Introdução

Objetivos

- Tornar-se consciente do rápido crescimento da indústria eletroeletrônica no último século.
- Compreender a importância de aplicar uma unidade de medida a um resultado ou medida, assim como de assegurar que os valores numéricos substituídos na equação sejam consistentes com a unidade de medida das várias quantidades.
- Familiarizar-se com o sistema SI de unidades usado pela indústria eletroeletrônica.
- Compreender a importância das potências de dez e saber como trabalhá-las em qualquer cálculo numérico.
- Ser capaz de converter qualquer quantidade, em qualquer sistema de unidades, em outro sistema.

1.1 A INDÚSTRIA ELETROELETRÔNICA

Nas últimas décadas, a tecnologia vem mudando a um ritmo cada vez mais intenso. A pressão para desenvolver novos produtos, melhorar o desempenho de sistemas existentes e criar novos mercados apenas acelera esse ritmo. Essa pressão, entretanto, é também o que torna esse campo tão empolgante. Novas maneiras de armazenar informações, construir circuitos integrados e desenvolver hardwares que contenham componentes de software que possam 'pensar' sozinhos com base na entrada de dados são apenas algumas possibilidades.

A mudança sempre fez parte da experiência humana, mas ela costumava ser gradual. Isso não é mais verdade. Apenas pense, por exemplo, que foi apenas há alguns anos que as TVs com telas grandes e achatadas foram introduzidas. Elas já foram ultrapassadas pelas TVs de alta definição com imagens tão nítidas que as fazem parecer quase tridimensionais.

A miniaturização também proporcionou avanços enormes nos sistemas eletrônicos. Telefones celulares que antes eram do tamanho de notebooks agora são menores do que um baralho de cartas. Além disso, as novas versões gravam vídeos, enviam fotos e mensagens de texto e têm calendários, agendas, calculadoras, jogos e uma lista dos números chamados com mais frequência. Caixas de som enormes que tocavam fitas cassete foram substituídas por iPods® de bolso que podem armazenar 30 mil músicas ou 25 mil fotos. Aparelhos de surdez com níveis de potência mais altos que são quase invisíveis no ouvido, TVs com telas de uma polegada — a lista de produtos novos ou incrementados continua se expandindo na medida em que sistemas eletrônicos significativamente menores vão sendo desenvolvidos.

Essa redução no tamanho dos sistemas eletrônicos é devida fundamentalmente a uma inovação importante introduzida em 1958 — o **circuito integrado (CI)**. Um circuito integrado agora pode conter componentes menores que 50 nanômetros. O fato de que as medidas estão sendo feitas em nanômetros resultou na terminologia **nanotecnologia**, que se refere à produção de circuitos integrados chamados *nanochips*. Para compreender os nanômetros, trace 100 linhas dentro dos limites de 1 polegada. Então, tente traçar 1.000 linhas dentro do mesmo espaço. Criar componentes de 50 nanômetros exigiria traçar mais de 500 mil linhas em uma polegada. O circuito integrado mostrado na Figura 1.1 é um processador de quatro núcleos Intel® Core 2 Extreme que tem 291 milhões de transistores em cada chip de dois núcleos. O resultado é que o pacote inteiro, que tem o tamanho de aproximadamente três selos, tem quase 600 milhões de transistores — um número difícil de assimilar.

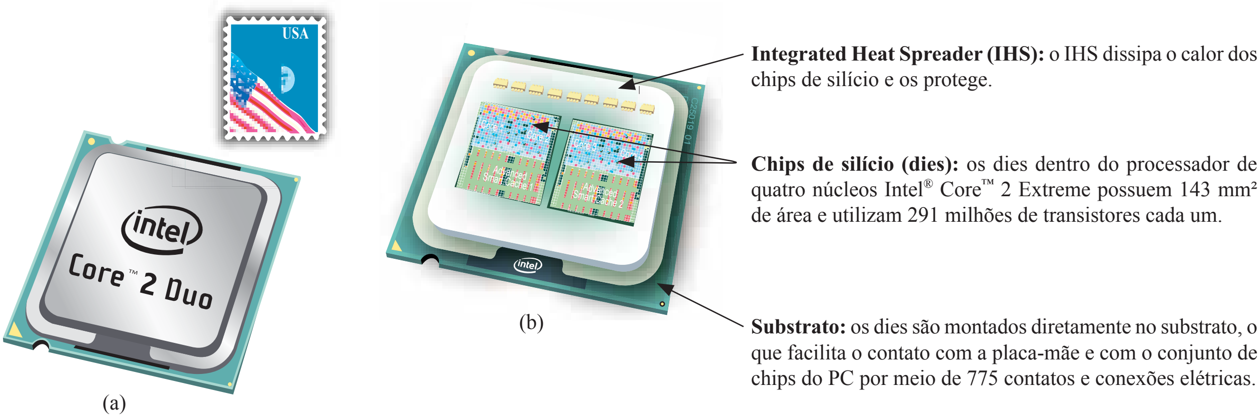

Figura 1.1 Processador de quatro núcleos Intel® Core™ 2 Extreme: (a) aparência da superfície, (b) chips internos.

Entretanto, antes que uma decisão seja tomada sobre reduções tão dramáticas em tamanho, o sistema tem de ser projetado e testado para determinar se vale a pena construí-lo como um circuito integrado. Esse processo de desenvolvimento exige engenheiros que conheçam as características de cada dispositivo usado no sistema, incluindo aquelas indesejáveis, que são parte de qualquer elemento eletrônico. Em outras palavras, *não existem elementos ideais* (*perfeitos*) em um projeto eletrônico. Considerar as limitações de cada componente é necessário para assegurar uma resposta confiável sob todas as condições de temperatura, vibração e efeitos do ambiente circundante. Desenvolver esse conhecimento exige tempo, e é preciso que se comece pela compreensão das características básicas do dispositivo, como abordado neste livro. Um dos objetivos deste livro é explicar como os componentes ideais funcionam e quais suas funções em um circuito. Outro propósito é explicar as condições nas quais os componentes podem não ser ideais.

Um dos aspectos muito positivos do processo de aprendizado associados aos circuitos elétricos e eletrônicos é que, uma vez que um conceito ou procedimento tenha sido claro e corretamente compreendido, ele será útil no decorrer de toda a carreira do indivíduo em qualquer nível. Uma vez que uma lei ou equação tenha sido compreendida, ela não será substituída por outra equação na medida em que o material torna-se mais avançado e complicado. Por exemplo, uma das primeiras leis a ser introduzida é a lei de Ohm. Ela fornece uma relação entre forças e componentes que sempre será verdadeira, não importando quão complicado o sistema se tornará. Na realidade, trata-se de uma equação que será aplicada de várias formas no decorrer do projeto de todo o sistema. O uso das leis básicas pode mudar, mas as leis não mudarão, e serão sempre aplicáveis.

É de vital importância compreender que o processo de aprendizado na análise de circuitos é sequencial. Isto é, os primeiros capítulos estabelecem a base para os capítulos restantes. O insucesso em compreender de maneira apropriada os capítulos iniciais levará apenas a dificuldades na compreensão dos capítulos posteriores. Este primeiro capítulo apresenta um breve histórico do campo seguido por uma revisão de conceitos matemáticos necessários para o entendimento do restante do material.

1.2 UM BREVE HISTÓRICO

Na ciência, uma vez que uma hipótese é provada e aceita, ela se torna um dos fundamentos daquela área de estudo, permitindo investigação e desenvolvimento posteriores. Naturalmente, quanto mais peças de um quebra-cabeça estiverem disponíveis, mais fácil será sua solução. De fato, a História demonstra que, às vezes, um simples avanço isolado pode ser a chave para levar a ciência a um novo patamar de compreensão, aumentando também seu impacto sobre a sociedade.

Se tiver oportunidade, leia algumas das diversas publicações sobre a história do assunto tratado neste livro. Por causa das limitações de espaço, apresentaremos aqui apenas um pequeno resumo. O número de pessoas que contribuíram é muito maior do que aquele que podemos mencionar, e seus esforços resultaram, muitas vezes, em contribuições significativas para a solução de problemas importantes.

Ao longo da História, alguns períodos foram caracterizados pelo que parecia ser uma explosão de interesse e de desenvolvimento em determinadas áreas. Mais adiante, veremos que no final do século XVIII e começo do XIX, invenções, descobertas e teorias apareciam de modo rápido e tempestuoso. Cada novo conceito aumentava o número de possíveis áreas de aplicação, até que se tornou quase impossível rastrear os avanços sem escolher determinada área de interesse. À medida que você estiver lendo, nesse retrospecto, sobre o desenvolvimento do rádio, da televisão e do computador, lembre-se de que ao mesmo tempo ocorriam avanços semelhantes nas áreas de telegrafia, telefonia, geração de energia elétrica, gravação de áudio, de eletrodomésticos, entre outras.

Quando lemos algo sobre os grandes cientistas, inventores e inovadores, há uma tendência a acreditar que suas descobertas foram resultado de um esforço completamente individual. Em muitos casos, no entanto, isso não é verdade. De fato, muitos dos indivíduos que deram grandes contribuições eram amigos ou colaboradores, e se apoiavam mutuamente em seus esforços para investigar diversas teorias. Eles estavam, pelo menos, cientes das atividades uns dos outros, até onde era possível em uma época em que a carta era quase sempre a melhor forma de comunicação. Observe, em particular, a proximidade das datas durante os períodos de desenvolvimento rápido. Um colaborador parecia estimular os esforços dos outros ou, possivelmente, fornecer os dados necessários à pesquisa de uma área de interesse.

As pessoas que contribuíram com as pesquisas durante os estágios iniciais nesse campo não eram engenheiros eletricistas, eletrônicos ou de computação como os que conhecemos hoje. Na maioria dos casos, eram físicos, químicos, matemáticos e até mesmo filósofos. Além disso, não pertenciam a um ou dois países do Velho Mundo. Ao nos referirmos aos que deram grandes contribuições, citamos, na maior parte dos casos, o país de origem para mostrar que quase todas as comunidades com razoável grau de organização tiveram certo impacto no desenvolvimento das leis fundamentais dos circuitos elétricos.

À medida que você for lendo os outros capítulos deste livro, perceberá que muitas unidades de medida receberam o nome de cientistas importantes nessas áreas — o conde Alessandro Volta teve seu nome associado à unidade de d.d.p., o *volt*; o *ampère* homenageia André Ampère; o *ohm*, Georg Ohm, e assim por diante — em reconhecimento a suas importantes descobertas, que deram origem a esse grande campo de estudo.

A Figura 1.2 mostra gráficos temporais que indicam um certo número de avanços notáveis com a intenção principal de identificar períodos específicos de desenvolvimento, e também de mostrar até onde chegamos nas últimas décadas. Em essência, o atual nível de excelência é o resultado de esforços que tiveram início há aproximadamente 250 anos, sendo que o progresso obtido nos últimos 100 anos foi quase exponencial.

Conforme você for lendo o breve histórico que se segue, tente imaginar o interesse crescente na área, o entusiasmo e o alvoroço que devem ter acompanhado cada nova revelação. Embora você possa achar, no retrospecto, alguns termos novos cujos significados desconheça, os capítulos posteriores conterão explicações sobre eles.

O princípio

O fenômeno da **eletricidade estática** tem intrigado os cientistas ao longo de toda a História. Os gregos denominavam *elektron* a resina fóssil usada frequentemente em demonstrações sobre os efeitos da eletricidade estática,

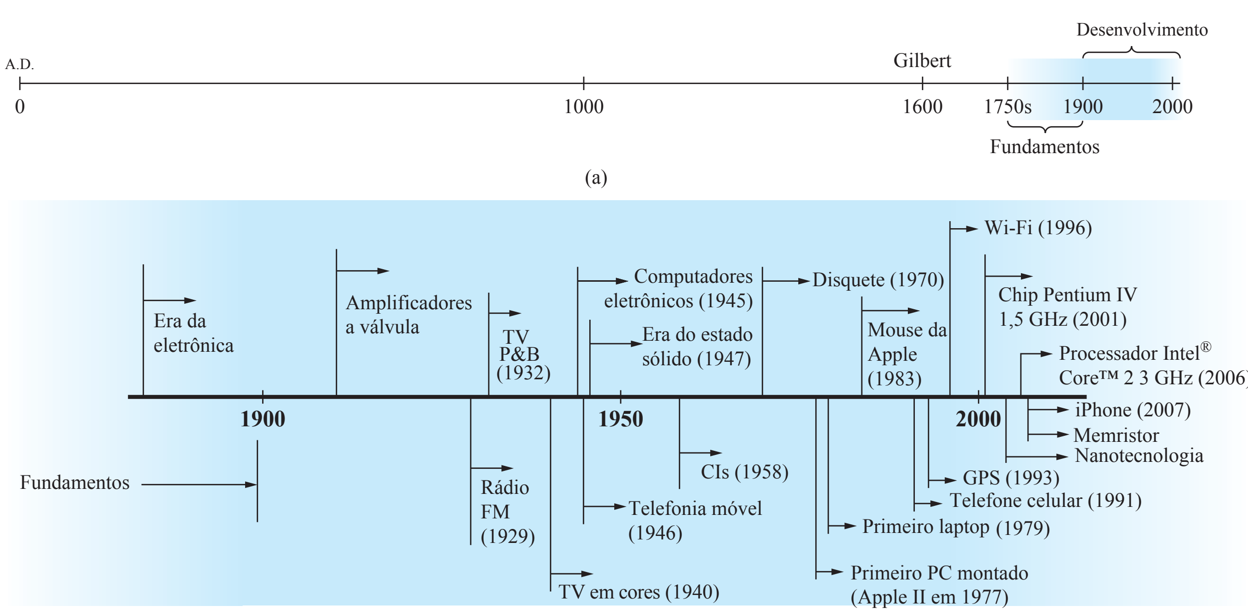

Figura 1.2 Gráficos temporais: (a) de longo alcance; (b) expandido.

mas nenhum estudo efetivo havia sido feito até William Gilbert pesquisar o assunto em 1600. Nos anos seguintes, a eletrostática foi continuamente investigada individualmente por pesquisadores como Otto von Guericke, que construiu o primeiro gerador eletrostático capaz de gerar uma quantidade apreciável de carga, e Stephen Gray, que conseguiu transmitir cargas elétricas a grandes distâncias usando fios de seda. Charles DuFay demonstrou que existem cargas que se atraem e que se repelem, o que o levou a acreditar que havia dois tipos de carga — teoria que é aceita até hoje, com nossas definições de carga positiva e carga negativa.

Muitos acreditam que o real início da era da eletricidade baseou-se nas pesquisas de Pieter van Musschenbroek e Benjamin Franklin. Em 1745, van Musschenbroek apresentou a **garrafa de Leyden**, destinada a armazenar carga elétrica (o primeiro capacitor), e demonstrou os efeitos do choque elétrico (bem como o poder dessa nova forma de energia). Franklin utilizou a garrafa de Leyden, aproximadamente sete anos depois, para demonstrar que o relâmpago era simplesmente uma descarga elétrica, e também expandiu esse estudo com várias outras teorias importantes, incluindo a denominação *positiva* e *negativa* para os dois tipos de cargas. A partir daí, novas descobertas e teorias apareceram à medida que crescia o número de pesquisas individuais com êxito nessa área.

Em 1784, Charles Coulomb demonstrou, em Paris, que a força entre as cargas é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Em 1791, Luigi Galvani, professor de anatomia na Universidade de Bolonha, na Itália, realizou experiências que demonstravam os efeitos da eletricidade nos nervos e nos músculos de animais. A primeira **célula voltaica** (bateria), capaz de produzir eletricidade a partir da reação química de um metal com um ácido, foi desenvolvida por outro italiano, Alessandro Volta, em 1799.

A febre de descobertas continuou no começo do século XIX com Hans Christian Oersted, um professor de física sueco, que anunciou, em 1820, a existência de uma relação entre magnetismo e eletricidade, o que serviu de fundamento para a teoria do **eletromagnetismo** tal como a conhecemos hoje em dia. No mesmo ano, um físico francês, André Ampère, demonstrou que existiam efeitos magnéticos em torno de condutores percorridos por correntes, e que tais condutores se atraíam e se repeliam do mesmo modo que os ímãs permanentes. No período de 1826 a 1827, um físico alemão, Georg Ohm, apresentou uma importante relação entre diferença de potencial, corrente e resistência, conhecida hoje como *lei de Ohm*. Em 1831, um físico inglês, Michael Faraday, demonstrou sua teoria sobre *indução eletromagnética*, por meio da qual uma corrente variável em uma bobina podia induzir uma corrente variável em outra bobina, mesmo que as duas bobinas não estivessem diretamente conectadas. O professor Faraday também trabalhou extensamente no desenvolvimento de um dispositivo destinado a armazenar cargas elétricas que ele denominou condensador, conhecido atualmente como *capacitor*. É de Faraday a ideia de introduzir um dielétrico entre as placas de um capacitor para aumentar sua capacidade de armazenamento (Capítulo 10). James Clerk Maxwell, professor escocês de filosofia natural, realizou uma análise matemática extensiva para desenvolver um conjunto de equações conhecido atualmente como *equações de Maxwell*, coroando os esforços de Faraday em relacionar os efeitos elétricos e magnéticos. Maxwell também desenvolveu a *teoria eletromagnética da luz* em 1862, que, entre outras coisas, revelou que as ondas eletromagnéticas se propagam no ar à velocidade da luz (186.000 milhas por segundo, ou 3×10^8 metros por segundo). Em 1888, um físico alemão, Heinrich Rudolph Hertz, por meio de experiências com ondas eletromagnéticas de baixa frequência (micro-ondas), comprovou as predições e equações de Maxwell. Na metade do século XIX, o professor Gustav Robert Kirchhoff apresentou um conjunto de leis sobre tensões e correntes em circuitos que encontram aplicações em todas as áreas e níveis desse campo (capítulos 5 e 6). Em 1895, outro físico alemão, Wilhelm Röntgen, descobriu ondas eletromagnéticas de alta frequência chamadas hoje de *raios* x.

No final do século XIX, um número significativo de equações, leis e relações fundamentais havia sido estabelecido. Vários campos de estudo, incluindo eletricidade, eletrônica, geração e distribuição de energia elétrica e sistemas de comunicação, também começaram a se desenvolver seriamente.

A era da eletrônica

Rádio. O princípio exato da era da eletrônica é uma questão em aberto, sendo que ela é, algumas vezes, associada aos primeiros trabalhos nos quais os cientistas aplicaram diferenças de potenciais em eletrodos implantados em invólucros de vidro nos quais se tinha criado vácuo. Muitos, entretanto, preferem associar esse início a Thomas Edison, que inseriu um eletrodo metálico no bulbo de uma lâmpada de filamento e descobriu que, quando a lâmpada estava acesa e uma tensão positiva era aplicada ao eletrodo, uma corrente elétrica aparecia no circuito. Esse fenômeno, observado em 1883, ficou conhecido como **efeito Edison**. No período que se seguiu, foi dada grande atenção à transmissão de ondas de rádio e ao desenvolvimento de aparelhos transmissores e receptores. Em 1887, Heinrich Hertz, durante suas tentativas de verificar os efeitos previstos pelas equações de Maxwell, efetuou em seu laboratório a primeira transmissão de ondas de rádio. Em 1896, um cientista italiano, Guglielmo Marconi (frequentemente denominado 'pai do rádio'), demonstrou, utilizando uma antena aterrada, que sinais eletrônicos poderiam ser enviados sem a utilização de fios a distâncias razoáveis (2,5 km). No mesmo ano, Alexander Popov enviou o que pode ter sido a primeira mensagem radiofônica a uma distância de aproximadamente 300 jardas (274 metros). Ele transmitiu as palavras 'Heinrich Hertz', homenageando as contribuições pioneiras de Hertz. Em 1901, Marconi conseguiu estabelecer comunicações de rádio que cruzavam o Atlântico.

Em 1904, John Ambrose Fleming baseou-se nas ideias de Edison para desenvolver o primeiro diodo, conhecido usualmente como **válvula de Fleming** — na realidade, o primeiro dos *dispositivos eletrônicos*. Esse dispositivo teve um impacto profundo sobre o design de detectores em receptores de rádio. Em 1906, Lee De Forest acrescentou um terceiro eletrodo à válvula de Fleming e criou o primeiro amplificador, o triodo. Logo depois, em 1912, Edwin Armstrong construiu o primeiro circuito regenerativo para melhorar o desempenho dos receptores, depois utilizando esses mesmos circuitos para desenvolver o primeiro oscilador não mecânico. Em 1915, sinais de rádio já eram transmitidos nos Estados Unidos e, em 1918, Armstrong solicitou a patente do circuito super-heteródino, que é empregado em praticamente todos os aparelhos de rádio e televisão e permite a amplificação somente em uma banda estreita de frequência em vez de em toda a faixa de frequência do sinal recebido. Com isso, quase todos os componentes de rádio modernos estavam disponíveis, e as vendas de receptores cresceram de uns poucos milhões de dólares no começo da década de 1920 para mais de 1 bilhão na década de 1930. Essa última década compreendeu os assim chamados anos dourados do rádio, durante os quais havia uma enorme quantidade de opções para os ouvintes.

Televisão. Os anos 1930 foram também o princípio exato da era da televisão, embora os desenvolvimentos com o tubo de imagem tenham se iniciado em anos anteriores com Paul Nipkow e seu *telescópio elétrico* em 1884, e com John Baird e sua longa lista de sucessos, incluindo a transmissão de imagens de televisão através de linhas telefônicas, em 1927, e através de ondas de rádio, em 1928, e transmissões simultâneas de imagem e de som, em 1930. Em 1932, a NBC instalou a primeira antena de televisão comercial no topo do edifício Empire State, na cidade de Nova York, e a RCA iniciou sua transmissão regular em 1939. A Segunda Guerra Mundial fez com que o desenvolvimento e as vendas diminuíssem, mas, na metade da década de 1940, o número de aparelhos cresceu de alguns milhares para alguns milhões de unidades. A televisão em cores popularizou-se no início da década de 1960.

Computadores. Os primeiros sistemas de computadores podem ser atribuídos a Blaise Pascal em 1642, com sua máquina mecânica de soma e de subtração de números. Em 1673, Gottfried Wilhelm von Leibniz usou o *disco de Leibniz* para acrescentar multiplicação e divisão às operações e, em 1823, Charles Babbage desenvolveu a **máquina de diferenças** para acrescentar as operações de seno, cosseno, logaritmo e diversas outras. Nos anos seguintes houve melhorias, mas os sistemas foram essencialmente mecânicos até a década de 1930, quando sistemas eletromecânicos, usando componentes como os relés, foram introduzidos. Foi somente na década de 1940 que os sistemas totalmente eletrônicos se tornaram a nova onda. É interessante notar que, ainda que a IBM tenha sido fundada em 1924, ela não entrou para a indústria de computadores até 1937. Um sistema completamente eletrônico conhecido como **ENIAC** foi dedicado à Universidade da Pensilvânia em 1946. Ele continha 18 mil válvulas e pesava 30 toneladas, mas foi por diversas vezes mais rápido do que a maioria dos sistemas eletromecânicos. Embora outros sistemas com válvulas a vácuo tenham sido construídos, foi somente depois do início da era do estado sólido que os computadores experimentaram uma grande mudança de tamanho, velocidade e capacidade.

A era do estado sólido

Em 1947, os físicos William Shockley, John Bardeen e Walter H. Brattain, dos laboratórios Bell (Bell Telephone Laboratories), demonstraram o **transistor** de contato de ponto (Figura 1.3), um amplificador construído inteiramente com materiais semicondutores sem necessidade de vácuo, bulbo de vidro ou tensão de aquecimento para o filamento. Embora relutante no princípio por causa da grande quantidade de conhecimentos disponíveis para projeto, análise e sínteses de redes de comunicação a válvula,

Figura 1.3 O primeiro transistor. (Usado com permissão da Lucent Technologies Inc./Laboratórios Bell.)

a indústria eventualmente aceitou essa nova tecnologia como a onda do futuro. Em 1958, o primeiro **circuito integrado (CI)** foi desenvolvido pela Texas Instruments, e, em 1961, o primeiro circuito integrado comercial foi fabricado pela Fairchild Corporation.

É impossível apresentar, de forma apropriada, toda a história do campo da eletroeletrônica em apenas algumas páginas. A intenção aqui, tanto na discussão quanto no gráfico temporal mostrado na Figura 1.2, foi revelar o incrível progresso desse campo nos últimos 50 anos. O crescimento se mostra verdadeiramente exponencial desde o início do século XX, levantando uma questão interessante: para onde iremos a seguir? O gráfico temporal sugere que nas próximas décadas provavelmente surgirão importantes contribuições inovadoras que poderão provocar uma curva de crescimento ainda mais rápido do que o que estamos experimentando.

1.3 UNIDADES DE MEDIDA

Uma das regras mais importantes para se lembrar e aplicar ao trabalhar em qualquer campo da tecnologia é usar as unidades corretas ao substituir números em uma equação. Ficamos, frequentemente, tão concentrados em obter uma solução numérica, que deixamos de conferir as unidades associadas com os números sendo substituídos em uma equação. Os resultados obtidos, portanto, são muitas vezes sem sentido. Considere, por exemplo, a seguinte equação física fundamental:

$$\boxed{v = \frac{d}{t}} \qquad \begin{aligned} v &= \text{velocidade} \\ d &= \text{distância} \\ t &= \text{tempo} \end{aligned} \tag{1.1}$$

Considere, por um momento, que os seguintes dados sejam obtidos para um objeto em movimento:

$$d = 4.000 \text{ pés}$$
$$t = 1 \text{ min}$$

e que se deseje que v seja expresso em milhas por hora. Frequentemente, sem pensar duas vezes, o estudante apenas substitui os valores numéricos na equação, cujo resultado será:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{4.000 \text{ pés}}{1 \text{ min}} = \cancel{4.000 \text{ mi/h}}$$

Conforme mencionado anteriormente, a solução está totalmente errada. Se o resultado desejado deve ser dado em *milhas por hora*, a unidade de medida para a distância tem que estar em *milhas* e, para o tempo, em *horas.* Quando o problema é analisado adequadamente, o nível do erro demonstra a importância de garantir que

o valor numérico substituído em uma equação tem que ter a unidade de medida especificada pela equação.

Normalmente, a próxima pergunta seria: como faço para converter a distância e o tempo nas unidades de medida adequadas? Um método será apresentado na Seção 1.9 deste capítulo, mas por enquanto será dado que:

$$1 \text{ mi} = 5.280 \text{ pés}$$
$$4.000 \text{ pés} = 0,76 \text{ mi}$$
$$1 \text{ min} = \frac{1}{60} \text{ h} = 0,017 \text{ h}$$

Substituindo esses valores na Equação 1.1, temos:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{0,76 \text{ mi}}{0,017 \text{ h}} = \mathbf{44,71 \text{ mi/h}}$$

que é bastante diferente do resultado obtido anteriormente.

Para complicar um pouco mais, suponha que a distância seja dada em quilômetros, como é o caso de muitas placas de sinalização em autoestradas. Em primeiro lugar, temos que perceber que o prefixo *quilo* significa multiplicar por 1.000 (o tema é apresentado na Seção 1.5) e, portanto, devemos determinar o fator de conversão entre quilômetros e milhas. Se esse fator de conversão não estiver prontamente acessível, temos de efetuar a conversão entre as unidades usando os fatores de conversão entre metros e pés ou polegadas, conforme descrito na Seção 1.9.

Antes de substituir os valores numéricos em uma equação, experimente fazer mentalmente uma estimativa razoável da faixa de valores possíveis para fins de comparação. Por exemplo, se um carro percorre 4.000 pés em um minuto, seria razoável que a velocidade dele fosse de 4.000 mi/h? É claro que não! Essa estimativa é particularmente importante nos dias de hoje, em que as calculadoras de bolso são tão comuns e resultados absurdos podem ser aceitos apenas porque eles aparecem no mostrador da calculadora.

Finalmente,

se uma unidade de medida estiver associada ao resultado ou a um conjunto de dados, então ela tem de ser associada aos valores numéricos.

Não faz sentido dizer que $v = 44,71$ se não incluirmos a unidade de medida *mi/h*.

A Equação 1.1 não é difícil. Uma simples manipulação algébrica levará à solução de qualquer uma das três variáveis. Entretanto, tendo em vista o número de questões suscitadas por essa equação, você poderá se perguntar se o grau de dificuldade associado a uma equação aumentaria na mesma proporção que o número de termos da equação. De acordo com o bom senso, isso não acontece. Existe, é claro, uma probabilidade maior de cometer algum erro matemático em uma equação mais complexa, mas, uma vez escolhido o sistema adequado de unidade, e uma vez que cada um dos termos tenha suas unidades expressas nesse sistema, devemos ter pouca dificuldade adicional associada a equações que apresentam maior número de operações matemáticas.

Em resumo, antes de substituir os valores numéricos em uma equação, certifique-se dos seguintes pontos:

1. *Cada quantidade tem uma unidade de medida própria conforme definido pela equação.*
2. *O valor numérico de cada quantidade, conforme determinado pela equação, é substituído.*
3. *Todas as quantidades estão no mesmo sistema de unidades (ou conforme definido pela equação).*
4. *O valor numérico do resultado é razoável quando comparado com as quantidades substituídas.*
5. *O resultado foi expresso na unidade de medida adequada.*

1.4 SISTEMAS DE UNIDADES

Os *sistemas de unidades* mais usados no passado foram o sistema inglês e o sistema métrico, ilustrados na Tabela 1.1. Observe que, enquanto o sistema inglês é baseado em um único padrão, o sistema métrico é subdividido em dois padrões inter-relacionados: **MKS** e **CGS**. As quantidades fundamentais desses sistemas são comparadas na Tabela 1.1, acompanhadas de suas respectivas abreviações. Os sistemas MKS e CGS têm seus nomes derivados das unidades de medida usadas em cada sistema; o sistema MKS usa metros (*meters*), quilogramas (*kilograms*) e segundos (*seconds*), enquanto o sistema CGS usa centímetros (*centimeters*), gramas (*grams*) e segundos (*seconds*).

Compreensivelmente, o uso de mais de um sistema de unidades em um mundo que está em um processo contínuo de encolhimento, graças aos avanços tecnológicos em comunicações e transportes, introduz complicações desnecessárias ao entendimento de quaisquer dados técnicos. A necessidade de um conjunto-padrão de unidades a ser adotado por todas as nações tem se tornado cada vez mais evidente. A Agência Internacional de Pesos e Medidas (International Bureau of Weights and Measurements) situada em Sèvres, na França, tem sediado a Conferência Geral de Pesos e Medidas, recebendo representantes de todas as nações do mundo. Em 1960, a Conferência Geral adotou um sistema chamado Sistema Internacional de Unidades (Le Système International d'Unités), cuja abreviação internacional é **SI**. Desde 1965, ele tem sido utilizado pelo Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE — Institute of Electrical and Electronic Engineers) e, desde 1967, pelo Instituto Norte-americano de Normas Técnicas (USASI, United States of America Standard Institute) como padrão para toda a literatura científica e de engenharia.

Tabela 1.1 Comparação entre os sistemas métrico e inglês de unidades.

Inglês	Métrico		SI
	MKS	**CGS**	
Comprimento:			
Jarda (yd) (0,914 m)	Metro (m) (39,37 pol.) (100 cm)	Centímetro (cm) (2,54 cm = 1 pol.)	
Massa:			
Slug (14,6 kg)	Quilograma (kg) (1.000 g)	Grama (g)	**Quilograma (kg)**
Força:			
Libra (lb) (4,45 N)	Newton (N) (100.000 dinas)	Dina	**Newton (N)**
Temperatura:			
Fahrenheit (°F) $\left(=\frac{9}{5}°C+32\right)$	Celsius ou Centígrado (°C) $\left(=\frac{5}{9}(°F-32)\right)$	Centígrado (°C)	**Kelvin (K)** K = 273,15 + °C
Energia:			
Pé-libra (pé-lb) (1,356 joules)	Newton-metro (N · m) ou joule (J) (0,7376 pé-libra)	Dina-centímero ou erg (1 joule = 10^7 ergs)	**Joule (J)**
Tempo:			
Segundo (s)	Segundo (s)	Segundo (s)	**Segundo (s)**

Para fins de comparação, as unidades de medida do sistema SI e suas abreviações são mostradas na Tabela 1.1. Essas abreviações são aquelas associadas a cada unidade de medida, e foram cuidadosamente escolhidas de modo a serem mais eficazes. Portanto, é importante que elas sejam usadas, tanto quanto possível, para garantir uma compreensão universal. Observe as similaridades entre os sistemas SI e MKS. Este livro emprega, sempre que cabível e prático, a maioria das unidades e abreviações do sistema SI, com o objetivo de mostrar a necessidade de um sistema universal de unidades. Aqueles leitores que precisarem de informações adicionais sobre o sistema SI podem entrar em contato com o serviço de informações da Sociedade Norte-americana para Educação em Engenharia (ASEE — American Society for Engineering Education).[1]

A Figura 1.4 pode ajudá-lo a desenvolver uma percepção das magnitudes relativas das unidades de medida de cada sistema de unidades. Observe na figura a magnitude relativamente pequena das unidades de medida do sistema CGS.

Existe um padrão para cada unidade de medida de cada sistema. Os padrões de algumas unidades de medida são bem interessantes.

O **metro** foi originalmente definido em 1790 como sendo 1/10.000.000 da distância entre a linha do equador e qualquer um dos polos ao nível do mar, que corresponde ao comprimento de uma barra de platina e irídio mantida na Agência Internacional de Pesos e Medidas em Sèvres, França.

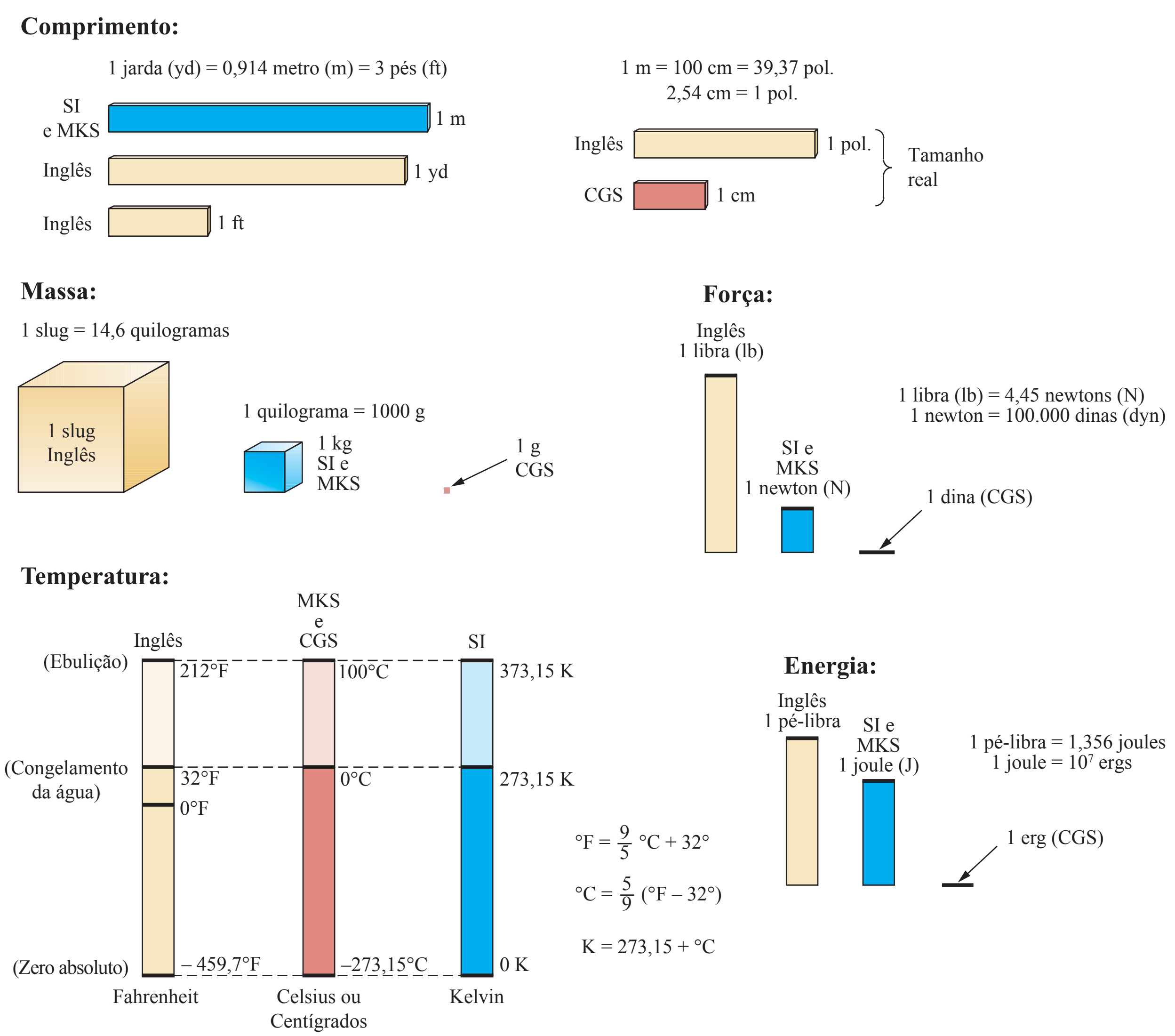

Figura 1.4 Comparação entre as unidades dos diversos sistemas de unidades.

1 American Society for Engineering Education (ASEE), <http://www.asee.org/>.

Atualmente o metro é definido tendo como referência a velocidade da luz no vácuo, que é 299.792.458 m/s.

O quilograma é definido como uma massa igual a 1.000 vezes a massa de um centímetro cúbico de água pura a 4°C.

Esse padrão de massa é mantido na forma de um cilindro de platina e irídio em Sèvres.

O **segundo** foi originalmente definido como sendo igual a 1/86.400 do dia solar médio. Entretanto, visto que a rotação da Terra está diminuindo quase 1 segundo a cada 10 anos,

o segundo foi definido, em 1967, como sendo igual a 9.192.631.770 períodos da radiação eletromagnética emitida em uma determinada transição do átomo de césio.

1.5 ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS, PRECISÃO E ARREDONDAMENTO

Nesta seção, enfatizaremos a importância de conhecer a fonte de um conjunto de dados, de saber como um número aparece e como ele deve ser manipulado. Frequentemente, escrevemos números de diversas maneiras sem nos preocupar muito com o formato utilizado, com o número de algarismos incluídos e a unidade de medida a ser aplicada.

Por exemplo, medidas expressas como 22,1 pol. ou 22,10 pol. implicam diferentes níveis de precisão. O primeiro resultado sugere que a medida foi feita com um instrumento com precisão na casa dos décimos; o segundo resultado foi obtido com um instrumento capaz de efetuar leituras precisas até a casa dos centésimos. Portanto, a quantidade de zeros em um número tem de ser tratada com cuidado, e as implicações disso têm de ser bem compreendidas.

Em geral, existem dois tipos de números: os *exatos* e os *aproximados*. Os números exatos têm a mesma precisão, independentemente do número de algarismos com que são representados; sabemos, por exemplo, que existem 12 maçãs em uma dúzia, e não 12,1. Neste livro, os números que aparecem em descrições, diagramas e exemplos são considerados *exatos*, de modo que a bateria de 100 V pode ter sua tensão escrita como 100,0 V ou 100,00 V e assim por diante, pois convencionamos que a tensão é 100 V em qualquer grau de precisão. Os zeros adicionais não são escritos por razões práticas. Entretanto, considerando as condições ambientais de um laboratório, onde medidas são realizadas continuamente e o grau de precisão pode variar de um instrumento para outro, é importante compreender como trabalhar corretamente com os resultados. Qualquer resultado obtido no laboratório deve ser considerado uma *aproximação*. As escalas dos instrumentos analógicos com seus ponteiros podem ser de leitura difícil e, muito embora os instrumentos digitais apresentem somente algarismos específicos em seu mostrador, eles estão limitados ao número de dígitos que podem fornecer, não dando nenhuma informação sobre os algarismos menos significativos que não aparecem no mostrador.

A precisão de uma medida pode ser determinada pelo número de *algarismos* (*dígitos*) *significativos* presentes no resultado. Os algarismos significativos são os inteiros (0 a 9) que podem ser considerados precisos no caso da medida em questão. Como resultado, os algarismos diferentes de zero são significativos somente em alguns casos. Por exemplo: os zeros em 1.005 são considerados significativos, pois definem o 'tamanho' do número, e estão entre algarismos diferentes de zero. Para o número 0,4020, o zero à esquerda da vírgula não é significativo, mas os outros dois são, pois definem a magnitude do número e a precisão da medida até a quarta casa decimal.

Quando somamos números aproximados, é importante que tenhamos certeza de ter levado em conta a precisão das parcelas de modo coerente. Ao adicionar um resultado cuja precisão só vai até a casa dos décimos a outro cuja precisão vai até a casa dos milésimos, obteremos um resultado cuja precisão chegará somente à casa dos décimos. Não podemos esperar que um resultado com maior grau de precisão melhore a qualidade de outro com precisão menor.

Na adição ou na subtração de números aproximados, a precisão do resultado é determinada pela parcela de menor precisão.

No caso da multiplicação e da divisão de números aproximados, a quantidade de algarismos significativos do resultado é igual à do número com menos algarismos significativos.

Para números aproximados (e exatos, quando for o caso), frequentemente existe a necessidade de *arredondar* o resultado; ou seja, é preciso decidir o grau adequado de precisão e alterar o resultado de modo coerente com sua escolha. O procedimento consensual é simplesmente observar o algarismo que se segue ao último que desejamos manter na forma arredondada e adicionar 1 a esse último, se o seguinte for maior ou igual a 5, deixando-o inalterado no caso de o seguinte ser menor que 5. Por exemplo: podemos arredondar $3{,}186 \cong 3{,}19 \cong 3{,}2$, dependendo do grau de precisão desejado. O símbolo $\cong$ significa *aproximadamente igual a*.

EXEMPLO 1.1

Execute as operações indicadas com os números aproximados que se seguem e arredonde o resultado até o grau de precisão apropriado.

a) $532{,}6 + 4{,}02 + 0{,}036 = 536{,}656 \cong \mathbf{536{,}7}$ (grau de precisão determinado por 532,6)

b) $0{,}04 + 0{,}003 + 0{,}0064 = 0{,}0494 \cong \mathbf{0{,}05}$ (grau de precisão determinado por 0,04)

EXEMPLO 1.2

Arredonde os números a seguir até a casa dos centésimos.

a) $32{,}419 = \mathbf{32{,}42}$

b) $0{,}05328 = \mathbf{0{,}05}$

EXEMPLO 1.3

Arredonde o resultado 5,8764 com precisão até a casa dos:

a) décimos.

b) centésimos.

c) milésimos.

Solução:

a) **5,9**

b) **5,88**

c) **5,876**

1.6 POTÊNCIAS DE DEZ

Deve ficar claro que, a partir da magnitude relativa de diversas unidades de medida, números muito grandes e muito pequenos são frequentemente encontrados na prática científica. Para facilitar a manipulação de números de magnitudes tão variadas, costuma-se utilizar *potências de dez*. Essa notação faz uso de todas as vantagens das propriedades matemáticas das potências de dez. A notação utilizada para representar números que são potências inteiras de dez é a seguinte:

$1 = 10^0$	$1/10 =$	$0{,}1 = 10^{-1}$
$10 = 10^1$	$1/100 =$	$0{,}01 = 10^{-2}$
$100 = 10^2$	$1/1.000 =$	$0{,}001 = 10^{-3}$
$1.000 = 10^3$	$1/10.000 =$	$0{,}0001 = 10^{-4}$

Observe, especialmente, que $10^0 = 1$, pois qualquer número elevado a zero é igual a 1 ($x^0 = 1$, $1.000^0 = 1$, e assim por diante). Observe também que os números da lista que são *maiores que 1 estão associados a potências positivas de dez*, enquanto os números *menores que 1 estão associados a potências negativas de dez*.

Um método prático para determinar a potência de dez apropriada é fazer uma pequena marca à direita do numeral 1, não importando sua localização; conte, então, o número de casas decimais para a direita ou para a esquerda até chegar à vírgula. Movimentações para a direita indicam que a potência de dez será positiva; se o deslocamento for para a esquerda, a potência será negativa. Por exemplo:

$$10.000{,}0 = 1\,\underbrace{0\,.\,0\,0\,0\,,}_{1\;2\;3\;4} = 10^{+4}$$

$$0{,}00001 = 0\,\underbrace{,\,0\,0\,0\,0\,1}_{5\;4\;3\;2\;1} = 10^{-5}$$

Algumas equações matemáticas importantes e suas relações envolvendo potências de dez estão relacionadas a seguir, juntamente a alguns exemplos. Em cada caso, n e m podem ser qualquer número real positivo ou negativo:

$$\boxed{\frac{1}{10^n} = 10^{-n} \qquad \frac{1}{10^{-n}} = 10^n} \tag{1.2}$$

A Equação 1.2 mostra claramente que, para se deslocar uma potência de dez do denominador para o numerador, ou para se fazer a operação inversa, é necessário simplesmente trocar o sinal do expoente.

EXEMPLO 1.4

a) $\dfrac{1}{1.000} = \dfrac{1}{10^{+3}} = \mathbf{10^{-3}}$

b) $\dfrac{1}{0{,}00001} = \dfrac{1}{10^{-5}} = \mathbf{10^{+5}}$

Produto de potências de dez:

$$\boxed{(10^n)(10^m) = 10^{(n+m)}} \tag{1.3}$$

EXEMPLO 1.5

a) $(1.000)(10.000) = (10^3)(10^4) = 10^{(3+4)} = \mathbf{10^7}$

b) $(0{,}00001)(100) = (10^{-5})(10^2) = 10^{(-5+2)} = \mathbf{10^{-3}}$

Divisão de potências de dez:

$$\boxed{\frac{10^n}{10^m} = 10^{(n-m)}} \tag{1.4}$$

EXEMPLO 1.6

a) $\dfrac{100.000}{100} = \dfrac{10^5}{10^2} = 10^{(5-2)} = \mathbf{10^3}$

b) $\dfrac{1.000}{0{,}0001} = \dfrac{10^3}{10^{-4}} = 10^{(3-(-4))} = 10^{(3+4)} = \mathbf{10^7}$

Observe o uso de parênteses na parte (b) do exemplo para assegurar que o resultado tenha o sinal correto.

Potência de potências de dez:

$$(10^n)^m = 10^{nm} \tag{1.5}$$

EXEMPLO 1.7

a) $(100)^4 = (10^2)^4 = 10^{(2)(4)} = \mathbf{10^8}$

b) $(1.000)^{-2} = (10^3)^{-2} = 10^{(3)(-2)} = \mathbf{10^{-6}}$

c) $(0{,}01)^{-3} = (10^{-2})^{-3} = 10^{(-2)(-3)} = \mathbf{10^6}$

Operações aritméticas básicas

Agora, analisaremos a utilização de potências de dez para realizar algumas operações aritméticas básicas envolvendo números que não são potências de dez. O número 5.000 pode ser escrito como $5 \times 1.000 = 5 \times 10^3$, e o número 0,0004 pode ser escrito como $4 \times 0{,}0001 = 4 \times 10^{-4}$. É claro que 10^5 também pode ser escrito como 1×10^5, se isso tornar mais clara a operação a ser realizada.

Adição e subtração. Para efetuar a adição ou a subtração de expressões envolvendo potências de dez, os expoentes *têm de ser os mesmos em todos os termos*; ou seja:

$$A \times 10^n \pm B \times 10^n = (A \pm B) \times 10^n \tag{1.6}$$

A Equação 1.6 aborda todas as possibilidades, mas os estudantes normalmente preferem memorizar uma descrição verbal de como efetuar a operação.

A Equação 1.6 mostra que

quando você for adicionar ou subtrair números no formato de potências de dez, certifique-se de que a potência de dez seja a mesma para todos os números. Em seguida, separe os multiplicadores, efetue a operação requerida e aplique a mesma potência de dez no resultado.

EXEMPLO 1.8

a) $$\begin{aligned} 6.300 + 75.000 &= (6{,}3)(1.000) + (75)(1.000) \\ &= 6{,}3 \times 10^3 + 75 \times 10^3 \\ &= (6{,}3 + 75) \times 10^3 \\ &= \mathbf{81{,}3 \times 10^3} \end{aligned}$$

b) $$\begin{aligned} 0{,}00096 - 0{,}000086 &= (96)(0{,}00001) - (8{,}6)(0{,}00001) \\ &= 96 \times 10^{-5} - 8{,}6 \times 10^{-5} \\ &= (96 - 8{,}6) \times 10^{-5} \\ &= \mathbf{87{,}4 \times 10^{-5}} \end{aligned}$$

Multiplicação. Em geral:

$$(A \times 10^n)(B \times 10^m) = (A)(B) \times 10^{n+m} \tag{1.7}$$

o que nos mostra que as *operações com as potências de dez podem ser efetuadas separadamente das operações com números que multiplicam essas potências.*

A Equação 1.7 mostra que

quando você for multiplicar números no formato de potências de dez, determine primeiramente o produto dos multiplicadores e, em seguida, determine o expoente da potência de dez do resultado, adicionando o expoente da potência de dez.

EXEMPLO 1.9

a) $$\begin{aligned} (0{,}0002)(0{,}000007) &= [(2)(0{,}0001)][(7)(0{,}000001)] \\ &= (2 \times 10^{-4})(7 \times 10^{-6}) \\ &= (2)(7) \times (10^{-4})(10^{-6}) \\ &= \mathbf{14 \times 10^{-10}} \end{aligned}$$

b) $$\begin{aligned} (340.000)(0{,}00061) &= (3{,}4 \times 10^5)(61 \times 10^{-5}) \\ &= (3{,}4)(61) \times (10^5)(10^{-5}) \\ &= 207{,}4 \times 10^0 \\ &= \mathbf{207{,}4} \end{aligned}$$

Divisão. Em geral:

$$\frac{A \times 10^n}{B \times 10^m} = \frac{A}{B} \times 10^{n-m} \tag{1.8}$$

o que mostra novamente que as *operações com as potências de dez podem ser efetuadas separadamente das operações com números que multiplicam essas potências.*

A Equação 1.8 demonstra que

quando você for dividir números no formato de potências de dez, determine primeiramente o resultado da divisão dos multiplicadores das potências. Em seguida, determine o expoente da potência de dez do resultado, subtraindo o expoente da potência do denominador do expoente da potência do numerador.

EXEMPLO 1.10

a) $$\frac{0{,}00047}{0{,}002} = \frac{47 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-3}} = \left(\frac{47}{2}\right) \times \left(\frac{10^{-5}}{10^{-3}}\right)$$
$$= \mathbf{23{,}5 \times 10^{-2}}$$

b) $$\frac{690.000}{0{,}00000013} = \frac{69 \times 10^4}{13 \times 10^{-8}} = \left(\frac{69}{13}\right) \times \left(\frac{10^4}{10^{-8}}\right)$$
$$= \mathbf{5{,}31 \times 10^{12}}$$

Potências. Em geral:

$$(A \times 10^n)^m = A^m \times 10^{nm} \tag{1.9}$$

o que permite novamente separar a *operação com as potências de dez da operação com os multiplicadores.*

A Equação 1.9 mostra que

quando você encontrar um número que esteja representado no formato de potência de dez, elevado a uma determinada potência, primeiramente separe o multiplicador da potência de dez e determine a potenciação de cada um separadamente. Determine o expoente da potência de dez do resultado multiplicando a potência de dez do número pelo expoente da potência à qual o número está elevado.

EXEMPLO 1.11

a) $(0{,}00003)^3 = (3 \times 10^{-5})^3 = (3)^3 \times (10^{-5})^3$
$= \mathbf{27 \times 10^{-15}}$

b) $(90.800.000)^2 = (9{,}08 \times 10^7)^2 = (9{,}08)^2 \times (10^7)^2$
$= \mathbf{82{,}45 \times 10^{14}}$

Lembre-se, especialmente, de que as operações mostradas a seguir não são equivalentes. De um lado, temos o produto de dois números no formato de potências de dez, e, do outro, temos um número no formato de potências de dez elevado a uma potência. Conforme se observa a seguir, os resultados de cada operação são bem diferentes:

$$(10^3)(10^3) \neq (10^3)^3$$
$$(10^3)(10^3) = 10^6 = 1.000.000$$
$$(10^3)^3 = (10^3)(10^3)(10^3) = 10^9 = 1.000.000.000$$

1.7 NOTAÇÕES DE PONTO FIXO, DE PONTO FLUTUANTE, CIENTÍFICA E DE ENGENHARIA

Existem, em geral, quatro modos de se obter um número quando usamos um computador ou uma calculadora. Se não usamos potências de dez, os números serão escritos em **notação de ponto fixo** ou em **notação de ponto flutuante**.

A notação de ponto fixo requer que a vírgula seja colocada sempre no mesmo lugar. No caso da notação de ponto flutuante, a localização da vírgula é definida pelo número a ser exibido no mostrador.

A maioria dos computadores e das calculadoras permite a opção entre as notações de ponto fixo e de ponto flutuante. Usando o ponto fixo, o usuário pode escolher o nível de precisão desejado para o resultado: décimos, centésimos, milésimos, e assim por diante. Nesse caso, a vírgula estará localizada na mesma posição em todos os resultados, como ilustram os exemplos a seguir, em que usamos a precisão até a casa dos milésimos:

$$\frac{1}{3} = \mathbf{0{,}333} \qquad \frac{1}{16} = \mathbf{0{,}063} \qquad \frac{2.300}{2} = \mathbf{1.150{,}000}$$

Se usássemos a notação de ponto flutuante, os resultados das operações antes citadas apareceriam como:

$$\frac{1}{3} = \mathbf{0{,}333333333333} \qquad \frac{1}{16} = \mathbf{0{,}0625} \qquad \frac{2.300}{2} = \mathbf{1.150}$$

Se os números a serem exibidos no mostrador forem muito grandes ou muito pequenos, poderemos usar as potências de dez para que sejam mostrados adequadamente.

A **notação científica** (também chamada *padrão*) e a **notação de engenharia** usam potências de dez com algumas restrições sobre a mantissa (multiplicador) ou sobre o fator de escala (potências de dez).

A notação científica requer que a vírgula apareça logo após o primeiro algarismo maior ou igual a 1, mas menor do que 10.

Uma potência de dez virá em seguida (utilizando em geral a notação exponencial E), mesmo que deva ser dez elevado a zero. Eis alguns exemplos:

$$\frac{1}{3} = \mathbf{3{,}33333333333E{-}1} \qquad \frac{1}{16} = \mathbf{6{,}25E{-}2} \qquad \frac{2.300}{2} = \mathbf{1{,}15E3}$$

Quando usamos a notação científica, podemos escolher entre os formatos de ponto fixo ou de ponto flutuante. Nos exemplos anteriores, foi usada a notação de ponto flutuante. Se tivéssemos escolhido o formato de ponto fixo com precisão de centésimos, obteríamos os seguintes resultados para as operações anteriores:

$$\frac{1}{3} = \mathbf{3{,}33E{-}1} \qquad \frac{1}{16} = \mathbf{6{,}25E{-}2} \qquad \frac{2.300}{2} = \mathbf{1{,}15E3}$$

A **notação de engenharia** especifica que

todas as potências de dez devem ser 0 ou múltiplos de 3, e a mantissa deve ser maior ou igual a 1, mas menor que 1.000.

Essa restrição sobre as potências de dez é devida ao fato de que certas potências específicas têm certos prefixos associados a elas que serão introduzidos nos próximos parágrafos. As operações anteriores, em notação científica com o ponto flutuante, ficam assim:

$\frac{1}{3}$ = **333,333333333E–3** $\frac{1}{16}$ = **62,5E–3** $\frac{2.300}{2}$ = **1,15E3**

Usando a notação de engenharia com precisão até a segunda casa decimal, obtemos:

$\frac{1}{3}$ = **333,33E–3** $\frac{1}{16}$ = **62,50E–3** $\frac{2.300}{2}$ = **1,15E3**

Prefixos

Determinadas potências de dez em notação de engenharia foram associadas a prefixos e símbolos que aparecem na Tabela 1.2. Esses prefixos e símbolos permitem que se reconheça facilmente a potência de dez envolvida, além de facilitarem a comunicação entre os profissionais de tecnologia.

Tabela 1.2

Fatores multiplicativos	Prefixo no SI	Símbolo no SI
1.000.000.000.000.000.000 = 10^{18}	exa	E
1.000.000.000.000.000 = 10^{15}	peta	P
1.000.000.000.000 = 10^{12}	tera	T
1.000.000.000 = 10^{9}	giga	G
1.000.000 = 10^{6}	mega	M
1.000 = 10^{3}	quilo	k
0,001 = 10^{-3}	mili	m
0,000 001 = 10^{-6}	micro	μ
0,000 000 001 = 10^{-9}	nano	n
0,000 000 000 001 = 10^{-12}	pico	p
0,000 000 000 000 001 = 10^{-15}	femto	f
0,000 000 000 000 000 001 = 10^{-18}	ato	a

EXEMPLO 1.12

a) 1.000.000 ohms = 1 × 10^6 ohms
= **1 megohm = 1 MΩ**

b) 100.000 metros = 100 × 10^3 metros
= **100 quilômetros = 100 km**

c) 0,0001 segundo = 0,1 × 10^{-3} segundo
= **0,1 milissegundo = 0,1 ms**

d) 0,000001 farad = 1 × 10^{-6} farad
= **1 microfarad = 1 μF**

Eis alguns exemplos com números que não são expressos estritamente em potências de dez.

EXEMPLO 1.13

a) 41.200 m é equivalente a 41,2 × 10^3 m = 41,2 quilômetros = **41,2 km**.

b) 0,00956 J é equivalente a 9,56 × 10^{-3} J = 9,56 milijoules = **9,56 mJ**.

c) 0,000768 s é equivalente a 768 × 10^{-6} s = 768 microssegundos = **768 μs**.

d) $$\frac{8.400\,\text{m}}{0{,}06} = \frac{8{,}4\times10^3\,\text{m}}{6\times10^{-2}} = \left(\frac{8{,}4}{6}\right)\times\left(\frac{10^3}{10^{-2}}\right)\text{m}$$
= 1,4 × 10^5 m = 140 × 10^3 m
= 140 quilômetros = **140 km**.

e) $(0{,}0003)^4$ s = $(3 \times 10^{-4})^4$ s = 81 × 10^{-16} s
= 0,0081 × 10^{-12} s = 0,0081 picossegundo
= **0,0081 ps**

1.8 CONVERSÃO ENTRE POTÊNCIAS DE DEZ

É muito comum a necessidade de converter uma potência de dez em outra. Por exemplo, se um frequencímetro somente fornece os resultados em quilohertz (kHz, uma unidade de medida para a frequência de uma forma de onda CA), pode ser necessário transformar o resultado da medida em megahertz (MHz). Se o tempo for medido em milissegundos (ms), pode ser necessário determinar o tempo correspondente em microssegundos (μs) para traçar um gráfico. Essa não é uma conversão difícil se tivermos em mente que um aumento ou uma diminuição no expoente da potência de dez vem sempre acompanhado por um efeito oposto sobre o fator que multiplica a potência. O procedimento é mais bem descrito pelos passos a seguir:

1. *Substitua o prefixo por sua potência de dez correspondente.*
2. *Reescreva a expressão, e a configure como a um multiplicador desconhecido e à nova potência de dez.*
3. *Observe a mudança na potência de dez do formato original para o novo formato. Se há um aumento, mova a vírgula do multiplicador original para a esquerda (valor menor) pelo mesmo número. Se há uma diminuição, mova a vírgula do multiplicador original para a direita (valor maior) pelo mesmo número.*

EXEMPLO 1.14

Converta 20 kHz em megahertz.

Solução:

No formato de potência de dez:

$$20\text{ kHz} = 20 \times 10^3\text{ Hz}$$

A conversão exige que encontremos o fator multiplicativo que preencha a lacuna da equação a seguir:

Aumenta de 3

$$20 \times 10^3\ \text{Hz} \Rightarrow \_\_\_ \times 10^6\ \text{Hz}$$

Diminui de 3

Visto que o expoente da potência de dez *aumenta* por um fator de *três*, o multiplicador deve *diminuir*, e a vírgula deve ser deslocada *três* casas para a esquerda, conforme mostrado a seguir:

$$\underbrace{020,}_{3} = 0{,}02$$

e $\quad 20 \times 10^3\ \text{Hz} = 0{,}02 \times 10^6\ \text{Hz} = \mathbf{0{,}02\ MHz}$

EXEMPLO 1.15

Converta 0,01 ms em microssegundos.

Solução:

No formato de potência de dez, temos:

$$0{,}01\ \text{ms} = 0{,}01 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

Diminui de 3

e $\quad 0{,}01 \times 10^{-3}\ \text{s} \Rightarrow \_\_\_ \times 10^{-6}\ \text{s}$

Aumenta de 3

Visto que o expoente da potência de dez *diminui* por um fator de três, o multiplicador tem que *aumentar*, o que é obtido ao se deslocar a vírgula três casas para a direita, como mostrado a seguir:

$$\underbrace{0{,}010}_{3} = 10$$

e $\quad 0{,}01 \times 10^{-3}\ \text{s} = 10 \times 10^{-6}\ \text{s} = \mathbf{10\ \mu s}$

Quando se compara −3 com −6, a tendência é pensar que a potência de dez aumentou, porém, ao comparar a magnitude do multiplicador, tenha em mente que 10^{-6} é um valor muito menor que 10^{-3}.

EXEMPLO 1.16

Converter 0,002 km para milímetros.

Solução:

Diminui de 6

$$0{,}002 \times 10^3\ \text{m} \Rightarrow \_\_\_ \times 10^{-3}\ \text{m}$$

Aumenta de 6

Nesse exemplo, temos de ser muito cuidadosos, pois a diferença entre +3 e −3 é 6, o que torna necessário alterar o fator multiplicativo da seguinte maneira:

$$\underbrace{0{,}002000}_{6} = 2.000$$

e $\quad 0{,}002 \times 10^3\ \text{m} = 2.000 \times 10^{-3}\ \text{m} = \mathbf{2.000\ mm}$

1.9 CONVERSÕES DENTRO DO MESMO SISTEMA E ENTRE SISTEMAS DE UNIDADES

A conversão dentro e entre sistemas de unidades é um processo que não pode ser evitado no estudo de nenhuma área técnica. Entretanto, a execução incorreta dessas operações é tão frequente que incluímos essa seção, na qual apresentamos um método que, se aplicado corretamente, levará ao resultado correto.

Há mais de um método que pode ser usado para se efetuar a conversão. Na verdade, algumas pessoas preferem efetuar o processo mentalmente. Esse método é aceitável no caso de conversões elementares, mas é bastante arriscado nos casos mais complexos.

O método que desejamos introduzir pode ser entendido com mais clareza ao examinar um problema relativamente simples, como a conversão de polegadas em metros. Para ser mais específicos, vamos converter 48 polegadas (4 pés) em metros.

Se multiplicarmos as 48 polegadas (pol.) por um fator **1**, a magnitude dessa quantidade permanecerá a mesma:

$$\boxed{48\ \text{pol.} = 48\ \text{pol.}(\mathbf{1})} \tag{1.10}$$

Vamos observar o fator de conversão, que no caso desse exemplo é:

$$1\ \text{m} = 39{,}37\ \text{pol.}$$

Dividindo ambos os lados dessa expressão por 39,37 polegadas, obtemos:

$$\frac{1\ \text{m}}{39{,}37\ \text{pol.}} = (\mathbf{1})$$

Observe que o resultado final nos diz que a razão 1 m/39,37 pol. é igual a 1, o que é óbvio, pois essas duas quantidades são idênticas. Se substituirmos agora esse fator (**1**) na Equação 1.10, obteremos:

$$48\ \text{pol.}(\mathbf{1}) = 48\ \cancel{\text{pol.}}\left(\frac{1\ \text{m}}{39{,}37\ \cancel{\text{pol.}}}\right)$$

o que resulta no cancelamento das polegadas, deixando apenas metros como unidades de medida. Além disso, visto que 39,37 está no denominador, temos de dividir 48 por 39,37 para completar a operação:

$$\frac{48}{39{,}37}\,\text{m} = \mathbf{1{,}219\ m}$$

Vamos agora rever o método passo a passo:

1. *Coloque o fator de conversão em uma forma que tenha o valor numérico (1) com a unidade de medida a ser removida no denominador.*
2. *Efetue as operações matemáticas necessárias para obter o valor correto da quantidade em questão na unidade de medida remanescente.*

EXEMPLO 1.17

Converta 6,8 min em segundos.

Solução:

O fator de conversão é

$$1\ \text{min} = 60\ \text{s}$$

Visto que a unidade minuto deve ser removida do resultado final, ela deve aparecer no denominador do fator (**1**), conforme mostrado a seguir:

$$\text{Passo 1: } \left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right) = (\mathbf{1})$$

$$\text{Passo 2: } 6{,}8\ \text{min}(\mathbf{1}) = 6{,}8\ \cancel{\text{min}}\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \cancel{\text{min}}}\right) = (6{,}8)(60)\ \text{s}$$

$$= \mathbf{408\ s}$$

EXEMPLO 1.18

Converter 0,24 m em centímetros.

Solução:

O fator de conversão é

$$1\ \text{m} = 100\ \text{cm}$$

Como a unidade metro não deve aparecer no resultado final, ela deve estar no denominador do fator (**1**), ou seja:

$$\text{Passo 1: } \left(\frac{100\ \text{cm}}{1\ \text{m}}\right) = \mathbf{1}$$

$$\text{Passo 2: } 0{,}24\ \text{m}(\mathbf{1}) = 0{,}24\ \cancel{\text{m}}\left(\frac{100\ \text{cm}}{1\ \cancel{\text{m}}}\right)$$

$$= (0{,}24)(100)\ \text{cm}$$

$$= \mathbf{24\ cm}$$

Os produtos (**1**)(**1**) e (**1**)(**1**)(**1**) são todos iguais a **1**. A partir daí, podemos efetuar várias conversões na operação.

EXEMPLO 1.19

Determine o número de minutos equivalente à metade de um dia.

Solução:

Para converter dias em horas e horas em minutos, certifique-se sempre de que a unidade de medida a ser removida esteja no denominador, e isso resultará na seguinte sequência:

$$0{,}5\ \cancel{\text{dia}}\left(\frac{3\ \cancel{\text{h}}}{1\ \cancel{\text{dia}}}\right)\left(\frac{60\ \text{min}}{1\ \cancel{\text{h}}}\right) = (0{,}5)(24)(60)\ \text{min}$$

$$= \mathbf{720\ min}$$

EXEMPLO 1.20

Converta 2,2 jardas em metros.

Solução:

Para converter jardas em pés, pés em polegadas e estas, por sua vez, em metros, resulta na seguinte equação:

$$2{,}2\ \cancel{\text{jardas}}\left(\frac{3\ \cancel{\text{pÉs}}}{1\ \cancel{\text{jarda}}}\right)\left(\frac{12\ \cancel{\text{pol.}}}{1\ \cancel{\text{pÉ}}}\right)\left(\frac{1\ \text{m}}{39{,}37\ \cancel{\text{pol.}}}\right)$$

$$= \frac{(2{,}2)(3)(12)}{39{,}37}\ \text{m}$$

$$= \mathbf{2{,}012\ m}$$

Os exemplos a seguir são aplicações práticas dos anteriores.

EXEMPLO 1.21

Na Europa, no Canadá e em muitos outros lugares, a velocidade máxima permitida é dada em quilômetros por hora. Qual o valor, em milhas por hora, de 100 km/h?

Solução:

$$\left(\frac{100\,\text{km}}{\text{h}}\right)(\mathbf{1})(\mathbf{1})(\mathbf{1})(\mathbf{1})$$

$$= \left(\frac{100\ \cancel{\text{km}}}{\text{h}}\right)\left(\frac{1.000\ \cancel{\text{m}}}{1\ \cancel{\text{km}}}\right)\left(\frac{39{,}37\ \cancel{\text{pol.}}}{1\ \cancel{\text{m}}}\right)\left(\frac{1\ \cancel{\text{pÉ}}}{12\ \cancel{\text{pol.}}}\right)\left(\frac{1\ \text{mi}}{5.280\ \cancel{\text{pÉs}}}\right)$$

$$= \frac{(100)(1.000)(39{,}37)}{(12)(5.280)}\ \frac{\text{mi}}{\text{h}}$$

$$= \mathbf{62{,}14\ mi/h}$$

Muitas pessoas utilizam o fator de conversão aproximado 0,6 para simplificar os cálculos, assim,

$$(100 \text{ km/h})(0{,}6) \cong 60 \text{ mi/h}$$

e

$$(60 \text{ km/h})(0{,}6) \cong 36 \text{ mi/h}$$

EXEMPLO 1.22

Determine a velocidade, em milhas por hora, de um corredor que percorre uma milha em 4 minutos.

Solução:

Invertendo o fator 4 min/1 mi para 1 mi/4 min, obtemos:

$$\left(\frac{1 \text{ mi}}{4 \cancel{\text{min}}}\right)\left(\frac{60 \cancel{\text{min}}}{4}\right) = \frac{60}{4} \text{ mi/h} = \mathbf{15 \text{ mi/h}}$$

1.10 SÍMBOLOS

Ao longo deste livro, vários símbolos — que podem nunca ter sido utilizados por você — serão usados. Alguns desses símbolos são explicados na Tabela 1.3, e outros serão explicados no texto à medida que se fizer necessário.

1.11 TABELAS DE CONVERSÃO

Tabelas de conversão, como as que aparecem no Apêndice A, podem ser muito úteis quando limitações de tempo não permitem o uso dos métodos descritos neste capítulo. Entretanto, ainda que elas pareçam ser fáceis de utilizar, é frequente a ocorrência de erros, porque as operações indicadas por elas não são efetuadas corretamente. De qualquer modo, quando estiver usando tabelas como essas, tente fazer mentalmente uma estimativa da ordem de grandeza da quantidade a ser determinada em comparação à magnitude dessa mesma quantidade no sistema de unidades original. Esse cuidado tão simples pode evitar o aparecimento de resultados absurdos que podem ocorrer se a operação for feita de maneira incorreta.

Por exemplo, considere o seguinte procedimento obtido de uma tabela de conversão:

Para converter de	para	multiplicar por
milhas	metros	$1{,}609 \times 10^3$

Para converter 2,5 milhas em metros é necessário multiplicar 2,5 pelo fator de conversão, ou seja:

$$2{,}5 \text{ mi}(1{,}609 \times 10^3) = \mathbf{4{,}023 \times 10^3 \text{ m}}$$

A conversão de 4.000 metros em milhas implica um processo de divisão:

$$\frac{4.000 \text{ m}}{1{,}609 \times 10^3} = 2.486{,}02 \times 10^{-3} = \mathbf{2{,}486 \text{ mi}}$$

Em cada um dos exemplos anteriores é fácil perceber que 2,5 milhas equivalem a uns poucos milhares de metros, e que 4.000 metros equivalem a umas poucas milhas. Conforme já foi mencionado, essas estimativas eliminam a possibilidade de resultados absurdos em operações de conversão.

Tabela 1.3

Símbolo	Significado	
$\neq$	Diferente de	$6{,}12 \neq 6{,}13$
$>$	Maior que	$4{,}78 > 4{,}20$
$\gg$	Muito maior que	$840 \gg 16$
$<$	Menor que	$430 < 540$
$\ll$	Muito menor que	$0{,}002 \ll 46$
$\geq$	Maior ou igual a	$x \geq y$ para $y = 3$ e $x > 3$ ou $x = 3$
$\leq$	Menor ou igual a	$x \leq y$ para $y = 3$ e $x < 3$ ou $x = 3$
$\cong$	Aproximadamente igual a	$3{,}14159 \cong 3{,}14$
Σ	Somatório	$\Sigma(4 + 6 + 8) = 18$
$\lvert\ \rvert$	Valor absoluto ou módulo de	$\lvert a \rvert = 4$, onde $a = -4$ ou $+4$
$\therefore$	Portanto	$x = \sqrt{4} \therefore x = \pm 2$
$\equiv$	Por definição	
	Estabelece uma relação entre duas ou mais quantidades	
$a{:}b$	Razão definida por a/b	
$a{:}b = c{:}d$	Proporção definida por $a/b = c/d$	

1.12 CALCULADORAS

Na maioria dos textos, a calculadora não é discutida em detalhes. Ao invés disso, é dada aos estudantes a obrigação de escolher a calculadora adequada e também a de aprender a usá-la por conta própria. Entretanto, abordar o uso de calculadoras é necessário para eliminar alguns dos resultados absurdos obtidos (e frequentemente defendidos de modo bastante exaltado pelo usuário, já que a calculadora 'assim disse') por meio de uma compreensão correta do processo pelo qual a calculadora realiza as diversas operações. Explicações mais detalhadas de todas as operações possíveis não poderão ser tratadas neste livro em função do espaço que temos, mas as discussões a seguir esclarecerão que é importante entender a maneira com que uma calculadora realiza um cálculo, e que ela não espera pela unidade para aceitar os dados já que, de qualquer maneira, sempre chega à resposta correta.

Ao escolher uma calculadora científica, certifique-se de que ela tenha a capacidade de operar com números complexos e determinantes, necessários para os conceitos introduzidos neste livro. A maneira mais simples de determinar isso é olhar os termos no índice do manual do usuário. Em seguida, esteja ciente de que algumas calculadoras realizam as operações com menor número de passos, enquanto outras podem necessitar de uma série prolongada ou complexa deles. Converse com seu professor caso tenha dúvidas em relação à aquisição de uma calculadora.

Os exemplos de calculadora deste livro usam a calculadora TI-89 da Texas Instruments da Figura 1.5.

Ao usar qualquer calculadora pela primeira vez, a unidade tem de ser configurada para fornecer as respostas no formato desejado. A seguir, descrevemos os passos necessários para se usar uma calculadora corretamente.

Ajustes iniciais

Nas sequências a seguir, as setas dentro dos quadrados indicam a direção a ser seguida para alcançar o ponto desejado. O formato das teclas é uma cópia relativamente próxima das teclas reais na TI-89.

Notação

A primeira sequência estabelece a **notação de engenharia** como a escolha para todas as respostas. É particularmente importante observar que você tem de selecionar a tecla ENTER duas vezes para assegurar-se de que o processo seja configurado na memória.

ON HOME MODE ↓ Exponential Format → ↓

ENGINEERING ENTER ENTER

Figura 1.5 Calculadora TI-89 da Texas Instruments. (Cortesia da Texas Instruments, Inc.)

Nível de precisão. Em seguida, o nível de precisão pode ser configurado para duas casas como a seguir:

MODE ↓ Display Digits → ↓ 3:FIX 2 ENTER ENTER

Modo aproximado. Em todas as soluções, a resposta deve ser dada na forma decimal com precisão de duas casas. Se ela não estiver configurada, algumas respostas aparecerão na forma fracionária para assegurar que a resposta seja EXATA (outra opção). Essa seleção é feita usando-se a sequência a seguir:

MODE F2 ↓ Exact/Approx → ↓

3: APPROXIMATE ENTER ENTER

Tela limpa. Para limpar a tela de todas as entradas e resultados, use a sequência a seguir:

F1 ↓ 8: Clear Home ENTER

Limpar as entradas atuais. Para limpar a sequência de entradas atuais na parte de baixo da tela, selecione a tecla **CLEAR**.

Para desligar. Para desligar a calculadora, utilize a sequência a seguir:

2ND ON

Ordem das operações

Embora o ajuste do formato e da precisão seja importante, os resultados inexatos normalmente são obtidos porque os usuários não percebem que, independentemente de quão simples ou complexa seja uma equação, a calculadora realizará a operação solicitada em uma determinada ordem.

Por exemplo, a operação

$$\frac{8}{3+1}$$

normalmente é inserida na calculadora assim:

8 ÷ 3 + 1 ENTER $= \frac{8}{3} + 1 = 2{,}67 + 1 = \mathbf{3{,}67}$

o que está incorreto (a resposta é 2).

A calculadora *não efetua* primeiro a adição e depois a divisão. Na realidade, as operações de adição e subtração são as últimas a serem efetuadas em qualquer equação. É muito importante que o leitor estude cuidadosamente e compreenda perfeitamente os próximos parágrafos para que possa usar a calculadora de maneira adequada.

1. *As primeiras operações a serem efetuadas por uma calculadora podem ser determinadas pelo uso de parênteses ( ). Não importa qual operação esteja dentro dos parênteses; eles simplesmente determinam que essa parte da equação tem de ser efetuada primeiro. Não há limites para o número de parênteses em cada equação — todas as operações dentro dos parênteses devem ser efetuadas antes das outras. No exemplo anterior, se os parênteses forem acrescentados como mostramos a seguir, a adição será efetuada primeiro, e o resultado correto será obtido:*

   $\frac{8}{(3+1)} =$ 8 ÷ (3 + 1) ENTER $= \mathbf{2{,}00}$

2. *Em seguida, são efetuadas as operações de potência e raiz, como x^2, $\sqrt{x}$, e assim por diante.*
3. *A negação (associação de um sinal negativo ao número) e operações de uma só tecla, como sen, tg^{-1}, e assim por diante, devem então ser realizadas.*
4. *Multiplicação e divisão são então executadas.*
5. *Adição e subtração são efetuadas por último.*

É necessário tempo e repetição até que se memorize essa ordem, mas pelo menos agora você já sabe que existe uma ordem na qual as operações devem ser realizadas, e sabe que se ignorá-la você poderá obter resultados sem sentido.

EXEMPLO 1.23

Determine

$$\sqrt{\frac{9}{3}}$$

Solução:

2ND √ (9 ÷ 3) ENTER $= \mathbf{1{,}73}$

Nesse caso, o parêntese à esquerda é automaticamente inserido após o sinal da raiz quadrada. O parêntese à direita tem, então, de ser inserido antes de realizar o cálculo.

Para todas as operações de calculadora, o número de parênteses à direita tem de ser sempre igual ao número de parênteses à esquerda.

EXEMPLO 1.24

Encontre a resposta para

$$\frac{3+9}{4}$$

Solução:

Se os dados forem digitados da maneira em que aparecem, teremos o *resultado incorreto* 5,25:

3 + 9 ÷ 4 ENTER $= 3 + \frac{9}{4} = 5{,}25$

Usando os parênteses para garantir que a adição seja efetuada antes da divisão, obteremos a resposta correta, conforme mostrado a seguir:

(3 + 9) ÷ 4 ENTER

$$= \frac{(3+9)}{4} = \frac{12}{4} = \mathbf{3{,}00}$$

EXEMPLO 1.25

Determine

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{2}{3}$$

Solução:

Como a divisão é efetuada primeiro, o resultado correto é obtido simplesmente efetuando a operação, conforme indicado. Ou seja:

1 ÷ 4 + 1 ÷ 6 + 2 ÷ 3 ENTER

$$= \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{2}{3} = \mathbf{1{,}08}$$

Potências de dez

A tecla EE é usada para configurar a potência de dez de um número. Inserir o número 2.200 = $2,2 \times 10^3$ exige as seleções de teclado a seguir:

2 • 2 EE 3 ENTER = **2,20E3**

Inserir o número $8,2 \times 10^{-6}$ exige o sinal negativo (–) do *teclado numérico. Não use* o sinal negativo da lista matemática de ÷, ×, − e +. Isto é,

8 • 2 EE (–) 6 ENTER = **8,20E–6**

EXEMPLO 1.26

Realize a adição $6,3 \times 10^3 + 75 \times 10^3$ e compare sua resposta com a solução escrita por extenso do Exemplo 1.8(a).

Solução:

6 • 3 EE + 7 5 EE 3 ENTER = **81,30E3**

o que confirma os resultados do Exemplo 1.8(a).

EXEMPLO 1.27

Efetue a divisão $(69 \times 10^4)/(13 \times 10^{-8})$ e compare sua resposta com a solução escrita por extenso do Exemplo 1.10(b).

Solução:

6 9 EE 4 ÷ 1 3 EE (–) 8 ENTER

= **5,31E12**

o que confirma os resultados do Exemplo 1.10(b).

EXEMPLO 1.28

Usando o formato fornecido para cada número, realize o cálculo a seguir em uma série de teclas acionadas no teclado:

$$\frac{(0,004)(6\times10^{-4})}{(2\times10^{-3})^2} = ?$$

Solução:

((0 • 0 0 4) ×
(6 EE (–) 4)) ÷ 2 EE
(–) 3 ^ 2 ENTER = **600,00E–3 = 0,6**

Os parênteses foram usados para assegurar que os cálculos fossem realizados na ordem correta. Observe também que o número de parênteses à esquerda é igual ao número de parênteses à direita.

1.13 ANÁLISE COMPUTACIONAL

O uso de computadores no processo de ensino tem crescido exponencialmente na última década. Poucos textos em nível elementar não incluem alguma discussão sobre as técnicas de computação mais populares na época de sua publicação. Na realidade, a credibilidade de qualquer trabalho de ciência e tecnologia é dependente do quanto os métodos computacionais foram utilizados em sua elaboração.

Não há dúvidas de que o conhecimento básico de métodos computacionais é algo que um estudante de graduação deve adquirir em um currículo de dois ou quatro anos. A indústria agora exige que os estudantes tenham pleno conhecimento do uso de um computador.

Dois caminhos principais podem ser tomados para se desenvolver as habilidades necessárias com um computador: o estudo das linguagens de computador ou o uso de pacotes de software.

Linguagens

Existem várias linguagens que fornecem uma linha direta de comunicação com o computador e as operações que ele pode efetuar. **Linguagem** é um conjunto de símbolos, letras, palavras ou declarações que o usuário pode inserir no computador. O sistema do computador 'entenderá' o que foi inserido e executará na ordem estabelecida por uma série de comandos denominada **programa**. O programa diz ao computador o que fazer sequencialmente, linha por linha, na mesma ordem em que um estudante faria os cálculos manualmente; o computador só pode responder a comandos fornecidos pelo usuário. Isso requer que o programador compreenda perfeitamente a sequência de operações e cálculos necessária para obter uma determinada solução. Uma análise extensa pode resultar em um programa com centenas ou milhares de linhas. Uma vez escrito, o programa tem de ser cuidadosamente testado para assegurar que os resultados obtidos tenham significado e sejam válidos para uma faixa de valores conhecidos relativos às variáveis de entrada. Algumas das linguagens populares usadas hoje em dia no campo da eletroeletrônica incluem C++, QBASIC, Java e FORTRAN. Cada uma tem seu próprio conjunto de comandos e declarações para se comunicar com o computador, mas qualquer uma pode ser utilizada para realizar o mesmo tipo de análise.

Pacotes de software

O segundo método de análise computacional, os **pacotes de software**, evita a necessidade de aprender uma linguagem em particular; na verdade, o usuário não precisa saber qual foi a linguagem utilizada para escrever os programas que compõem o pacote. Tudo o que ele precisa saber é como inserir os parâmetros apropriados, definir as operações a serem efetuadas e obter resultados; o pacote faz todo o resto. Entretanto, há um problema em se usar pacotes de software sem que se compreendam os passos básicos que o programa utiliza. Você pode obter uma solução sem fazer a menor ideia de como ela foi obtida, ou sem saber se os resultados são válidos ou completamente equivocados. É imperativo que o estudante entenda que o computador deve ser sempre considerado como uma ferramenta de auxílio; nunca se deve permitir que ele controle seus objetivos e seu potencial! Portanto, à medida que você for avançando nos estudos dos capítulos deste livro, certifique-se de que entendeu claramente os conceitos apresentados antes de recorrer ao computador em busca de suporte e eficiência.

Todo pacote de software tem um **menu** que informa a respeito das situações nas quais o pacote pode ser aplicado. Uma vez que o software é instalado no computador, o sistema poderá realizar todas as funções que constam no menu, conforme a programação do software. Entretanto, saiba que se a execução de uma determinada função que não conste no menu for requerida, o pacote de software não poderá realizá-la, pois ele está limitado a realizar somente as funções desenvolvidas pela equipe de programadores que o criou. Em tais situações, o usuário tem de procurar a solução em outro pacote de software ou escrever um programa usando uma das linguagens mencionadas anteriormente.

Em termos gerais, se já existe um pacote de software disponível para efetuar determinada tarefa, então é preferível usá-lo em vez de desenvolver uma nova rotina para implementar a tarefa desejada. Os pacotes de software mais populares são resultado de muitas horas de trabalho de equipes de programadores com anos de experiência. Entretanto, se o pacote não fornece os resultados da maneira desejada ou não é capaz de oferecer todos os resultados desejados, então o usuário pode colocar em prática seus talentos criativos e desenvolver ele próprio um pacote de software. Conforme mencionado anteriormente, qualquer programa feito pelo usuário e que tenha sido testado quanto à faixa de resultados e à precisão pode ser considerado um pacote de sua autoria, disponível para uso posterior.

Dois pacotes de software são usados ao longo deste livro: OrCAD PSpice 16.2 da Cadence e Multisim Versão 10.1. Apesar de ambos serem projetados para analisar circuitos elétricos, há diferenças suficientes entre os dois que permitem a abordagem de cada método separadamente. Mas não há necessidade de o estudante adquirir os dois para o estudo deste livro. A razão principal para a inclusão desses pacotes foi simplesmente apresentar cada um deles e mostrar como podem auxiliar no processo de aprendizagem. Na maioria dos casos, são fornecidos detalhes suficientes para que o pacote de software seja usado na solução dos exemplos dados, embora seja útil ter alguém a quem se reportar caso apareçam dúvidas. Além disso, a literatura de apoio desses pacotes tem sido bastante aperfeiçoada nos últimos anos, e deve estar disponível nas livrarias e nas principais editoras. Neste livro, o *release* do OrCAD PSpice 16.2 da Cadence foi fornecido como um apêndice. No entanto, o Apêndice B relaciona as exigências do sistema para cada pacote de software, incluindo como cada um pode ser obtido.

PROBLEMAS

Observação: os problemas mais difíceis estão assinalados com um asterisco (*).

Seção 1.2 Um breve histórico

1. Visite a biblioteca mais próxima e escreva um relatório sobre o quanto ela oferece de literatura e apoio computacional sobre o assunto 'tecnologia' — em particular sobre circuitos elétricos, eletrônica, eletromagnetismo e computação.

2. Escolha uma área específica de interesse nesse campo e escreva uma pequena monografia sobre a história dessa área.

3. Selecione uma personalidade que tenha dado uma contribuição importante ao campo da eletrônica e escreva uma pequena biografia sobre ela, ressaltando suas contribuições.

Seção 1.3 Unidades de medida

4. Qual é a velocidade de um foguete em mi/h se ele se desloca 20.000 pés em 10 s?

5. Em uma tomada de tempo recente no recente Tour da França, Lance Armstrong pedalou 31 milhas em 1 h 4 min. Qual foi sua velocidade média em mi/h?

6. Quanto tempo em segundos um carro vai levar viajando a 60 mi/h para percorrer o comprimento de um campo de futebol (100 jardas)?

***7.** Um lançador de beisebol tem a capacidade de lançar uma bola a 95 mi/h.

- **a)** Qual é a velocidade em pés/s?
- **b)** Quanto tempo o rebatedor tem para tomar uma decisão a respeito de como rebater a bola se a distância entre ele e o lançador é de 60 pés?
- **c)** Se o rebatedor quisesse um segundo inteiro antes de tomar a decisão, qual teria de ser a velocidade da bola em mi/h?

Seção 1.4 Sistemas de unidades

8. Existem vantagens relativas associadas ao uso do sistema métrico em relação ao sistema inglês no que se refere às unidades de comprimento, massa, força e temperatura? Em caso afirmativo, explique quais são elas.

9. Qual dos quatro sistemas de unidades mostrados na Tabela 1.1 tem as menores unidades para comprimento, massa e força? Em que situações esse sistema seria usado mais efetivamente?

***10.** Qual dos sistemas de unidades mostrados na Tabela 1.1 é mais semelhante ao sistema SI? Como os dois sistemas diferem entre si? Em sua opinião, por que as unidades de medida do SI foram escolhidas, conforme ilustra a Tabela 1.1? Dê a melhor razão que você puder imaginar sem consultar outro texto.

11. Qual é a temperatura ambiente (68°F) nos sistemas MKS, CGS e SI?

12. Que valor, em pés-libras, corresponde a uma quantidade de energia igual a 1.000 J?

13. Quantos centímetros equivalem a meia jarda?

14. Em partes do mundo fora dos Estados Unidos, a maioria dos países usa a escala dos graus centígrados em vez da escala Fahrenheit. Isso pode causar problemas aos viajantes não familiarizados com o que podem esperar a determinadas temperaturas.

Para abrandar esse problema, a conversão aproximada a seguir é tipicamente usada:

$$°F = 2(°C) + 30°$$

Comparando com a fórmula exata de $°F = \frac{9}{5}°C + 32°$, descobrimos que a razão 9/5 é aproximada para igual a 2, e a temperatura de 32° é modificada para 30° simplesmente para tornar os números mais fáceis de serem trabalhados e compensar ligeiramente o fato de que 2(°C) é mais que 9/5(°C).

a) A temperatura de 20°C é comumente aceita como a temperatura ambiente normal. Usando a fórmula aproximada, determine (mentalmente) a temperatura Fahrenheit equivalente.
b) Use a fórmula exata e determine a temperatura Fahrenheit equivalente para 20°C.
c) Como os resultados das partes (a) e (b) podem ser comparados? A aproximação é válida como uma primeira estimativa da temperatura em Fahrenheit?
d) Repita as partes (a) e (b) para a temperatura de 30°C e a de 5°C.

Seção 1.5 Algarismos significativos, precisão e arredondamento

15. Escreva os números com uma precisão até a casa dos décimos.
a) 14,6026 **d)** 1/16
b) 056,0420 **e)** π
c) 1.046,06

16. Repita o Problema 15 usando uma precisão até a casa dos centésimos.

17. Repita o Problema 15 usando uma precisão até a casa dos milésimos.

Seção 1.6 Potências de dez

18. Expresse os números a seguir como potências de dez:
a) 10.000 **d)** 0,001
b) 1.000.000 **e)** 1
c) 1.000 **f)** 0,1

19. Usando somente as potências de dez que aparecem na Tabela 1.2, expresse os números a seguir na forma que lhe parecer mais apropriada para posteriores operações de cálculo:
a) 15.000 **d)** 60.000
b) 0,005 **e)** 0,00040200
c) 2.400.000 **f)** 0,0000000002

20. Efetue as operações a seguir:
a) 4.200 + 48.000
b) $9 \times 10^4 + 3{,}6 \times 10^5$
c) $0{,}5 \times 10^{-3} - 6 \times 10^{-5}$
d) $1{,}2 \times 10^3 + 50.000 \times 10^{-3} - 400$

21. Execute as operações a seguir:
a) (100)(1.000) **d)** (100)(0,00001)
b) (0,01)(1.000) **e)** $(10^{-6})(10.000.000)$
c) $(10^3)(10^6)$ **f)** $(10.000)(10^{-8})(10^{28})$

22. Execute as operações a seguir:
a) (50.000)(0,002)
b) $2.200 \times 0{,}002$
c) $(0{,}000082)(1{,}2 \times 10^6)$
d) $(30 \times 10^{-4})(0{,}004)(7 \times 10^8)$

23. Execute as operações a seguir:
a) $\frac{100}{10.000}$ **d)** $\frac{0{,}0000001}{100}$
b) $\frac{0{,}010}{1000}$ **e)** $\frac{10^{38}}{0{,}000100}$
c) $\frac{10.000}{0{,}001}$ **f)** $\frac{(100)^{1/2}}{0{,}01}$

24. Execute as operações a seguir:
a) $\frac{2000}{0{,}00008}$ **c)** $\frac{0{,}000220}{0{,}00005}$
b) $\frac{0{,}004}{4\times10^6}$ **d)** $\frac{78\times10^{18}}{4\times10^{-6}}$

25. Execute as operações a seguir:
a) $(100)^3$ **c)** $(10.000)^8$
b) $(0{,}0001)^{1/2}$ **d)** $(0{,}00000010)^9$

26. Execute as operações a seguir:
a) $(200)^2$
b) $(5 \times 10^{-3})^3$
c) $(0{,}004)\,(3 \times 10^{-3})^2$
d) $((2 \times 10^{-3})\,(0{,}8 \times 10^4)\,(0{,}003 \times 10^5))^3$

27. Execute as operações a seguir:
a) $(-0{,}001)^2$ **d)** $\frac{(10^3)(10.000)}{1\times10^{-4}}$
b) $\frac{(100)(10^{-4})}{1000}$ **e)** $\frac{(0{,}0001)^3(100)}{1\times10^6}$
c) $\frac{(0{,}001)^2(100)}{10.000}$ ***f)** $\frac{[(100)(0{,}01)]^{-3}}{[(100)^2][0{,}001]}$

28. Execute as operações a seguir:
a) $\frac{(300)^2(100)}{3\times10^4}$ **d)** $\frac{(0{,}000027)^{1/3}}{200.000}$
b) $[(40.000)^2]\,[(20)^{-3}]$ **e)** $\frac{[(4000)^2][300]}{2\times10^{-4}}$
c) $\frac{(60.000)^2}{(0{,}02)^2}$

f) $[(0{,}000016)^{1/2}]\,[(100.000)^5]\,[0{,}02]$

***g)** $\dfrac{\left[(0{,}003)^3\right]\left[0{,}00007\right]^{-2}\left[(160)^2\right]}{\left[(200)(0{,}0008)\right]^{-1/2}}$ (um desafio)

Seção 1.7 Notações de ponto fixo, de ponto flutuante, científica e de engenharia

29. Escreva os números a seguir em notação científica e de engenharia até a casa dos centésimos.
a) 20,46 **c)** 0,000674
b) 50.420 **d)** 000,0460

30. Escreva os números a seguir em notação científica e de engenharia até a casa dos décimos.
a) 5×10^{-2} **c)** 1/32
b) $0{,}45 \times 10^{+2}$ **d)** π

Seção 1.8 Conversão entre potências de dez

31. Preencha as lacunas nas seguintes conversões:
a) $6 \times 10^4 =$ _______ $\times 10^6$
b) $0{,}4 \times 10^{-3} =$ _______ $\times 10^{-6}$
c) $50 \times 10^5 =$ _______ $\times 10^3 =$ _______ $\times 10^6$ $=$ _______ $\times 10^9$
d) $12 \times 10^{-7} =$ _______ $\times 10^{-3} =$ _______ $\times 10^{-6}$ $=$ _______ $\times 10^{-9}$

32. Efetue as seguintes conversões:
a) 0,05 s para milissegundos
b) 2.000 μs para milissegundos
c) 0,04 ms para microssegundos
d) 8.400 ps para microssegundos
e) 100×10^3 mm para quilômetros

Seção 1.9 Conversões dentro do mesmo sistema e entre sistemas de unidades

33. Efetue as seguintes conversões:
a) 1,5 min em segundos
b) 2×10^{-2} h em segundos
c) 0,05 s em microssegundos
d) 0,16 m em milímetros
e) 0,00000012 s em nanossegundos
f) 4×10^8 s em dias

34. Efetue as seguintes conversões métricas:
a) 80 mm para centímetros
b) 60 cm para quilômetros
c) 12×10^{-3} m para micrômetros
d) 60 cm quadrados (cm^2) para metros quadrados (m^2)

35. Efetue as seguintes conversões entre sistemas:
a) 100 polegadas para metros
b) 4 pés para metros
c) 6 libras para newtons
d) 60.000 dinas para libras
e) 150.000 cm para pés
f) 0,002 mi para metros (5.280 pés = 1 mi)

36. Expresse o comprimento de uma milha em pés, jardas, metros e quilômetros.

37. Converta 60 mi/h para metros por segundo.

38. Quanto tempo um corredor levaria para completar uma corrida de 10 km a um ritmo de 6,5 m/s?

39. Moedas de vinte e cinco centavos têm em torno de 1 polegada de diâmetro. Quantas moedas colocadas lado a lado seriam necessárias para cobrir a distância de uma extremidade à outra de um campo de futebol (100 jardas)?

40. Compare o tempo total necessário para dirigir longas e cansativas 500 mi a uma velocidade média de 60 mi/h, *versus* uma velocidade média de 75 mi/h. O tempo poupado em uma viagem tão longa vale o risco de viajar a essa velocidade mais alta?

***41.** Calcule o deslocamento em metros de um corpo que se move a 600 cm/s em 0,016 h.

***42.** Anualmente, na primavera, é disputada uma competição que consiste em subir 86 andares pelas escadas do edifício Empire State, em Nova York. Se você fosse capaz de subir dois degraus por segundo, quanto tempo levaria para chegar ao 86º andar, se cada andar mede 14 pés de altura, e cada degrau cerca de 9 polegadas?

***43.** O recorde para a competição citada no Problema 42 é 10 min 22 s. Qual é a velocidade do competidor em milhas por minuto, nesse caso?

***44.** Se a corrida do Problema 42 fosse disputada na horizontal, quanto tempo um atleta que percorre uma milha em 5 minutos levaria para completar a distância equivalente? Compare esse resultado com o recorde citado no Problema 43. A gravidade teve um efeito significativo sobre o tempo total?

Seção 1.11 Tabelas de conversão

45. Usando o Apêndice B, determine o número de:
a) Btu em 5 J de energia.
b) metros cúbicos em 24 onças de um líquido.
c) segundos em 1,4 dia.
d) pintas em 1 m^3 de um líquido.

Seção 1.12 Calculadoras

Execute as seguintes operações usando uma única sequência de teclas de uma calculadora:

46. $6\,(4 \times 2 + 8) =$

47. $\dfrac{42 + \dfrac{6}{5}}{3} =$

48. $\sqrt{5^2 + \left(\dfrac{2}{3}\right)^2} =$

49. $\cos 21{,}87° =$

***50.** $\text{tg}^{-1}\dfrac{3}{4} =$

***51.** $\sqrt{\dfrac{400}{6^2 + \dfrac{10}{5}}} =$

***52.** $\dfrac{8{,}2 \times 10^{-3}}{0{,}04 \times 10^3}$ (em notação de engenharia) =

***53.** $\dfrac{(0{,}06 \times 10^5)(20 \times 10^3)}{(0{,}01)^2}$ (em notação de engenharia) =

***54.** $\dfrac{4 \times 10^4}{2 \times 10^{-3} + 400 \times 10^{-5}} + \dfrac{1}{2 \times 10^{-6}}$ (em notação de engenharia) =

Seção 1.13 Análise computacional

55. Pesquise a disponibilidade de cursos de computação e suas respectivas cargas horárias no currículo de seu curso. Quais as linguagens mais usadas, e quais os pacotes de software mais populares?

56. Escreva uma lista com três linguagens de programação populares, informando algumas características de cada uma. Por que, em sua opinião, algumas linguagens são melhores do que outras na construção de programas que analisam circuitos elétricos?

GLOSSÁRIO

Célula voltaica: Dispositivo de armazenamento que converte energia química em elétrica.

Circuito Integrado (CI): Estrutura subminiaturizada, que contém grande número de dispositivos eletrônicos, projetada para efetuar um conjunto particular de tarefas.

Efeito Edison: Fluxo de elétrons entre dois condutores no interior de um bulbo de vidro no qual se faz vácuo.

Eletricidade estática: Carga estacionária em estado de equilíbrio.

Eletromagnetismo: Estudo dos fenômenos elétricos e magnéticos e das relações entre eles.

ENIAC: Primeiro computador totalmente eletrônico.

Garrafa de Leyden: Um dos primeiros dispositivos para armazenar carga elétrica.

Joule (J): Unidade de energia nos sistemas SI e MKS; é igual a 0,7378 pés-libra (sistema inglês) e a 10^7 ergs (sistema CGS).

Kelvin (K): Unidade de temperatura no sistema SI. Equivale a 273,15 + a temperatura em ºC tanto no sistema MKS quanto no CGS.

Libra (lb): Unidade de medida de força no sistema inglês. Igual a 4,45 newtons nos sistemas SI e MKS.

Linguagem: Forma de comunicação entre usuário e computador para definir as operações a serem efetuadas e os resultados a serem exibidos ou impressos.

Máquina de diferenças: Uma das primeiras calculadoras mecânicas.

Menu: Lista de opções fornecidas pelo computador, em um determinado software, que possibilita ao usuário determinar qual a próxima operação a ser realizada.

Metro (m): Unidade de comprimento nos sistemas SI e MKS. Corresponde a 1.094 jardas no sistema inglês e a 100 centímetros no sistema CGS.

Nanotecnologia: Produção de circuitos integrados na qual o nanômetro é a unidade típica de medida.

Newton (N): Unidade de medida de força nos sistemas SI e MKS. Igual a 100.000 dinas no sistema CGS.

Notação científica: Método de descrição de números muito grandes e muito pequenos por meio do uso de potências de dez, as quais requerem que o multiplicador seja um número entre 1 e 10.

Notação de engenharia: Método de notação que especifica que todas as potências de dez usadas para definir um número sejam múltiplas de 3, com uma mantissa maior ou igual a 1, porém menor do que 1.000.

Notação de ponto fixo: Notação que usa uma vírgula decimal em determinada posição para definir a magnitude de um número.

Notação de ponto flutuante: Notação que permite que a magnitude de um número seja definida pelo posicionamento da vírgula decimal.

Pacote de software: Programa de computador projetado para realizar análises específicas e operações ou gerar resultados em um formato específico.

Programa: Lista sequencial de comandos, instruções etc. para realizar uma tarefa específica usando o computador.

Quilograma (kg): Unidade de massa nos sistemas SI e MKS. Equivale a 1.000 g no sistema CGS.

Segundo (s): Unidade de medida de tempo nos sistemas SI, MKS, inglês e CGS.

Sistema CGS: Sistema de unidades que tem o centímetro, o grama e o segundo como unidades de medida fundamentais.

Sistema MKS: Sistema que usa como unidades fundamentais o metro, o quilograma e o segundo.

Sistema SI: Sistema de unidades adotado pelo IEEE em 1965 e pelo USASI em 1967 como o Sistema Internacional de Unidades (*Système International d'Unités*).

Slug: Unidade de medida de massa no sistema inglês. Equivale a 14,6 kg nos sistemas SI e MKS.

Transistor: Primeiro dispositivo amplificador semicondutor.

Tubo de raios catódicos: Dispositivo de vidro com uma face relativamente plana (tela) e interior a vácuo que exibe a luz gerada a partir do bombardeio da tela por elétrons.

Válvula de Fleming: O primeiro dos dispositivos eletrônicos, o diodo.