloria termoquímica	J	4,183 399
caloria/segundo	W	4,185 5
cavalo-vapor (HP)	W	745,7
cavalo-vapor métrico	W	735,497
cavalo-vapor-hora	J	$2,684 5 \times 10^6$
dia	s	86 400
dina	N	10^{-5}
dina/centímetro quadrado	Pa	0,1
elétron-volt	J	$1,602 177 33 \times 10^{-19}$
erg	J	10^{-7}
galão (EUA)	m ³	$3,785 412 \times 10^{-3}$
galão inglês	m ³	$4,546 09 \times 10^{-3}$
grau	rad	$1,745 3 \times 10^{-2}$
grau/segundo	rad/s	$1,745 3 \times 10^{-2}$
HP – eletricidade	W	746,000
jarda	m	0,914 4
légua brasileira	m	6 600
légua marítima	m	5 559,7
légua terrestre	m	4 828,032
libra	N	4,448 222
libra (<i>avoirdupois</i>)	kg	0,453 592 3
libra (<i>troy</i>)	kg	0,353 242
libra/pé cúbico	kg/m ³	16,018 463
libra/pé quadrado	Pa	47,876 912
libra/polegada cúbica	kg/m ³	27 679,904
libra/polegada quadrada	Pa	$6,894 75 \times 10^3$
libra-força	N	4,448 222
litro	m ³	10^{-3}
milha marítima	m	1 852

Para transformar	em	multiplicar por
milha/hora	m/s	0,447 04
milímetro de água	Pa	9,806 65
milímetro de mercúrio (mmHg)	Pa	133,322 aprox.
nó (milha marítima/hora)	m/s	0,514 444
onça (<i>avoirdupois</i>)	kg	$2,834 952 7 \times 10^{-2}$
onça (<i>troy</i>)	kg	$3,110 3 \times 10^{-2}$
parsec	m	$3,085 677 \times 10^{16}$
pé	m	0,304 801
pé/segundo	m/s	0,304 801
pé/segundo ao quadrado	m/s ²	$3,048 000 \times 10^{-1}$
pé-libra	J	1,356
polegada	m	$25,40 \times 10^{-3}$
polegada/segundo	m/s	$25,40 \times 10^{-3}$
polegada/segundo ao quadrado	m/s ²	$25,40 \times 10^{-3}$
poundal	N	0,138 255
poundal-pé	J	0,042 14
quilate	kg	$2,10 \times 10^{-4}$
quilograma força-metro	Nm	9,806 65
quilograma-força	N	9,806 65
quilograma-força/centímetro quadrado	Pa	98 066,500
quilômetro/hora	m/s	0,277 778
quilowatt-hora	J	$3,600 \times 10^6$
rotações/minuto (rpm)	rad/s	0,104 72
slug	kg	14,593
slug/pé cúbico	kg/m ³	515,317 882
tonelada	kg	$1,000 \times 10^3$
tonelada curta	kg	907,184 74
tonelada longa	kg	1 016,046 909
torriceli	Pa	133,322
vara	m	5,029 2
watt	J/s	1

Grandeza	Nome	Símbolo	(1)	(2)
capacitância	farad	F	C/V	$A^2 \cdot s^4 \cdot kg^{-1} \cdot m^{-2}$
condutância	siemens	S	A/V	$A^2 \cdot s^3 \cdot kg^{-1} \cdot m^{-2}$
energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	N.m	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
fluxo magnético	weber	Wb	V.s	$kg \cdot m^2 \cdot A^{-1} \cdot s^{-2}$
força	newton	N	–	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
frequência	hertz	Hz	–	s^{-1}
indução magnética	tesla	T	Wb/m ²	$kg \cdot A^{-1} \cdot s^{-2}$
indutância	henry	H	Wb/A	$kg \cdot m^2 \cdot A^{-2} \cdot s^{-2}$
potência, fluxo energético	watt	W	J/s	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
potencial elétrico, tensão elétrica	volt	V	W/A	$kg \cdot m^2 \cdot A^{-1} \cdot s^{-3}$
pressão	pascal	Pa	N/m ²	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
quantidade de eletricidade, carga elétrica	coulomb	C	–	A.s
resistência elétrica	ohm	Ω	V/A	$kg^{-1} \cdot m^2 \cdot A^{-2} \cdot s^{-3}$

APÊNDICE B

ALGUMAS INFORMAÇÕES IMPORTANTES

CONSTANTES FÍSICAS

número de Avogadro	$6,022\ 57 \times 10^{23}/\text{mol}$
densidade do ar a 0 °C, 1 atm	$1,293\ \text{kg}/\text{m}^3$
densidade da água a 3,98 °C	$9,999\ 973 \times 10^2\ \text{kg}/\text{m}^3$
raio equatorial da Terra	6 378,39 km
aceleração gravitacional ao nível do mar	$9,806\ 65\ \text{m}/\text{s}^2$
calor de fusão da água, 0 °C	$3,337\ 5 \times 10^5\ \text{J}/\text{kg}$
calor de vaporização da água, 100 °C	$2,259\ 1 \times 10^6\ \text{J}/\text{kg}$
massa do átomo de hidrogênio	$1,673\ 39 \times 10^{-27}\ \text{kg}$
constante molar dos gases	$8,314\ 4\ \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
constante de Planck	$6,625\ 54 \times 10^{-34}\ \text{J}/\text{Hz}$
velocidade da luz no vácuo	$2,997\ 9 \times 10^8\ \text{m}/\text{s}$
velocidade do som no ar seco a 0 °C	331,36 m/s
massa da terra	$5,98\ 10^{24}\ \text{kg}$
constante de Stefan-Boltzmann	$5,669\ 7 \times 10^{-8}\ \text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$

SINAIS E SÍMBOLOS MATEMÁTICOS

+	adição	log	logaritmo decimal	∝	proporcional a
-	subtração	ln	logaritmo natural	=	igual a
×	multiplicação	∞	infinito	≈	aproximadamente igual a
÷	divisão	∀	para todo	≠	diferente de
±	mais ou menos	∈	pertence	≡	idêntico a, definido como
\bar{x}	valor médio de x	∉	não pertence	>	maior que
Σ	somatório	∃	existe	>>	muito maior que
∫	integral	⊃	contém	<	menor que
n!	n fatorial	⊂	está contido	<<	muito menor que
lim	limite	⊄	não está contido	≥	maior ou igual a
π	número pi	∪	união de conjuntos	≤	menor ou igual a
	tal que	∩	interseção de conjuntos	∅	conjunto vazio

ALFABETO GREGO

Alfa	A	α	Eta	H	η	Ni	N	ν	Tau	T	τ
Beta	B	β	Teta	Θ	θ	Csi	Ξ	ξ	Hipsilo	Υ	υ
Gama	Γ	γ	Iota	I	ι	Ômicron	O	ο	Fi	Φ	φ
Delta	Δ	δ	Capa	K	κ	Pi	Π	π	Qui	X	χ
Epsilo	E	ε	Lambda	Λ	λ	Rô	P	ρ	Psi	Ψ	ψ
Dzeta	Z	ζ	Mi	M	μ	Sigma	Σ	σ	Ômega	Ω	ω

MATEMÁTICA

Tida como uma das mais abstratas das ciências, a matemática é, antes de mais nada, uma linguagem universal. É também o mais forte instrumento de auxílio no estudo das ciências exatas. Não se concebe um engenheiro que

não saiba usar modelos matemáticos na resolução de seus problemas. Os ramos da matemática, basicamente, são os seguintes:

ARITMÉTICA. É a teoria matemática dos números naturais. A aritmética constitui a base fundamental da matemática pura e aplicada. A palavra vem do grego *arithmetiké*. Os números naturais surgiram junto com as primitivas atividades humanas de contagem e medida e, com eles, os sistemas de numeração, que evoluíram até chegar ao atual sistema de numeração posicional.

ÁLGEBRA. É um prolongamento da aritmética, onde os números são representados por letras, facilitando a formulação de suas propriedades gerais. Em sua parte elementar, a álgebra é a teoria das equações e dos sistemas de equações. Alcança, ainda, o estudo das séries aritméticas, geométricas, harmônicas, logarítmicas, das frações contínuas, dos números complexos, da análise vetorial e das matrizes. Nos dias de hoje, transformou-se no estudo de sistemas abstratos como os grupos, anéis e corpos, implicando uma *algebrização* crescente de toda a matemática.

GEOMETRIA. Dedicada às propriedades do espaço. Existem inúmeras derivações da geometria em função de seu alto grau de desenvolvimento e suas especializações. Estas derivações são: geometria plana, sólida, analítica, descritiva, diferencial, algébrica, não-euclidiana e projetiva. Segundo historiadores, os babilônios já usavam a geometria entre 2000 a 1500 a.C., como base para a mensuração astronômica. Euclides, no ano 323 a.C., escreveu os *Elementos*, onde estão estabelecidos os postulados básicos da geometria.

TRIGONOMETRIA. Calcada na geometria, mas associada à álgebra, estuda as questões relativas às distâncias e direções, utilizando as figuras geométricas, bem como as relações que elas mantêm entre si. É dividida em plana e esférica; a esférica refere-se a problemas envolvendo três dimensões. Entre 600 a 500 a.C., Pitágoras demonstrou o teorema do quadrado da hipotenusa.

ANÁLISE. Parte nuclear da matemática, tem como temas básicos os cálculos diferencial e integral e, em particular, as equações diferenciais, ou seja, aquelas que envolvem funções e suas derivadas.

MATEMÁTICA APLICADA. Inclui temas especificamente utilizados para a solução de problemas práticos da física, da astronomia e outros, dando origem a novas áreas, como séries de Fourier, funções de Bessel, polinômios de Legendre, análise combinatória, cálculo de probabilidades, estatística...

Hoje em dia as técnicas de computação são indispensáveis no uso da matemática, para extrair mais benefícios de sua aplicação. Computadores aceleram em milhares de vezes os cálculos, fazendo com que os modelos matemáticos tenham a sua capacidade de previsão aumentada. O mundo moderno é invadido pela matemática. Grandes conquistas de diversos ramos da ciência e da tecnologia são devidas a ela. Dentre suas áreas de aplicação, a engenharia está em primeiro lugar, pois o conhecimento desta matéria é fundamental, por exemplo, para o cálculo de grandes estruturas e da resistência dos materiais empregados, para projetar circuitos elétricos e eletrônicos, para lançar ao espaço satélites e foguetes, para selecionar bombas de irrigação numa propriedade rural...

Aprender a dominar a matemática não é uma opção; é uma preocupação fundamental para quem quer dispor de uma das ferramentas mais importantes e potentes para solucionar problemas de engenharia.

FÍSICA

Através dos conhecimentos estudados na física, podemos compreender as propriedades de um sistema real, suas leis de funcionamento, de movimento, equilíbrio, enfim, o seu comportamento quando diante de perturbações externas, como forças gravitacionais, eletromagnéticas, centrífugas ou carregamentos. Um dos objetivos dos estudos da física é a formulação do comportamento da natureza em linguagem matemática.

Por muito tempo a física confundiu-se com as ciências da natureza e com diferentes ramos da técnica. Atualmente compreende os níveis de organização da matéria, excluídos os aspectos químicos e biológicos.

Os métodos experimentais caracterizaram os primórdios da física. Muitos desenvolvimentos físicos nasceram de experiências similares em outras áreas. Um exemplo que ressalta esta afirmação é a invenção da pilha elétrica, nascida de experiências biológicas sobre a eletricidade animal.

Por outro lado, o potencial da física na criação de técnicas aproveitáveis por outras ciências deu origem à física aplicada, de que resultaram, por exemplo, as pesquisas sobre semicondutores – voltadas para a aplicação na eletrônica –, sobre propriedades das películas finas aplicáveis em circuitos integrados, fitas magnéticas etc.; e sobre fusão nuclear controlada, buscando novas formas para a aplicação da energia.

A física divide-se, basicamente, em experimental e teórica. A experimental é uma sondagem das propriedades da matéria, de seus movimentos e transformações, através de observações e medidas de parâmetros relevantes. A teórica visa à incorporação dos resultados experimentais em teorias

consistentes, capazes de articular elementos novos a outros já conhecidos, representando-os segundo estruturas lógicas abrangentes, que recorrem a um conjunto mínimo de postulados e princípios gerais. A física teórica permite a previsão de fenômenos e a formulação de teorias dos instrumentos de medidas, essenciais para o desenvolvimento do método experimental.

A física conta com cinco disciplinas gerais, que constituem a linguagem básica para a descrição e sistematização de todos os campos, englobando as estruturas lógicas e as técnicas matemáticas – sempre presentes – para lidar com as questões relacionadas com a massa, a carga elétrica e a energia.

Uma rápida apresentação destas disciplinas vem a seguir.

MECÂNICA CLÁSSICA. Trata das leis do movimento da matéria e relaciona as condições impostas pela massa e pelos agentes de movimento – forças.

ELETROMAGNETISMO. Relacionada com as leis do movimento, depende das condições impostas pela carga elétrica e por seus agentes – forças eletromagnéticas.

TERMODINÂMICA. Estuda as leis gerais do comportamento da energia em nível macroscópico, suas manifestações sob a forma de calor e a conversão deste em energia.

MECÂNICA ESTATÍSTICA. Trata dos aspectos estatísticos do movimento, aplicando-os a sistemas constituídos por um número grande de partículas materiais.

MECÂNICA QUÂNTICA. Trata das leis do movimento que prevalecem em domínios microscópicos.

Os conhecimentos da física podem se dar em alguns campos, como os seguintes:

COSMOLOGIA. Origem e evolução do universo.

ASTROFÍSICA. Evolução, processos de combustão e síntese dos elementos estelares.

GRAVITAÇÃO. Leis gerais do movimento e suas relações com a massa inercial da matéria.

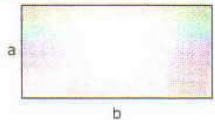
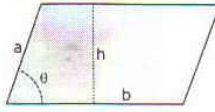
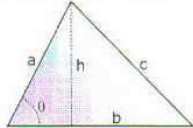
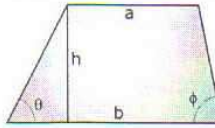
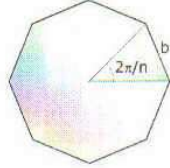
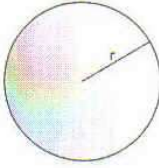
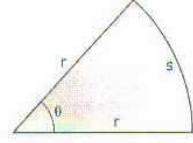
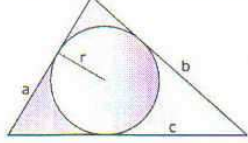
MECÂNICA DOS FLUIDOS. Propriedades gerais e leis do movimento de gases e líquidos.

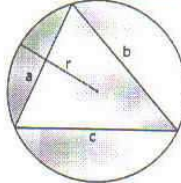
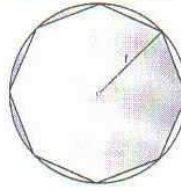
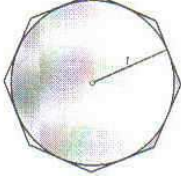
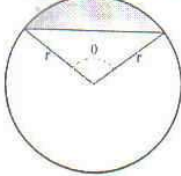
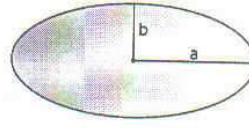
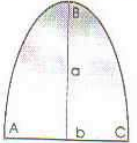
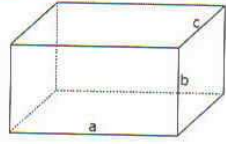
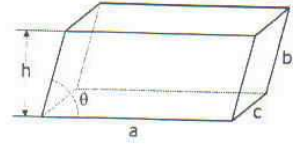
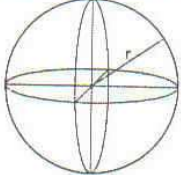

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS. Aspectos ondulatórios associados a estados eletrizados da matéria.

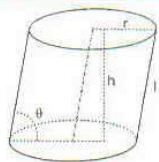
FÍSICA MOLECULAR, ATÔMICA E NUCLEAR. Propriedades gerais e estruturas da matéria e do movimento nos domínios molecular, atômico e nuclear.

Estes campos de estudos também possuem suas divisões, o que particulariza ainda mais os assuntos relativos às diversas áreas de aplicação. Pode-se citar como exemplo a Mecânica dos Fluidos, que encerra em seu escopo vários setores, tais como hidrostática, hidrodinâmica e camada limite.

FÓRMULAS GEOMÉTRICAS

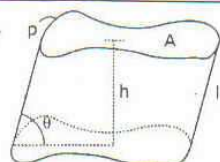
 <p>A (área) = ab P (perímetro) = $2a+2b$</p>	 <p>$A=bh=ab \text{ sen}\theta$ $P=2a+2b$</p>
 <p>$A=bh/2=(ab/2)\text{sen}\theta = [s(s-a)(s-b)(s-c)]^{1/2}$ onde $s=(a+b+c)/2$=semiperímetro $P=a+b+c$</p>	 <p>$A=h(a+b)/2$ $P=a+b+h[(1/\text{sen}\theta)+(1/\text{sen}\phi)]$ $=a+b+h(\text{cosec}\theta+\text{cosec}\phi)$</p>
 <p>$A=(1/4)nb^2\text{cot}(\pi/n)$ $=(1/4)nb^2\text{cos}(\pi/n)/\text{sen}(\pi/n)$ $P=nb$</p>	 <p>$A=\pi r^2$ $P=2\pi r$</p>
 <p>$A=(1/2)r^2\theta$ (θ em radianos) Comprimento do arco $s=r\theta$</p>	 <p>$r=[s(s-a)(s-b)(s-c)]^{1/2}/s$ onde $s=(a+b+c)/2$=semiperímetro</p>

 <p>$r=abc/[4[s(s-a)(s-b)(s-c)]^{1/2}]$ onde $s=(a+b+c)/2$=semiperímetro</p>	 <p>$A=(nr^2/2)\text{sen}(2\pi/n)=(nr^2/2)\text{sen}(360^\circ/n)$ $P=2nr \text{sen}(\pi/n)=2nr \text{sen}(180^\circ/n)$</p>
 <p>$A=nr^2 \text{tg}(\pi/n)=nr^2 \text{tg}(180^\circ/n)$ $P=2nr \text{tg}(\pi/n)=2nr \text{tg}(180^\circ/n)$</p>	 <p>Área sombreada=$r^2(\theta-\text{sen}\theta)/2$</p>
 <p>$A=\pi ab$ $P=2\pi[(a^2+b^2)/2]^{1/2}$</p>	 <p>$A=2ab/3$ $\text{Arco } ABC=[b^2+16a^2]^{1/2}/2+$ $+(b^2/8a)\log\{(1/b)[4a+(b^2+16a^2)^{1/2}]\}$</p>
 <p>$V=abc$ $A=2(ab+ac+bc)$</p>	 <p>$V=ach=abc \text{ sen}\theta$</p>
 <p>$V=4\pi r^3/3$ $A=4\pi r^2$</p>	 <p>$V=\pi r^2 h$ Área da superfície lateral=$2\pi r h$</p>



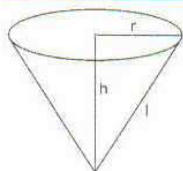
$$V = \pi r^2 h = \pi r^2 l \sin \theta$$

$$\text{Área da superfície lateral} = 2\pi r l = 2\pi r h / \sin \theta$$



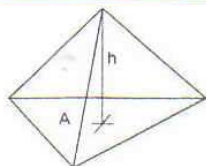
$$V = Ah = Al \sin \theta$$

$$\text{Área da superfície lateral} = pl = ph / \sin \theta$$

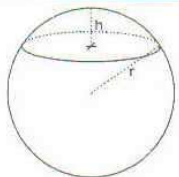


$$V = \pi r^2 h / 3$$

$$\text{Área da superfície lateral} = \pi r (r^2 + h^2)^{1/2} = \pi r l$$

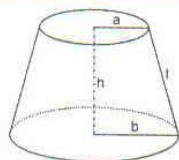


$$V = Ah / 3$$



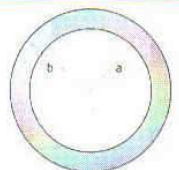
$$\text{Volume da parte destacada} = \pi h^2 (3r - h) / 3$$

$$\text{Área da superfície externa destacada} = 2\pi r h$$



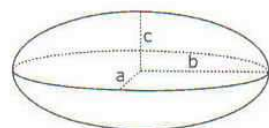
$$V = \pi h (a^2 + ab + b^2) / 3$$

$$\text{Área da superfície lateral} = \pi (a + b) l = \pi (a + b) [h^2 + (b - a)^2]^{1/2}$$

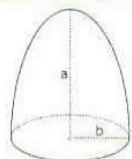


$$V = \pi^2 (b - a)^2 (a + b) / 4$$

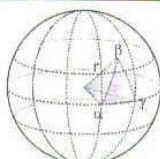
$$A = \pi^2 (b^2 - a^2)$$



$$V = 4\pi abc / 3$$



$$V = \pi b^2 a / 2$$



$$\text{Área do triângulo } \alpha\beta\gamma = (\alpha + \beta + \gamma - \pi) r^2$$

LEITURAS SUGERIDAS

ADAMS, James L. *Idéias criativas: como vencer seus bloqueios mentais*. Rio de Janeiro: Ediouro, 1994.

ALVES, Rubem A. *Filosofia da ciência: uma introdução ao jogo e suas regras*. 21. ed. São Paulo: Brasiliense, 1995.

BACK, Nelson. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. (capítulos 2 e 11)

BAZZO, Walter Antonio; LINSINGEN Irlan von; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale. *Introdução aos estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)*. Madri: Organização dos Estados Ibero-americanos, 2003.

BAZZO, Walter Antonio; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale; LINSINGEN, Irlan von. *Educação Tecnológica: enfoques para o ensino de engenharia*. Florianópolis: EDUFSC, 2000.

BROCKMAN, John; MATSON, Katinka. *As coisas são assim: pequeno repertório científico do mundo que nos cerca*. São Paulo: Cia. das Letras, 1997.

CHASSOT, Attico. *A ciência através dos tempos*. São Paulo: Moderna, 1994.

ECO, Umberto. *Como se faz uma tese*. São Paulo: Perspectiva, 1993.

EINSTEIN, Albert. *Como vejo o mundo*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981.

GAARDER, Jostein. *O Mundo de Sofia*. São Paulo: Cia. das Letras, 1995.

GOLEMAN, Daniel; KAUFMAN, Paul; RAY, Michael. *O espírito criativo*. São Paulo: Cultrix, 1998.

HAZEN, Robert M.; TREFIL, James. *Saber ciência: do big bang à engenharia genética, as bases para entender o mundo atual e o que virá depois*. São Paulo: Cultura Editores Associados, 1996.

MACEDO, Edison Flávio. *Manual do profissional: introdução à teoria e à prática das profissões do sistema Confea/Creas*. Florianópolis: Recorde, 1997.

- MASI, Domenico de. *Criatividade e grupos criativos*. Rio de Janeiro: Sextante, 2003.
- MORIN, Edgar. *A cabeça bem feita*. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2001.
- NORTHEGE, Andrew. *Técnicas para estudar com sucesso*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1998.
- OECH, Roger von. *Um "toc" na cuca*. 12. ed. São Paulo: Cultura Editores Associados, 1990.
- PIRSIG, Robert M. *Zen e arte da manutenção de motocicletas*. 13.ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2000.
- POSTMAN, Neil. *Tecnopólio: a rendição da cultura à tecnologia*. São Paulo: Livraria Nobel, 1994.
- PREDEBON, José. *Criatividade: abrindo o lado inovador da mente – um caminho para o exercício prático dessa potencialidade, esquecida ou reprimida quando deixamos de ser crianças*. São Paulo: Atlas, 1997.
- RONAN, Colin A. *História ilustrada da ciência*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1990. 4 v.
- RUTHERFORD, F. James; AHLGREN, Andrew. *Ciência para todos*. Lisboa: Gradiva, 1995.
- SAGAN, Carl. *O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro*. São Paulo: Companhia das letras, 1996.
- SEABRA, Giovanni de Farias. *Pesquisa científica: o método em questão*. Brasília: EdUnB, 2001.
- TELLES, Pedro Carlos da Silva. *História da engenharia no Brasil: séculos XVI a XIX*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.
- TELLES, Pedro Carlos da Silva. *História da engenharia no Brasil: século XX*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1993.
- VICENTE, Kim. *Homens e máquinas: como a tecnologia pode revolucionar a vida cotidiana*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2005.