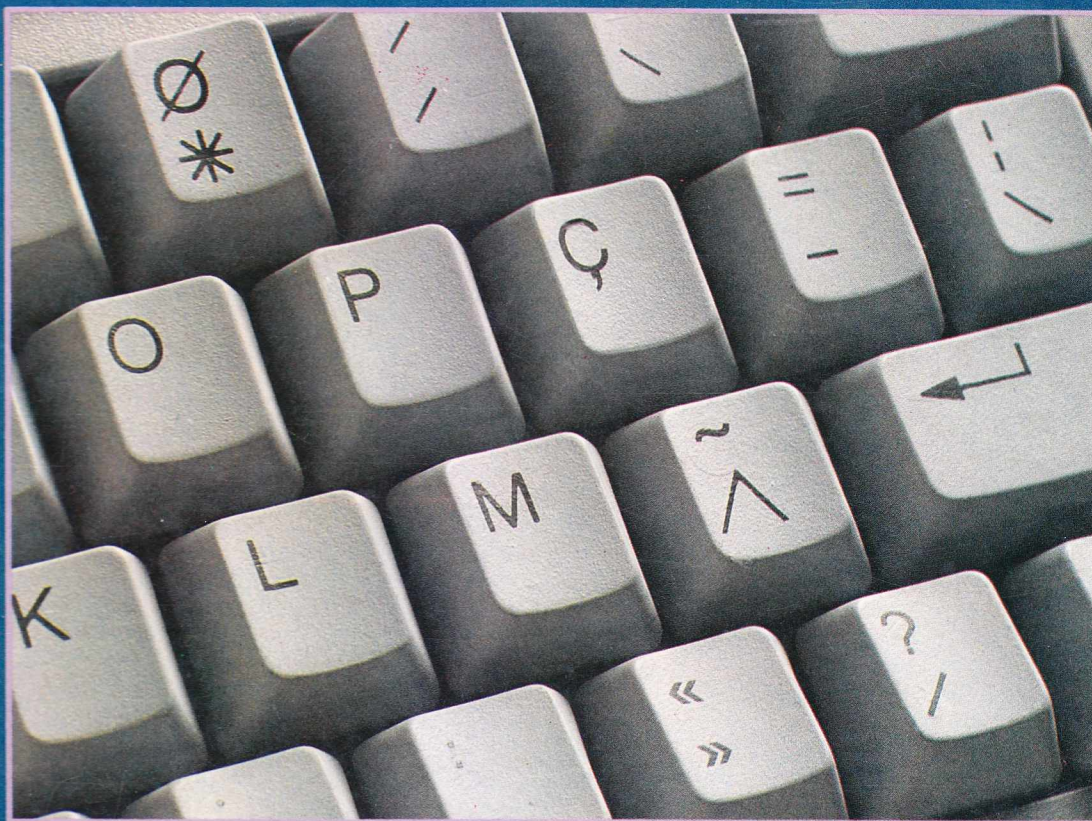


# E N T E N D A O COMPUTADOR

A REVOLUÇÃO DOS COMPUTADORES



NOVA CULTURAL















E N T E N D A O

# COMPUTADOR

A REVOLUÇÃO DOS COMPUTADORES



NOVA CULTURAL



Authorized Portuguese Edition © 1988, Editora  
Nova Cultural S.A. Original edition © 1985  
Time-Life Books Inc. All rights reserved.

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida  
por qualquer meio, seja eletrônico ou mecânico,  
inclusive por equipamentos ou sistemas de classificação  
de informações e pesquisa, sem a prévia autorização da  
editora, exceto curtos trechos para resenhas, desde que  
com o devido crédito.  
Time-Life is a trademark of Time Inc., U.S.A.

Edição organizada pela Editora Nova Cultural Ltda.  
Av. Brigadeiro Faria Lima, 2000 — 3º andar  
CEP 01452 — São Paulo — SP — Brasil  
(Artigo 15 da lei 5988, de 14/12/1973)

Esta obra foi composta na AM Produções Gráficas Ltda.  
e impressa na Divisão Gráfica da Editora Abril S.A.

**ISBN 85-13-00083-3**



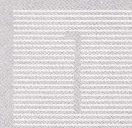


---

**5**

Desenvolvimento da revolução dos computadores  
Novos gênios para a era da automação

---



**27**

O poder do código binário  
Regras simples para um mundo complexo

---



**49**

Progresso em tempo de guerra

---



**61**

Glossário

---

**62**


Índice

---

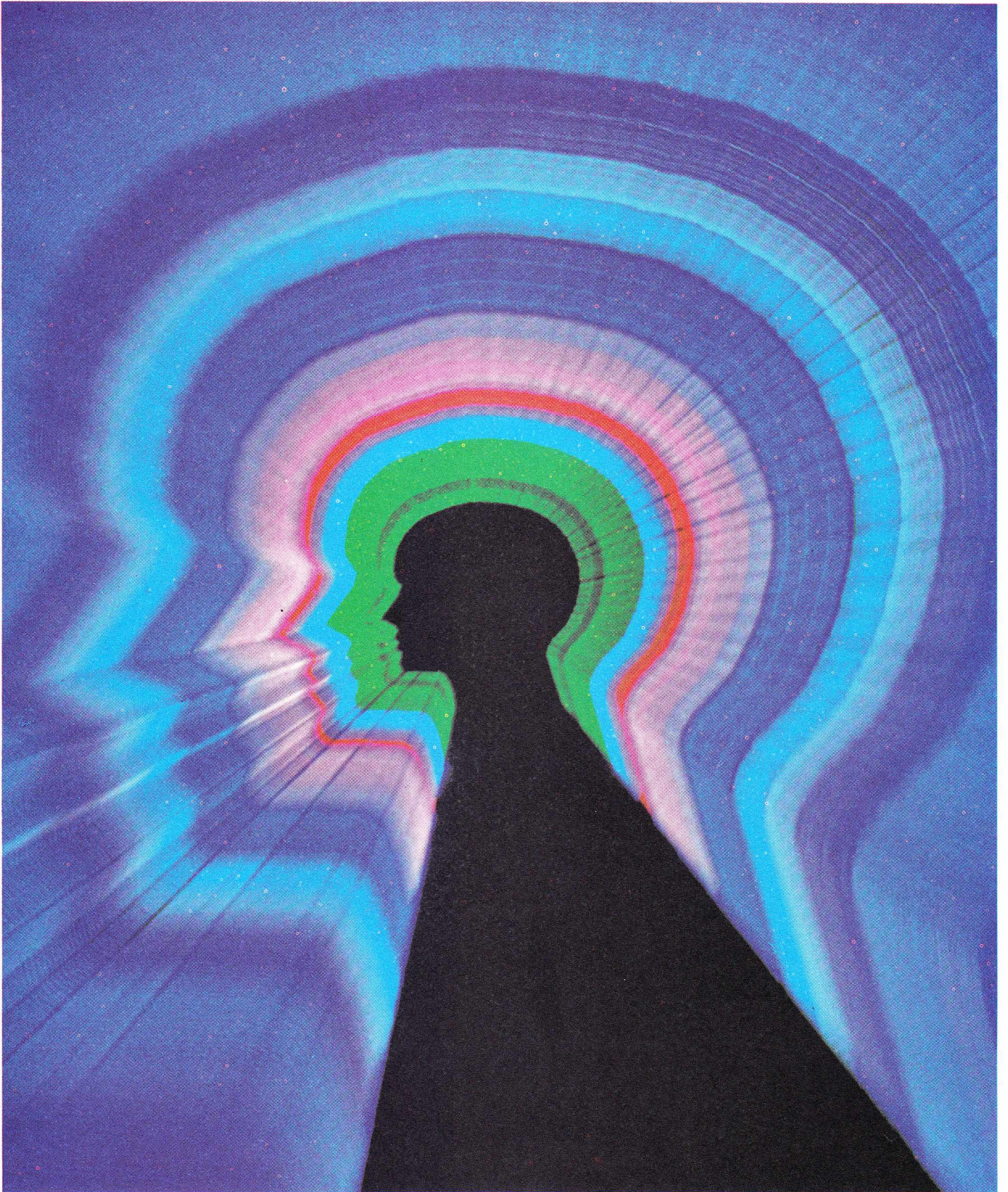
**64**

Créditos das fotos

---









# Desenvolvimento da revolução dos computadores

Os seres humanos sempre tiveram necessidade de contar. Nos obscuros milênios da pré-história, as pessoas usavam os dedos ou faziam incisões em ossos. Há cerca de 4 000 anos, civilizações primitivas desenvolveram elaborados sistemas de numeração para registrar desde transações comerciais até ciclos astronômicos. Os instrumentos manuais de cálculo apareceriam milênios mais tarde. Hoje, cálculos de complexidade prodigiosa — assim como todo conjunto de atividades sem nenhuma relação aparente com números — são efetuados por esses sofisticados “cérebros eletrônicos” chamados computadores.

Os especialistas apressam-se em assinalar que um computador não é, realmente, um cérebro (pelo menos por enquanto, acrescentariam alguns). É, apenas, mais um instrumento, outra máquina concebida para reduzir o trabalho ou estender nosso domínio sobre o mundo. Com todo seu brilho aparente, o único talento de um moderno computador é o de reagir, com a velocidade da luz, a uma seqüência de tensões codificadas. O verdadeiro brilho é humano: o gênio de homens e mulheres que descobriram um modo de traduzir uma grande quantidade de informações do mundo real nos zeros e uns do código binário — a linguagem lógica e matemática feita sob medida para o conjunto de circuitos eletrônicos de um computador.

No entanto, nenhuma outra máquina transformou tão rapidamente o mundo, e de maneira tão completa. Os computadores tornaram possíveis façanhas épicas como pousos lunares e explorações planetárias e são responsáveis por uma infinidade de benefícios cotidianos. Monitoram a administração de anestesia nos hospitais, ajudam crianças, nas escolas, a aprender a ler, criam efeitos especiais nos filmes. Substituem ou suplementam a máquina de escrever nas redações dos jornais e as máquinas de calcular nos bancos. Melhoram as recepções de televisão, controlam as redes telefônicas e registram os preços dos produtos nos supermercados. Em suma, os computadores estão enredados na própria estrutura da vida moderna, o que torna praticamente impossível evitá-los ou mesmo ignorá-los.

Os progressos quanto à potência e à versatilidade dos computadores ocorrem numa velocidade vertiginosa, estimulados pelo advento, no início dos anos 70, de um minúsculo milagre tecnológico denominado microprocessador. Nessa pastilha de silício — menor que uma unha de bebê — residem centenas de milhares de componentes eletrônicos que tornam obsoletos os enormes dinossauros do tamanho de uma sala que até poucos anos atrás dominavam o mundo dos computadores.

Apesar da rapidez estonteante dos modernos avanços, os fundamentos da revolução do computador edificaram-se de maneira lenta e irregular. Um dos pontos de partida foi o desenvolvimento — há mais de 1 500 anos, provavelmente no mundo mediterrâneo — do ábaco, um instrumento composto de varetas ou barras e pe-

Como um eco visual que espalhasse o crescente papel do computador na sociedade moderna, contornos multicoloridos irradiam-se da silhueta de uma figura humana, neste exemplo japonês dos efeitos especiais disponíveis no acervo de recursos gráficos do computador. O perfil original foi criado por um ilustrador, e então manipulado por um desenhista que, para isso, utilizou um processo de computador denominado gráfico vetorial, capaz de simular movimento dinâmico.



quenas bolas, utilizado pelos mercadores para contar e calcular. Em termos aritméticos, as barras atuam como colunas que posicionam casas decimais: cada bola na barra das unidades vale um, na barra das dezenas vale 10, e assim por diante. O ábaco era tão eficiente que logo se propagou por toda parte, e em alguns países é usado até hoje. Antes do século XVII, época de intensa ebulição intelectual, nenhum outro instrumento de cálculo podia competir com ele.

Por essa época, os pensadores europeus estavam fascinados pelo desafio de descobrir meios que ajudassem a calcular. Dentre eles, um dos mais criativos foi o escocês John Napier, teólogo, matemático e pretenso desenhista de armas militares, que certa vez tentou criar uma espécie de raio mortal — um sistema de espelhos e lentes dispostos de modo a produzir um feixe letal de luz solar concentrada. Mais definitiva que essa invenção, no entanto, foi sua descoberta dos logaritmos, publicada em 1614. Logaritmo é o expoente de um número (base), indicando a potência a que se deve elevá-lo para se obter, como resultado, outro dado número. Napier compreendeu que qualquer número pode ser expresso nesses termos. Por exemplo,  $100$  é  $10^2$  e  $23$  é  $10^{1,36173}$ . Descobriu, além disso, que o logaritmo de  $a$  vezes  $b$  é igual ao logaritmo de  $a$  mais o logaritmo de  $b$  — o que transforma complexos problemas de multiplicação em problemas mais simples, de adição. Alguém que esteja multiplicando dois números grandes precisa apenas procurar seus logaritmos numa tabela, somá-los e achar o número que corresponde a essa soma, numa tabela inversa, de antilogaritmos.

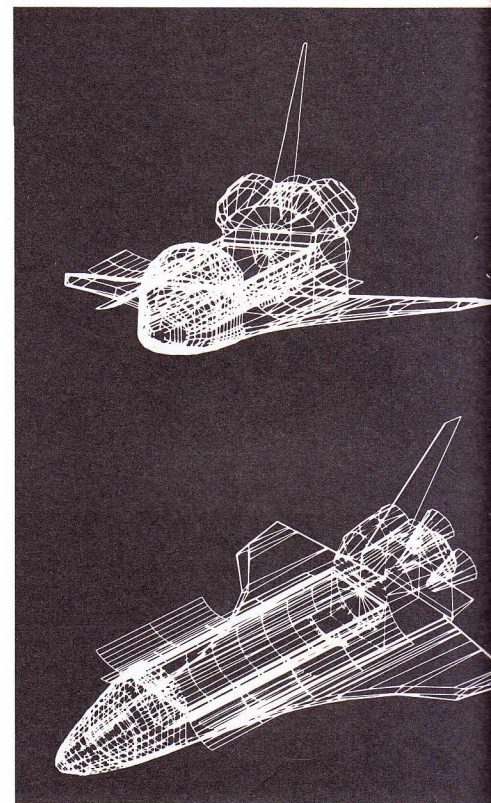
As tabelas de Napier — que exigiram um fatigante trabalho de cálculo para serem elaboradas — foram combinadas mais tarde em um dispositivo manual para cálculos rápidos: a régua de cálculo, desenvolvida no fim da década de 1620, por William Oughtred, entre outros. O próprio Napier inventou, em 1617, ano de sua morte, um método diferente (não-logaritmo) de fazer multiplicações. Conhecido como “ossos de Napier”, consistia num conjunto de barras segmentadas dispostas de modo que a resposta de um problema de multiplicação era obtida somando-se números em seções horizontais adjacentes.

### AS RODAS DENTADAS DE PASCAL

Embora a teoria dos logaritmos de Napier passasse a ter aplicação permanente, os ossos logo foram eclipsados pela régua de cálculo e outros tipos de calculadoras — especialmente por um pioneiro aparelho mecânico criado por Blaise Pascal, brilhante sábio francês. Filho de um coletor regional de impostos, Pascal tinha somente 19 anos quando começou a construir sua calculadora, em 1642, inspirado nos enfadonhos cálculos do trabalho de seu pai. Ao morrer, com 39 anos, havia passado para a História como grande matemático, físico, escritor e filósofo.

A máquina de Pascal, a Pascaline, era uma caixa com rodas e engrenagens da qual ele construiu mais de cinquenta versões ao longo de uma década. O operador introduzia os algarismos a serem somados “discando-os” numa série de rodas dentadas, com algarismos de zero a nove impressos, de modo que os números a serem somados ficassem expostos num mostrador. Cada roda representava uma determinada coluna decimal — unidades, dezenas, centenas, e assim por diante. Uma roda, ao completar um giro, avançava em um dígito a roda à sua esquerda, de ordem decimal mais alta. A máquina também executava outras operações por meio de um incômodo sistema de adições repetitivas.

O mais sério inconveniente da Pascaline era seu método convolutivo, “em aspi-



Os computadores desempenharam um papel da maior importância no desenho; em testes e na operação do ônibus espacial, mostrado aqui em figuras geradas por computador. Modelos visuais como estes, projetados em três dimensões, também são usados por arquitetos, pesquisadores de medicina e engenheiros. Os modelos podem ser manipulados na tela para simularem testes de tensão atuante sobre partes da estrutura ou para exibirem alterações moleculares em pesquisas de química. De maneira semelhante, modelos integrados em simuladores visuais realistas ajudam no treinamento de pilotos, na guarnição de uma peça e no controle do tráfego aéreo.



ral”, de executar quaisquer outros tipos de cálculo além da simples adição. A primeira máquina que efetuava facilmente subtração, multiplicação e divisão foi inventada, mais tarde, no mesmo século, por um gênio cuja imaginação parecia inesgotável. Gottfried Wilhelm Leibniz nasceu em 1646, em Leipzig, na Alemanha, numa família de eruditos e funcionários do governo. Seu pai, professor de filosofia da moral, morreu quando o menino tinha apenas 6 anos, mas Leibniz já estava bem orientado no caminho do conhecimento. Passava os dias na biblioteca do pai, estudando história, latim, grego e outros assuntos.

Quando entrou na Universidade de Leipzig, com 15 anos, já possuía uma erudição que rivalizava com a de muitos de seus professores. No entanto, novos mundos abriram-se para ele na universidade. Defrontou-se pela primeira vez com os trabalhos de Johannes Kepler, Galileu e outros sábios que estavam, então, ampliando rapidamente as fronteiras do conhecimento científico. Fascinado pela velocidade do progresso da ciência, Leibniz acrescenta a matemática a seu currículo.

Em 1672, durante uma temporada em Paris, Leibniz começou a estudar com o matemático e astrônomo holandês Christian Huygens. A experiência estimulou-o a procurar descobrir um método mecânico de aliviar as intermináveis tarefas de cálculo dos astrônomos. “Pois é indigno destes doutos homens”, escreveu Leibniz, “perder horas, como escravos, em trabalhos de cálculo que poderiam, com segurança, ficar a cargo de qualquer pessoa, caso se usassem máquinas.”

No ano seguinte, ficou pronta sua calculadora mecânica, que se distinguia por possuir três elementos significativos. A porção aditiva era, essencialmente, idêntica à da Pascaline, mas Leibniz incluiu um componente móvel (precursor do carro móvel das calculadoras de mesa posteriores) e uma manivela manual, que ficava ao lado e acionava uma roda dentada — ou, nas versões posteriores, cilindros — dentro da máquina. Esse mecanismo funcionava, com o componente móvel, para acelerar as adições repetitivas envolvidas nas operações de multiplicação e divisão. A própria repetição tornava-se automatizada.

### **O LEGADO DOS TECELÕES DE SEDA**

O grande avanço seguinte nada teve a ver com números — pelo menos de início. Durante o século XVIII, os tecelões de seda franceses testaram métodos para guiar seus teares por meio de fitas perfuradas, cartões perfurados ou tambores de madeira. Nos três sistemas, a presença ou ausência de orifícios criava padrões no tecido por meio do controle da maneira pela qual os fios eram levantados ou abaixados. Em 1804, Joseph Marie Jacquard construiu um tear inteiramente automatizado, que podia fazer desenhos muito complicados. Esse tear era programado por uma série de cartões perfurados, cada um deles controlando um único movimento da lançadeira. Para produzir um novo padrão, o operador simplesmente substituíu um conjunto de cartões por outro. O tear de Jacquard revolucionou a indústria da tecelagem e, em suas características essenciais, é ainda usado atualmente. Os cartões perfurados, no entanto, estavam destinados a produzir seu maior impacto na programação de computadores.

Dentre todos os pensadores e inventores que acrescentaram algo ao desenvolvimento da computação, o único que quase chegou a criar, efetivamente, um computador no sentido da palavra foi um inglês chamado Charles Babbage. Nascido numa abastada família de Devonshire, em 1791, Babbage ficou famoso tanto pela perspicácia de sua mente quanto por suas esquisitices. Durante treze anos, esse



gênio excêntrico ocupou a cátedra de matemática em Cambridge, que fora de Isaac Newton; no entanto, durante todo esse tempo ele nunca viveu na universidade nem proferiu ali uma única conferência. Foi membro fundador da Royal Astronomical Society, escreveu sobre assuntos que iam de política a técnicas de manufatura e ajudou a desenvolver dispositivos práticos como o tacômetro e o limpa-trilhos, que cinge a parte dianteira dos trens e serve para afastar obstáculos. Dedicava ainda esforços intelectuais à resolução de sérios problemas práticos, como as reformas postais e a redução das taxas de mortalidade.

No entanto, o motivo que realmente norteava a vida de Babbage era a busca da precisão matemática. Seu empenho em localizar erros nas tábuas de logaritmos que os astrônomos, matemáticos e navegadores utilizavam assumia proporções inimagináveis. Nada escapava de seu zelo. Certa vez escreveu ao poeta Alfred Lord Tennyson para repreendê-lo por estes versos: "A cada momento morre um homem/A cada momento um homem nasce". Uma vez que a população do mundo não se mantém constante, assinalou Babbage, os versos ofereceriam uma leitura melhor e mais verossímil se fossem estes: "A cada momento morre um homem/A cada momento nasce um homem e um dezesseis avos de homem".

#### UM GRANDE PLANO E ESPERANÇAS DESPEDAÇADAS

Em 1822, Babbage descreveu, num artigo científico, uma máquina que poderia computar e imprimir extensas tabelas científicas. No mesmo ano, construiu um modelo preliminar de sua Máquina de Diferenças, com rodas dentadas fixadas em eixos que uma manivela fazia girar. Então ele convenceu a Royal Society — prestigiosa associação científica — a apoiar uma proposta dirigida ao governo para que este subvencionasse a construção de um modelo em tamanho grande. A máquina, escreveu ao presidente da Sociedade, encarregar-se-ia do "trabalho intolerável e monótono" envolvido nas enfadonhas tarefas de cálculo repetitivo; estas, acrescentava, estão entre "as mais baixas ocupações do intelecto humano". A Sociedade julgou seu trabalho "altamente merecedor de encorajamento público". Um ano mais tarde, o governo britânico concedeu-lhe 1 500 libras para a realização do projeto.

Durante os dez anos seguintes, Babbage sustentou uma verdadeira luta com seu embrião de computador. Esperava, originalmente, terminá-lo em três anos, mas a Máquina de Diferenças ficava cada vez mais complexa à medida que a modificava, aperfeiçoava e redesenhava. Acossavam-no problemas de trabalho, saúde e dinheiro. Embora a subvenção do governo subisse a 17 000 libras, as dúvidas oficiais acerca dos custos do projeto e de sua utilidade efetiva também cresciam. Por fim, as concessões acabaram sendo suspensas.

Em torno de 1833, Babbage resolveu deixar de lado seus planos de uma Máquina de Diferenças. O insucesso, porém, não o impediu de desenvolver idéias para construir uma máquina ainda mais ambiciosa. A Máquina Analítica, ao contrário de sua predecessora, foi concebida não apenas para solucionar um tipo de problema matemático, mas para executar uma ampla gama de tarefas de cálculo, de acordo com instruções fornecidas por seu operador. Seria "uma máquina de natureza a mais geral possível" — em nada inferior, realmente, ao primeiro computador programável para todos os fins.

A Máquina Analítica deveria possuir uma seção denominada "moinho" e uma outra denominada "depósito", ambas compostas de rodas dentadas. O depósito poderia reter até cem números de quarenta dígitos de uma só vez. Esses números

#### Máquinas antigas que ajudavam a calcular

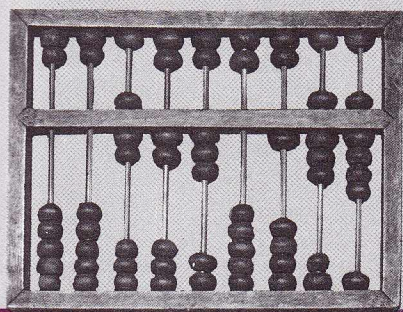
Os mais significativos antepassados do computador apareceram na ordem cronológica indicada pela sucessão das figuras à direita e que prossegue nas duas páginas seguintes. Alguns dos oito dispositivos mostrados ajudaram a tornar mais fáceis e rápidos os cálculos matemáticos e as tabulações. Outros contribuíram com métodos que possibilitaram introduzir informações em máquinas computadoras e controlar processos mais complexos. Dentre todos esses dispositivos, apenas o ábaco, o mais antigo dos oito, é usado ainda hoje, em algumas partes da União Soviética, do Oriente e do Oriente Médio.



ficariam armazenados até que chegasse sua vez de serem operados no moinho; os resultados seriam então recolocados no depósito à espera de uso posterior ou chamada para impressão. As instruções seriam introduzidas na Máquina Analítica por meio de cartões perfurados. "Podemos dizer mais convenientemente que a Máquina Analítica tece *padrões algébricos*, assim como o tear de Jacquard tece flores e folhas", escreveu a condessa de Lovelace, uma das poucas pessoas que compreenderam o funcionamento da máquina e vislumbraram seu imenso potencial de aplicação.

Augusta Ada Byron, condessa de Lovelace e única filha legítima do poeta Lord Byron, emprestou seus consideráveis talentos matemático e literário ao projeto de Babbage. Com relação à Máquina Analítica, Babbage declarou que Lovelace "parece compreendê-la melhor que eu".

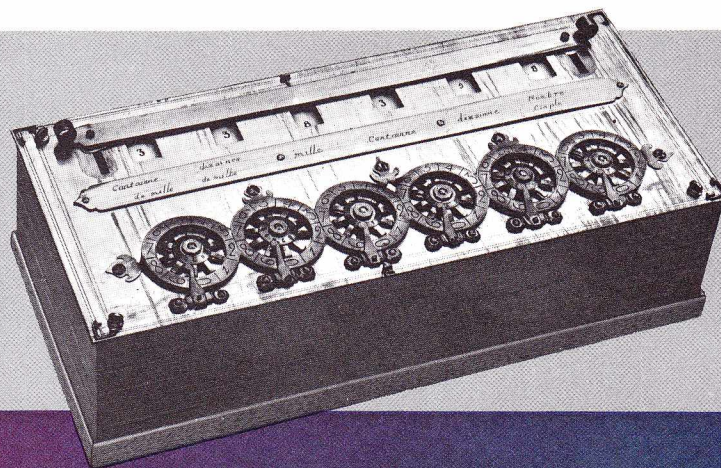
O interesse e entusiasmo da condessa de Lovelace ajudaram Babbage a esclarecer suas idéias e fortalecer sua coragem. No entanto, nem mesmo ela poderia escrever sobre o problema fundamental da Máquina Analítica. Se a Máquina de Diferenças fora uma proposição duvidosa, a Máquina Analítica era uma impossibilidade prática. Simplesmente era impossível pôr em movimento as partes que a com-



Cerca do século III d.C.  
O ábaco utilizava discos ou contas móveis para acelerar as operações matemáticas.

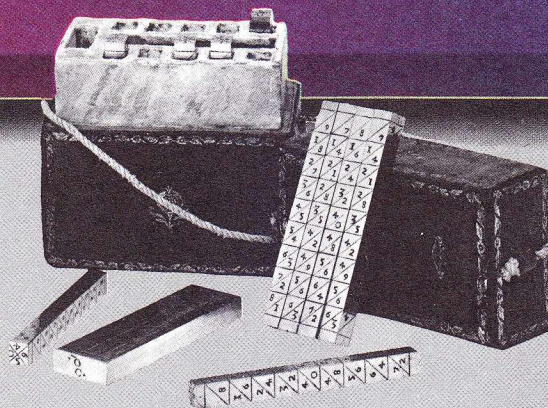
1642

A máquina de somar de Blaise Pascal executava operações aritméticas quando se giravam os discos interligados.



1617

Os ossos de Napier resolviam problemas de multiplicação graças à adição de números em segmentos adjacentes.



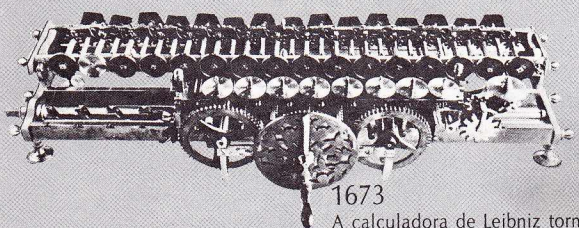


punham. Uma vez terminada sua construção, a máquina seria tão grande quanto uma locomotiva, e seu interior, uma intrincada massa de mecanismos de relojoaria, de aço, cobre e estanho, tudo acionado a vapor. O menor desequilíbrio na menor das partes multiplicar-se-ia centenas de vezes, provocando na máquina um violento “derrame”.

A Máquina Analítica nunca foi construída. Tudo o que existe dela são resmas de planos e desenhos, e parte do “moinho” e da impressora, que o filho de Babbage construiu.

Ironicamente, a Máquina de Diferenças teve um destino um pouco melhor. Embora o próprio Babbage nunca mais voltasse a ela, um impressor, inventor e tradutor sueco chamado Pehr Georg Scheutz leu a respeito do dispositivo e construiu uma versão modificada, em 1854.

Exatamente dezenove anos após a morte de Babbage, os cartões perfurados apareceram numa máquina — um tabulador estatístico construído pelo norte-americano Herman Hollerith para acelerar o processamento das estatísticas para o censo dos Estados Unidos de 1890. Filho de imigrantes alemães, Hollerith nasceu em Buffalo, Nova York. Em 1879, completou os estudos na Universidade de Colúmbia e come-

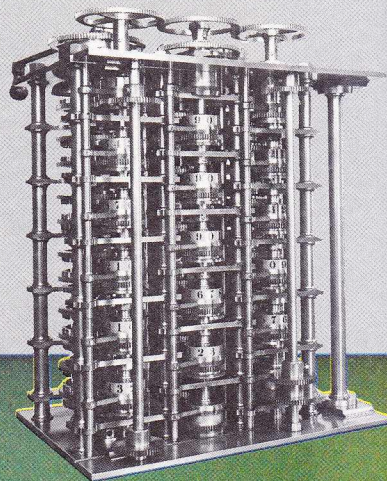
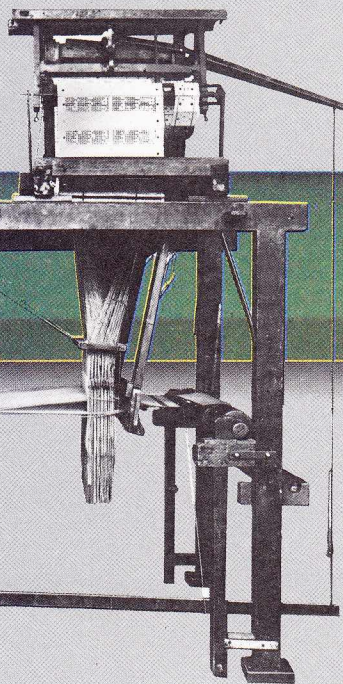


1673

A calculadora de Leibniz tornou mais rápidas as operações de multiplicação e divisão.

1804

O tear de Jacquard foi o primeiro a usar cartões perfurados para controlar processos mecânicos.



1822

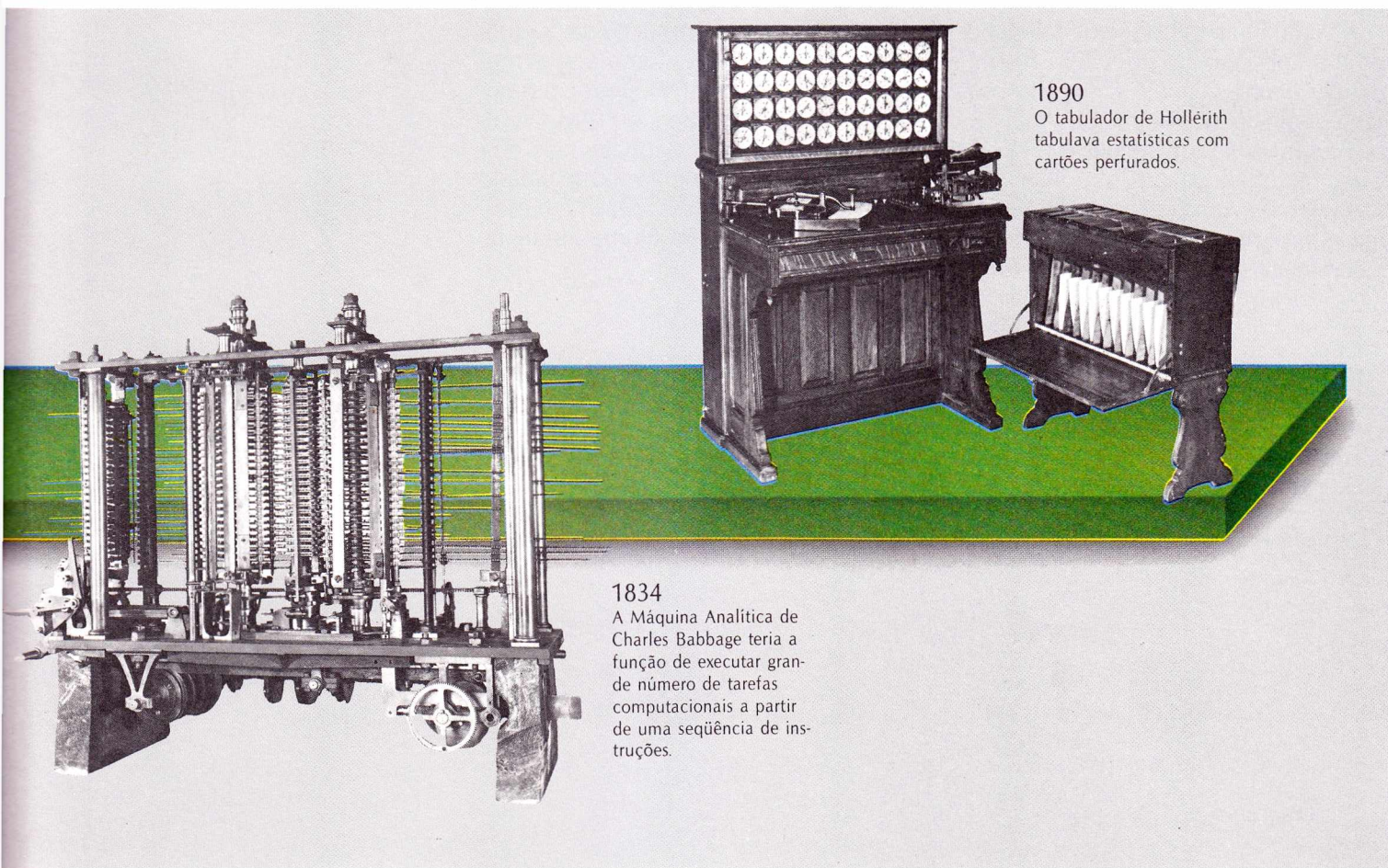
A Máquina de Diferenças de Charles Babbage foi projetada para produzir tabelas matemáticas.



çou a trabalhar para o serviço de recenseamento em Washington. Chegou a tempo de observar centenas de empregados darem início a um laborioso esforço para tabular manualmente o censo de 1880.

John Shaw Billings, um alto funcionário do censo e futuro sogro de Hollerith, sugeriu que a tabulação poderia realizar-se com cartões perfurados. Hollerith passou a década de 1880 trabalhando para desenvolver tal sistema. Não se sabe de onde o próprio Billings tirou a idéia — talvez do tear de Jacquard, talvez observando os funcionários que, nos trens, perfuravam as passagens —, mas em torno de 1890 Hollerith aperfeiçoou o sistema. Num concurso de velocidade do serviço de recenseamento, seu tabulador estatístico venceu várias máquinas rivais, ganhando, em 1890, o contrato para realizar o censo.

Os cartões no tabulador de Hollerith eram do tamanho das notas de 1 dólar. Cada cartão tinha doze fileiras de vinte orifícios, que eram perfurados para registrar dados sobre idade, sexo, país natal, número de filhos, profissão, estado civil e tudo o mais que o censo queria saber sobre a população dos Estados Unidos. O pessoal que fazia a coleta dos dados levava formulários onde eram registradas as respostas a essas perguntas. Esses formulários eram enviados a Washington, on-



1834

A Máquina Analítica de Charles Babbage teria a função de executar grande número de tarefas computacionais a partir de uma seqüência de instruções.

1890

O tabulador de Hollérith tabulava estatísticas com cartões perfurados.



---

de as informações eram transferidas aos cartões perfurando-se os orifícios apropriados. Introduzidos em outro dispositivo fixado na máquina tabuladora, os cartões perfurados eram então pressionados contra fileiras de pinos estreitos, um para cada um dos 240 itens de um cartão; quando um pino encontrava um orifício, atravessava-o mergulhando num pequeno recipiente com mercúrio; desse modo, fechava um circuito elétrico, que fazia com que um indicador, no banco de mostradores do registrador, se deslocasse uma posição para a frente.

### **TRAMPOLIM PARA O SUCESSO**

A máquina de Hollerith era tão veloz que uma simples contagem ficava pronta em seis semanas e uma análise estatística completa, em dois anos e meio. A população aumentara em cerca de 13 milhões de pessoas durante a década anterior, até um total de 62 622 250 habitantes. Mesmo assim, o censo de 1890 demorou aproximadamente um terço do tempo gasto por seu predecessor para ser tabulado.

Hollerith ganhou prêmios, elogios e um doutorado na Universidade de Colúmbia pela sua invenção. Instalou também a Companhia de Máquinas Tabuladoras para vender sua invenção às companhias de estradas de ferro, órgãos do governo e até mesmo à Rússia czarista, que havia decidido se modernizar em matéria de censo.

A companhia tornou-se de imediato, e permanentemente, bem-sucedida; ao longo dos anos, passou por várias fusões e mudanças de nome. A última dessas mudanças ocorreu em 1924, cinco anos antes da morte de Herman Hollerith, e o nome por ele criado foi International Business Machines Corporation, ou IBM. Atualmente, mais de um século e meio depois da luta de Charles Babbage com sua Máquina Analítica, a IBM é líder mundial de uma indústria que tornou realidade sua visão de “uma máquina de natureza a mais genérica possível”. Mas nem mesmo a fértil mente de Babbage poderia prever as formas que, em última instância, assumiria a máquina do seu sonho.



# Novos gênios para a era da automação



Graças à magia da miniaturização que irrompeu no século XX, um número cada vez maior de objetos e instrumentos do dia-a-dia passou a ser habitado por uma espécie de gênio da lâmpada, um dispositivo de computação extraordinariamente pequeno chamado microprocessador. Conhecido como microchip, ele é muito diferente de seus desajeitados ancestrais, como a máquina de somar de Pascal ou o tabulador de Hollerith. O dispositivo moderno é uma casa de força eletrônica composta de centenas de milhares de microscópicos circuitos elétricos gravados por ataque químico sobre um minúsculo pedaço de silício.

As empresas de semicondutores gastam, às vezes, milhões de dólares no projeto de um microprocessador, mas a produção em massa pode permitir que o chip seja vendido por poucos dólares. Então, outros fabricantes introduzem esses pequenos gênios numa variedade enorme de produtos, alguns dos quais podem ser vistos nas páginas seguintes.

Um microprocessador funciona respondendo a impulsos elétricos que abrem e fecham seus circuitos milhares ou milhões de vezes por segundo. Cada abertura ou fechamento representa uma única unidade de informação, codificada nos dígitos zero ou um do sistema numérico binário (*Capítulo 2*). O chip é, assim, um dispositivo "digital", que apenas interpreta as informações que chegam a ele na forma de bits, ou dígitos binários, individuais, em vez de percebê-los sob a forma de um sinal contínuo ou analógico. Assim como os pontos e traços do código Morse, os circuitos abertos e fechados de um microprocessador podem se combinar para articular instruções dirigidas a aparelhos tão diversos quanto máquinas de café automáticas e microcomputadores. O minúsculo gênio digital tornou-se tão onipresente que as pessoas, milhões de vezes ao dia, participam da revolução do computador por atos tão comuns como fazer uma chamada telefônica, dar partida em seus carros ou, simplesmente, verificar as horas num relógio de pulso.



## Os segredos de um relógio de pulso digital

Os cientistas que trabalhavam com máquinas imensas no início da era do computador moderno dificilmente imaginariam que um dia as pessoas andariam com computadores de 10 dólares presos com pulseiras nos pulsos. Mas o milagre do microchip tornou isso possível, transformando o relógio de pulso, sujeito a falhas, num dispositivo que não é apenas extraordinariamente preciso mas também pode desempenhar muitos novos papéis.

Os relógios de pulso tradicionais usam balancins, molas e engrenagens para manter o bom funcionamento. Os relógios de pulso eletrônicos substituíram esses elementos por um microprocessador, um cristal de quartzo e uma bateria. Graças a esses novos componentes, os relógios de pulso computadorizados não têm a fragilidade dos modelos tradicionais e operam com uma ordem de precisão de três minutos por ano (um relógio de pulso tradicional pode perder três minutos por semana).

Num relógio de pulso controlado por computador, o microchip conta os segundos e envia sinais ao mostrador, que pode ser do tipo tradicional (analógico) ou digital. No tipo analógico, os sinais movimentam ponteiros mecânicos no mostrador, que representam o tempo como uma função contínua. No tipo digital, o tempo aparece numericamente — 12:01:03, 12:01:04, 12:01:05 — à medida que o microchip envia sinais a eletrodos que carregam um visor de cristal líquido (*página à direita*). Só essa tarefa exige que o chip processe mais de 30 000 pedaços de informação por segundo. É espantoso que isso represente apenas uma fração do poder do chip. Ainda sobra mais que o suficiente para o relógio atuar como um calendário, um cronômetro e um despertador. Alguns relógios de pulso podem, instantaneamente, deixar de exibir a hora certa e passar a funcionar como calculadoras ou *video games*. Além disso, um microprocessador também pode converter-se numa espécie de diário eletrônico, oferecendo espaço para armazenamento, ou “memória”, onde é possível anotar números de telefones importantes, compromissos, aniversários e quaisquer outras informações cruciais que seu atarefado usuário não deva esquecer.

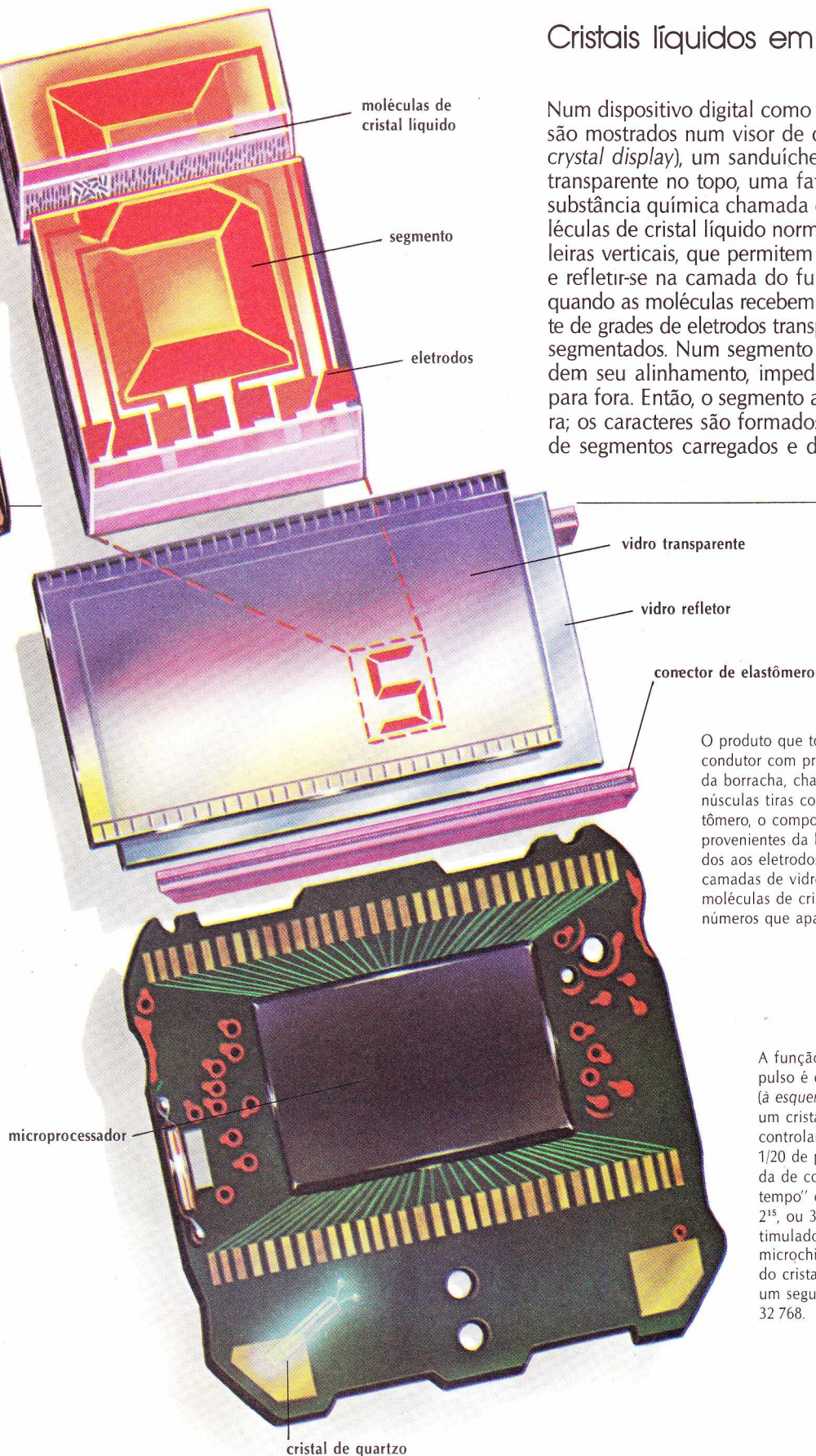
Este relógio de pulso está programado para lembrar seu usuário de um encontro, às 11:15 da manhã, com Chris, em 25 de fevereiro. O microcircuito dentro do relógio pode armazenar até cinquenta lembretes para avisos de compromissos, números de cartões de crédito, datas de aniversários, tabelas de horários de viagens, nomes e números de telefones. O usuário introduz informações na memória do relógio apertando botões numa certa rotina; outras rotinas levarão a informações armazenadas ou religarão o relógio para mostrar a hora certa.





## Cristais líquidos em funcionamento

Num dispositivo digital como este relógio, números e letras são mostrados num visor de cristal líquido, ou LCD (*liquid crystal display*), um sanduíche feito de uma fatia de vidro transparente no topo, uma fatia refletora no fundo e uma substância química chamada cristal (como recheio). As moléculas de cristal líquido normalmente são alinhadas em fileiras verticais, que permitem à luz penetrar o enchimento e refletir-se na camada do fundo. Os caracteres aparecem quando as moléculas recebem uma carga elétrica proveniente de grades de eletrodos transparentes dispostos em padrões segmentados. Num segmento carregado, as moléculas perdem seu alinhamento, impedindo que a luz seja refletida para fora. Então, o segmento aparece como uma área escura; os caracteres são formados por diferentes combinações de segmentos carregados e descarregados.



O produto que torna possível o LCD é um composto condutor com propriedades físicas semelhantes às da borracha, chamado elastômero. Formado por minúsculas tiras conhecidas como conectores de elastômero, o composto permite que pulsos elétricos provenientes da bateria do relógio sejam transmitidos aos eletrodos, gravados por ataque químico nas camadas de vidro do LCD. Esses pulsos permitem às moléculas de cristal líquido formarem as letras e os números que aparecem no mostrador.

A função de cronometragem do relógio de pulso é executada por um microprocessador (à esquerda) que monitora as vibrações de um cristal de quartzo (embaixo, à esquerda), controlando-as com precisão. O cristal mede 1/20 de polegada de largura e 1/5 de polegada de comprimento. Ele constitui a "base do tempo" do relógio, vibrando exatamente a  $2^{15}$ , ou 32 768 pulsos por segundo quando estimulado pela carga elétrica da bateria. O microchip, por sua vez, conta as vibrações do cristal e instrui o visor digital a avançar um segundo cada vez que o total atinge 32 768.



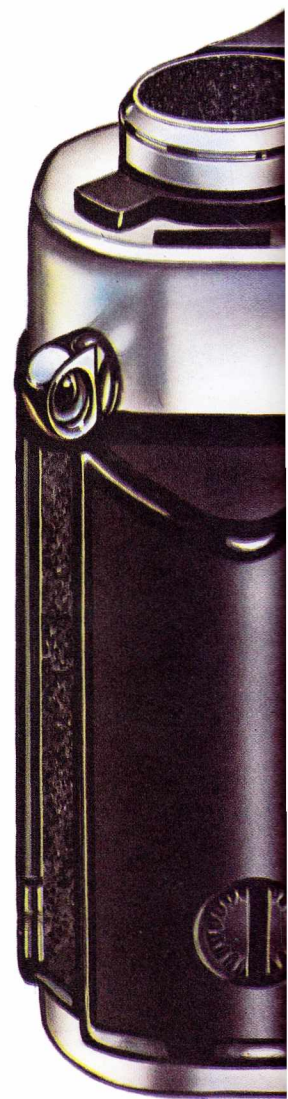
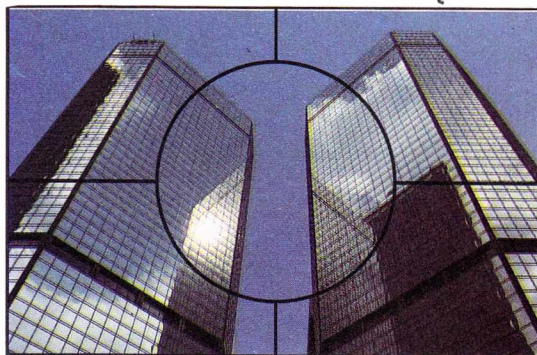
## Uma câmera computadorizada

Câmeras automáticas existem desde a década de 30, quando a introdução de células de selênio — dispositivos eletrônicos fotossensíveis — tornou possível o uso de fotômetros embutidos. Mais tarde, o advento dos transistores possibilitou o controle automatizado dos obturadores; com o aperfeiçoamento da miniaturização, os elementos eletrônicos — e as câmeras que os alojam — ficaram ainda mais sofisticados. Atualmente, uma câmera computadorizada pode fazer quase tudo para o fotógrafo — praticamente só falta pedir à pessoa que será fotografada para sorrir.

Uma câmera computadorizada, como a que aparece na página ao lado, libera o fotógrafo de preocupações com imagens sujeitas a excesso ou insuficiência de exposição, aliviando a ansiedade do amador e permitindo ao profissional responder com regulagem de tempo em frações de segundo a objetos que se deslocam ou a variações de luz.

A chave para os reflexos da câmera é um sofisticado microprocessador que controla outros chips especializados e pode, como num passe de mágica, manipular grande número de variáveis num piscar de olhos. Diferentemente das primeiras câmeras automáticas, que faziam uma só leitura da intensidade luminosa para cada exposição e tomavam uma média para a figura toda, esta câmera faz uma leitura de luz para cinco diferentes setores da imagem e otimiza o ajuste para essa combinação particular. Não é mais possível que um objeto brilhante, como o sol, posicionado num dos cantos do enquadramento, distorça todo o cálculo, o que resultaria numa tomada com excesso de exposição. À medida que analisa as múltiplas leituras, o microprocessador elimina extremos em cada borda da escala e escolhe os ajustes de acordo com esses resultados. Até mesmo situações de iluminação complicada e incomum podem produzir fotos de exposição adequada. O chip, entretanto, não tem a última palavra. Um ajuste manual pode suspender as respostas automáticas da câmera e colocar a escolha da velocidade do obturador e da abertura — e também dos efeitos artísticos — novamente sob o controle do fotógrafo.

As fotos abaixo ilustram o modo como a câmera escolhe os ajustamentos para a abertura das lentes e a velocidade do obturador. No caso da imagem à esquerda, a câmera foi ajustada para fazer apenas uma leitura da luz, resultando numa imagem com zonas extremamente escuras. Para a imagem à direita, de exposição mais uniforme, as células dos sensores de luz (*página ao lado*) dividem o panorama em cinco setores e fazem uma leitura separada de cada um deles. Os cinco níveis de brilho são traduzidos em código digital, e o microprocessador principal seleciona os ajustes corretos, comparando as leituras com informações armazenadas, extrapoladas de dezenas de milhares de fotografias.





O acionador do decodificador é o tradutor eletrônico que permite à câmera comunicar-se com o fotógrafo. Uma vez efetuados os cálculos pelo microcomputador da câmera, este dispositivo recebe os resultados codificados e converte-os em sinais que ativam o visor de cristal líquido, ou LCD, onde o fotógrafo pode ler os dados.

Um delgado visor de cristal líquido mantém o fotógrafo informado acerca dos melhores ajustes disponíveis de velocidade e abertura, em cada situação de iluminação. O LCD também adverte, por meio de sinais luminosos, quanto à ocorrência de exposição em excesso ou, ao contrário, deficiente.

Com o tamanho aproximado de uma unha de polegar, este microprocessador é o cérebro da câmera computadorizada. Os cálculos efetuados pelo chip controlam a velocidade do obturador e a abertura quando a câmera está operando automaticamente. Se o fotógrafo tiver optado pelo ajuste manual, o microprocessador continuará a gerar as leituras que aparecem no LCD. O microprocessador também controla cinco outros microchips com funções especializadas.

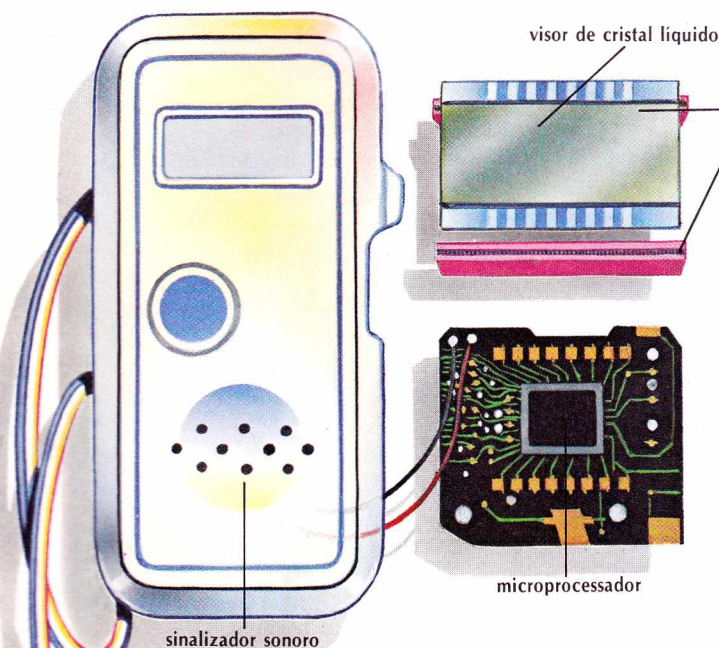




## Chips para saúde e forma física

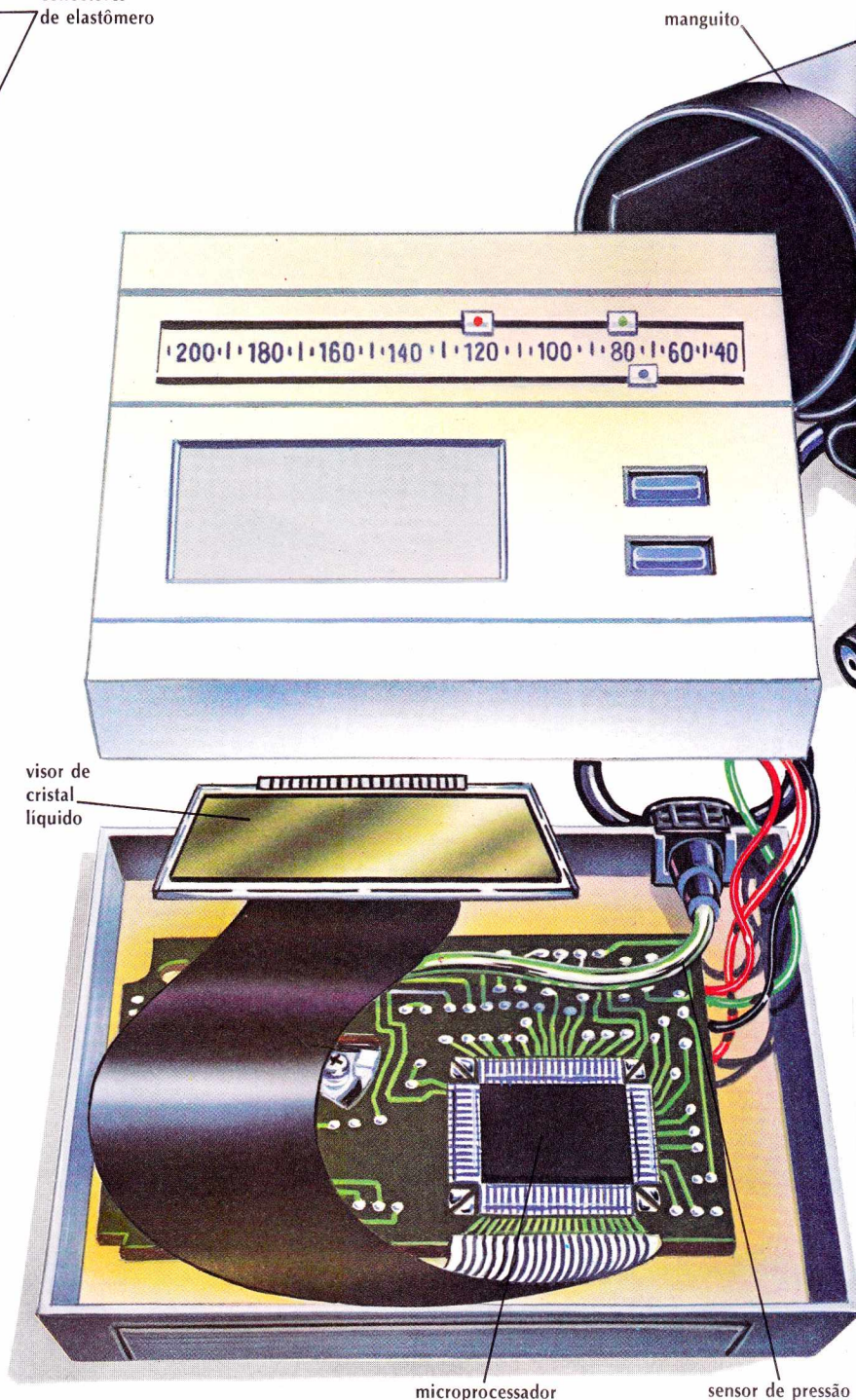
Assim como os tipos de informações que se podia obter num relógio de pulso foram ampliados pelo chip, também grande parte do incômodo trabalho de executar alguns testes e medições de rotina, antes restritos a clínicas e casas de saúde, passou a ser executada por ele.

Um equipamento de exercícios pode, atualmente, incluir microprocessadores que fazem quase tudo. Fornecendo-se os valores da pulsação cardíaca, idade e peso, algumas bicicletas



Diferentemente do termômetro tradicional, que representa a temperatura do corpo pela altura de uma coluna de mercúrio num tubo calibrado, um termômetro digital construído com base num microprocessador simplesmente indica a temperatura num mostrador. O sensor do termômetro detecta a temperatura como uma função contínua; o microprocessador então converte a leitura em termos digitais e avança o número, de fácil leitura, exibido no LCD, em 2/10 de grau por vez. Quando a temperatura permanece constante durante um intervalo de tempo predeterminado, a leitura é travada e o sinalizador sonoro emite um bip.

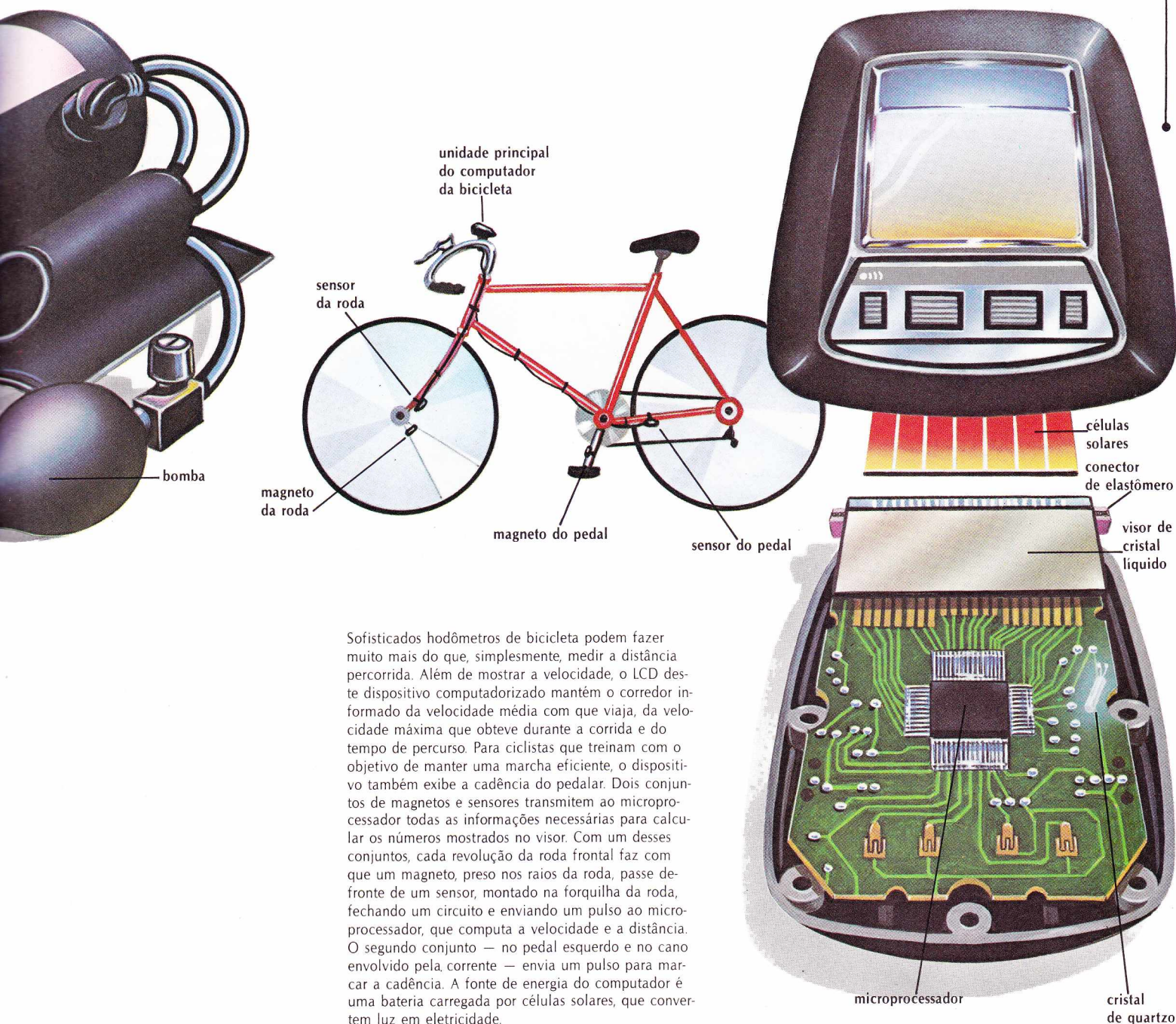
O sensor de pressão neste esfigmômetro computadorizado registra as batidas do coração e o nível da pressão exercida pelo sangue à medida que ele bombeia contra a pressão de ar no manguito inflável. A cadência das pulsações e as leituras sistólica e diastólica — medições da pressão sanguínea tomadas quando o coração contrai-se e quando relaxa — são mostradas no LCD do medidor quando o ciclo das medições é completado. Embora possa checar e relatar o valor da pressão sanguínea, o microprocessador não substitui uma interpretação médica qualificada.





podem estimar o consumo de oxigênio e de calorias durante os exercícios e oferecer uma leitura constantemente atualizada, num visor. Se a dieta é parte do regime para a forma física, você poderá pesar as porções ingeridas na hora das refeições numa sofisticada balança de cozinha cuja memória é guarnecida com dados sobre o valor nutritivo e o conteúdo em calorias. Você também poderá monitorar seu peso numa balança computadorizada, entrando com seus objetivos de per-

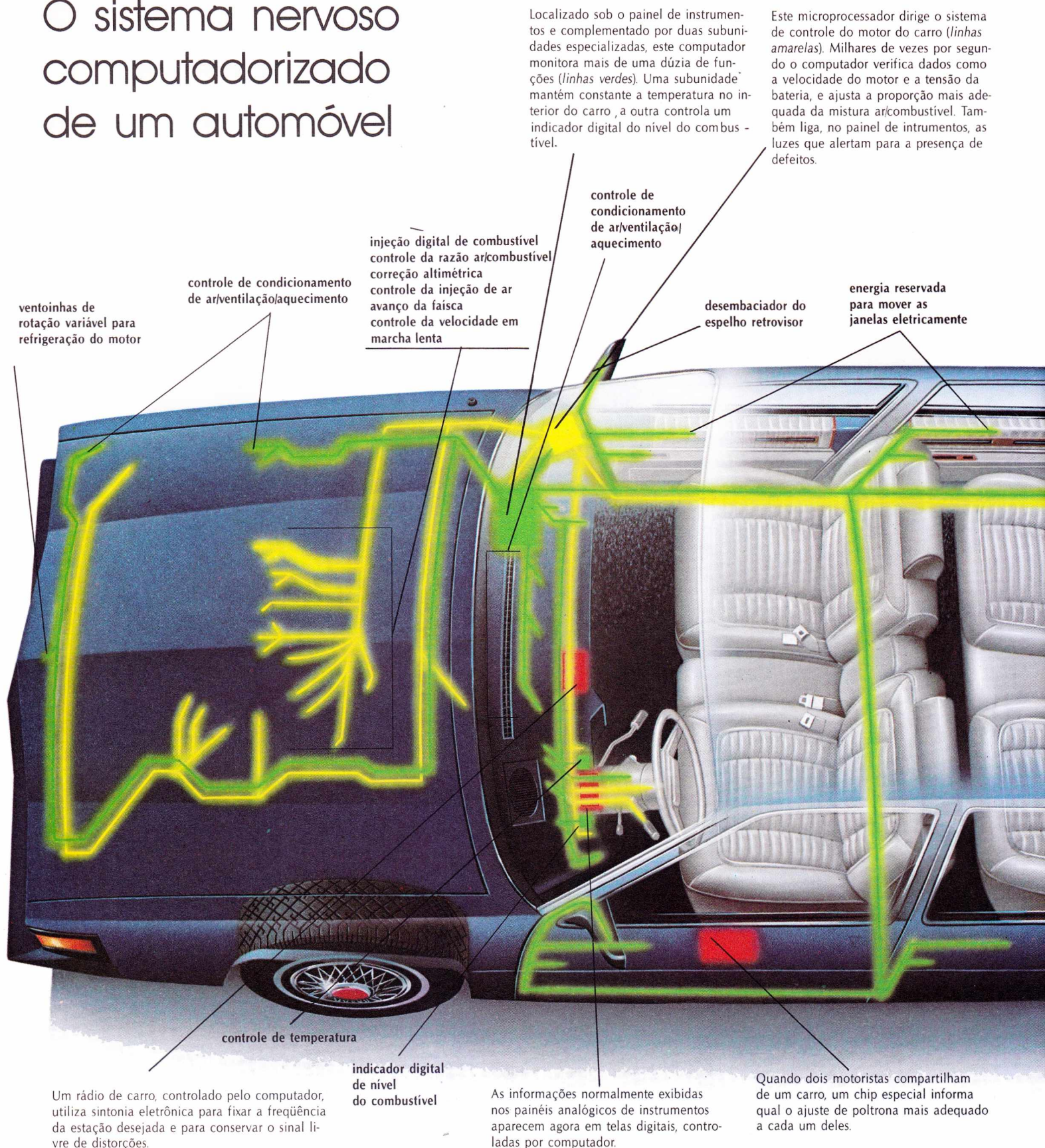
da de peso e recebendo informações a respeito de seu progresso — ou ausência dele. Tal balança também tem condições de prever em quantos dias você poderia adquirir o peso desejado. Equipamentos médicos domésticos computadorizados, tais como termômetros digitais e calibradores da pressão sanguínea, ajudam nas checagens rotineiras de saúde. No entanto, fabricantes responsáveis assinalam que esses cômodos instrumentos não substituem a assistência profissional.



Sofisticados hodômetros de bicicleta podem fazer muito mais do que, simplesmente, medir a distância percorrida. Além de mostrar a velocidade, o LCD deste dispositivo computadorizado mantém o corredor informado da velocidade média com que viaja, da velocidade máxima que obteve durante a corrida e do tempo de percurso. Para ciclistas que treinam com o objetivo de manter uma marcha eficiente, o dispositivo também exibe a cadência do pedalar. Dois conjuntos de magnetos e sensores transmitem ao microprocessador todas as informações necessárias para calcular os números mostrados no visor. Com um desses conjuntos, cada revolução da roda frontal faz com que um magneto, preso nos raios da roda, passe defronte de um sensor, montado na forquilha da roda, fechando um circuito e enviando um pulso ao microprocessador, que computa a velocidade e a distância. O segundo conjunto — no pedal esquerdo e no cano envolvido pela corrente — envia um pulso para marcar a cadência. A fonte de energia do computador é uma bateria carregada por células solares, que convertem luz em eletricidade.



# O sistema nervoso computadorizado de um automóvel



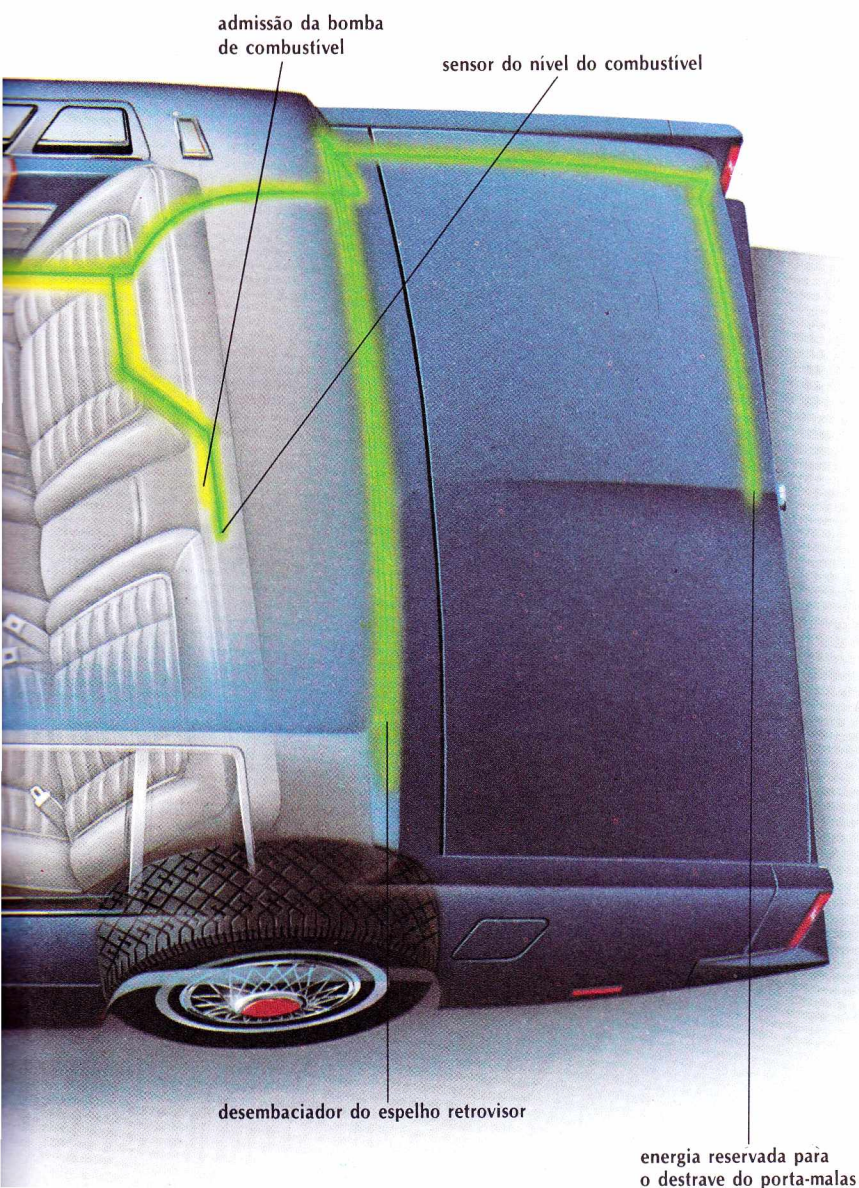


A computadorização do automóvel acelerou-se na década de 70, em parte devido à subida dos preços do petróleo e à preocupação com a poluição ambiental. Com o advento de padrões mais estritos para a eficiência do combustível e emissões mais limpas do escapamento, os fabricantes de automóveis voltaram-se para o microprocessador em busca de ajuda. Em meados da década de 80, as linhas de montagem produziam carros equipados com até oito computadores.

No modelo da figura, vários chips de computador independentes executam funções de conveniência, tais como o ajuste dos assentos ou a sintonia fina do rádio. Dois sofisticados computadores, capazes de manipular milhares de informações por segundo, são empregados para monitorar e controlar os sistemas mais essenciais do carro. Sensores colocados por todo o corpo do carro e no seu sistema elétrico enviam sinais ao longo de circuitos especiais, mantendo os computadores infor-

mados sobre a velocidade do motor e sua temperatura, o nível de oxigênio na fumaça do escapamento e várias outras condições operacionais.

Monitorando componentes como o motor de partida, o tacômetro, o hodômetro e o indicador de temperatura do líquido refrigerante, os computadores de automóvel podem, na verdade, analisar o estilo com que um motorista dirige e seus hábitos na estrada: o motorista tende a acelerar rapidamente ou gradualmente? Que proporção da viagem consiste em cruzamentos de rodovias? O chip utiliza essa bateria de informações para indicar a necessidade de reparos em determinados sistemas ou partes do automóvel. Quando um carro computadorizado vai à oficina para uma revisão ou outro serviço de manutenção, os microchips que registram médias significativas ou eventos inusitados podem apresentar ao mecânico um diagnóstico completo das necessidades de reparo do veículo.



## Navegação por satélite



No século XXI, os automóveis navegarão com a ajuda de conexões eletrônicas com satélites que orbitarão mais de 20 000 quilômetros acima da Terra. Uma antena embutida no carro receberá sinais de satélite, que um computador a bordo analisará para estabelecer a latitude e a longitude do veículo, e sua altitude acima do nível do mar. Então o computador exibirá numa tela um dentre vários milhares de mapas gravados num disco de armazenamento. Um símbolo indicará a posição do carro em movimento.



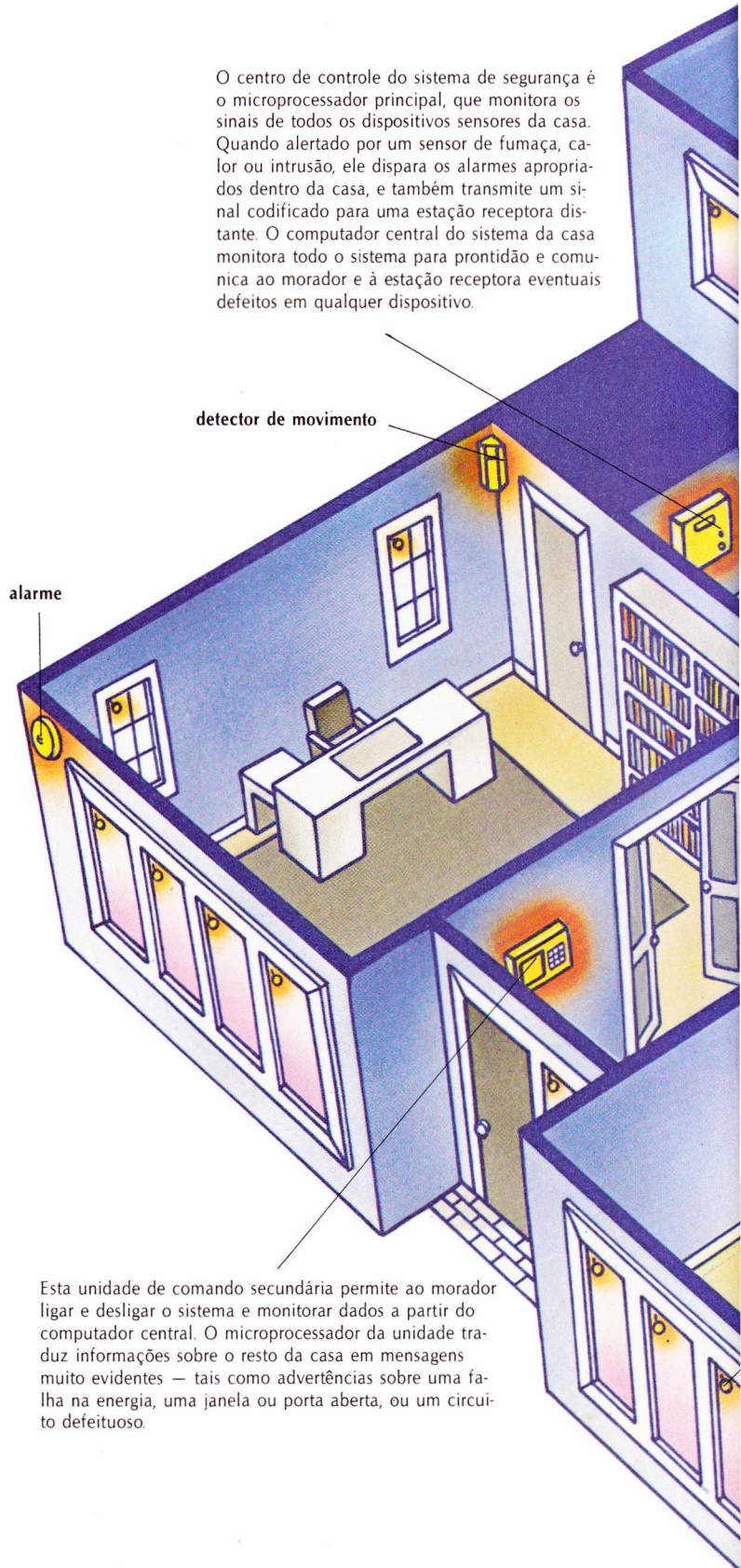
## Sentinelas eletrônicas para o lar

Os computadores planejados para montar guarda numa casa vão desde dispositivos que custam pouco mais de 100 dólares, e que os próprios moradores podem instalar, até sistemas vendidos por vários milhares de dólares, e que requerem instalação profissional. Os sistemas mais caros incluem os serviços de um escritório central, que retransmite os sinais do computador de segurança à polícia ou ao corpo de bombeiros ou, ainda, a uma equipe médica.

Os sistemas mais sofisticados, como o que é mostrado na figura, utilizam sensores térmicos e de fumaça para proteção contra incêndios, permitem chamadas de emergência a um simples toque de botão e estabelecem dupla defesa contra invasores. A primeira linha de defesa fica localizada nas janelas e portas. Neste caso, vários métodos podem ser usados para detectar entrada ilegal, incluindo sensores magnéticos embutidos nas estruturas das portas e janelas, e sensores de choque, que captam vibrações reveladoras, tais como as de vidros que se quebram. Um ladrão que passasse por esses cães de guarda eletrônicos ainda teria de competir com tapetes de assoalho sensíveis à pressão, detectores infravermelhos que captam o calor do corpo humano a uma distância de até 12 metros e instalações ultra-sônicas sensíveis a movimentos. O sistema completo funciona com a corrente elétrica normal de uma casa, mas inclui uma bateria sobressalente para manter a casa protegida caso haja interrupção de energia.

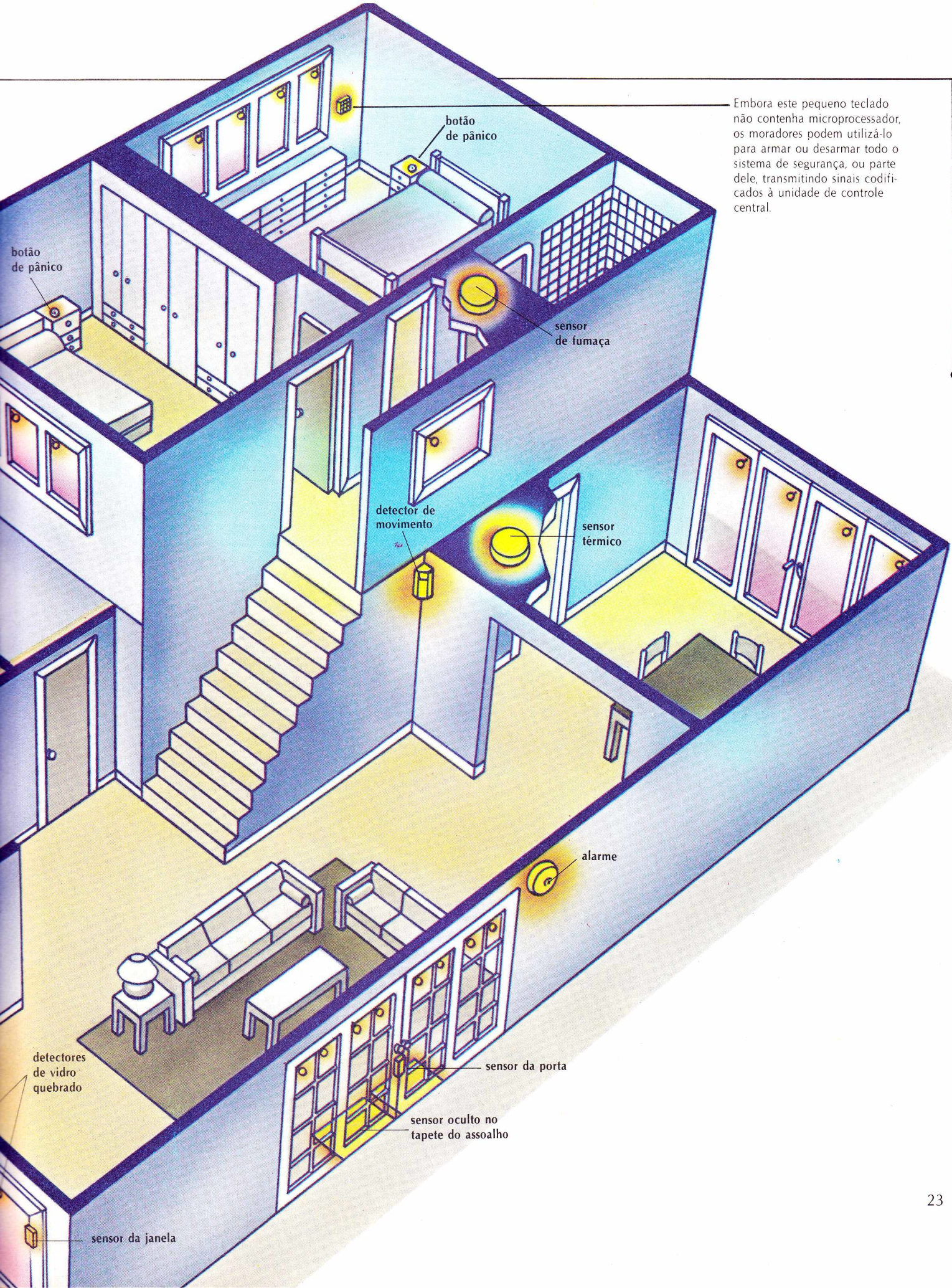
O trabalho de todos os dispositivos protetores do sistema é coordenado por uma unidade de computador central, programada para responder a várias situações. Se um influxo de partículas de carbono ou um rápido aumento na temperatura disparar os sensores térmicos ou de fumaça, o computador transmitirá um sinal de socorro pela linha telefônica e, ao mesmo tempo, disparará um alarme para alertar quem quer que esteja na casa. Se alguém entrar por uma porta protegida, o computador esperará alguns segundos para verificar se o intruso é realmente um morador, que, conhecendo um código especial de identificação, o digitará num dos pequenos teclados do sistema, montado na parede. Se o código não estiver correto, o computador enviará sua chamada de socorro. Além disso, quaisquer invasores saberão que foram descobertos, graças ao som de um alarme penetrante ou a um comando que apagará e acenderá continuamente as luzes da casa. Se os próprios moradores detectarem um intruso, poderão disparar o alarme por meio de "botões de pânico" localizados em posições convenientes. Finalmente, se os moradores planejam estar fora de casa por vários dias, poderão programar seu sistema de segurança para ligar e desligar as luzes a intervalos que variam de dia para dia, dando à casa uma autêntica aparência de que há pessoas dentro dela.

O centro de controle do sistema de segurança é o microprocessador principal, que monitora os sinais de todos os dispositivos sensores da casa. Quando alertado por um sensor de fumaça, calor ou intrusão, ele dispara os alarmes apropriados dentro da casa, e também transmite um sinal codificado para uma estação receptora distante. O computador central do sistema da casa monitora todo o sistema para prontidão e comunica ao morador e à estação receptora eventuais defeitos em qualquer dispositivo.



Esta unidade de comando secundária permite ao morador ligar e desligar o sistema e monitorar dados a partir do computador central. O microprocessador da unidade traduz informações sobre o resto da casa em mensagens muito evidentes — tais como advertências sobre uma falha na energia, uma janela ou porta aberta, ou um circuito defeituoso.







## Um faz-tudo de escrivadinha

Os microchips no interior das câmeras, nos carros, nos relógios de pulso e assim por diante são especialistas, ou seja, cada um deles é programado para executar um conjunto limitado de tarefas. O microcomputador, por outro lado, pode realizar um conjunto enorme de tarefas. Alguns de seus chips são semelhantes aos de uma câmera, com instruções para pôr em funcionamento certas partes da máquina. Mas o chip que torna o microcomputador um instrumento tão poderoso e de uso geral é um versátil microprocessador que executa seu trabalho de acordo com instruções recebidas do usuário. Essa unidade central de processamento, como é chamada, permite ao computador passar facilmente de um instigante *video game* à tarefa de reordenar os parágrafos em um relatório comercial. Cada papel é definido e controlado por um conjunto de instruções eletronicamente codificadas denominado programa, ou *software*.

Alguns usuários do computador divertem-se com o desafio de escrever seus próprios programas, mas a maioria contenta-se em escolher dentre os milhares de pacotes de software disponíveis no mercado. Com o auxílio de diferentes programas, os usuários do computador pessoal podem rastrear o desempenho de títulos de investimento, organizar registros de impostos, armazenar listas de cartões de Natal ou se entregar a um estudo de sua contabilidade caseira. Podem realizar operações bancárias, fazer compras ou fechar negócios sem sair de casa. Podem aprender a jogar bridge ou datilografar. Colocando as chamadas telefônicas em "bases de dados" mantidas por outros computadores, os usuários do microcomputador podem fazer vários tipos de pesquisa, consultando arquivos eletrônicos remotos de catálogos sem sair de casa ou do escritório. O computador pessoal, em resumo, é um auxiliar com inúmeros talentos.

### Fazer música com luz



Utilizada em programas especialmente planejados, como o jogo musical mostrado na foto, a caneta óptica oferece aos usuários de computadores outro meio de interagir com a máquina, permitindo-lhes compor melodias simples, criar desenhos complexos ou selecionar opções na tela sem recorrer ao teclado. Uma célula fotossensível na ponta da caneta comunica-se com a tela. Neste exemplo, o programa faz com que cada nota seja tocada à medida que o usuário a posiciona na tela; depois, apontando com a caneta a instrução PLAY, a composição completa é executada através do alto-falante do computador.



O encarregado das milhares de operações por segundo do microcomputador é este microprocessador, conhecido como unidade central de processamento, ou CPU. É ele o "cérebro" do computador, efetuando cálculos, mantendo a exata sucessão dos passos na execução de um programa, dirigindo a entrada e a saída de sinais e controlando o fluxo de informações dentro da máquina.

O meio mais comum de os usuários darem entrada a instruções no computador é através de um teclado semelhante ao da máquina de escrever, equipado com teclas adicionais que introduzem no microcomputador funções especiais de computações. Outros dispositivos de entrada incluem canetas ópticas (acima), controladores como o joystick ou o mouse, e telas que respondem ao toque de um dedo.





Microcomputadores utilizam, com frequência, um monitor semelhante a uma tela de televisão para exibir gráficos gerados pelo software que controla o sistema, desde *video games* a colunas de números, tabelas e gráficos.

Uma unidade de disco permite ao computador criar um registro permanente e recuperável. Um disquete, como é chamado, feito de plástico revestido magneticamente, pode abrigar todo um programa complexo — instruções codificadas que dizem ao computador como executar uma tarefa — assim como os dados que o próprio usuário cria. Cabeçotes móveis dentro da unidade de disco “lêem” as informações magneticamente armazenadas na superfície de um disco e transferem o conteúdo à memória interna da máquina. Os cabeçotes também podem “escrever” magneticamente informações sobre o disco.



001000010	01110100	111000	110001
00100111	01110011	00100000	01111111
01100101	00100000	1110011	0111111
0111100	0111100	00100000	111111
01100101	01110000	00100000	110011
1110010	00100000	1100001	00100000
1100001	0111110	0011100	00100000
111110	01100101	00100000	110111
1100001	0111110	111100	00100000
1100101	01100001	1110000	00100000
111111	1110010	00100000	111111
111110	0111011	1111001	011111
0011110	00100001	00100000	00100000
1001110	01100101	111001	111100
1000001	0111001	111111	1110011
1110010	0111111	111111	111111
00100000	01000001	1110000	0111111
111100	111111	00100000	0110001



# O poder do código binário

Em julho de 1969, quando o astronauta norte-americano Neil Armstrong tornou real o velho sonho humano de atingir a Lua, as notícias de sua proeza foram instantaneamente transmitidas, ao longo de 390 000 quilômetros através do espaço, até Houston, no Texas, e daí espalharam-se sobre um mundo em expectativa. A televisão levou a imagem até milhões de residências, e os detalhes — inclusive o breve e eloqüente discurso de Armstrong — foram retransmitidos a milhares de jornais e revistas de todo o mundo. Grande parte das informações viajou de máquina em máquina num código especial de impulsos ligado-desligado, os equivalentes elétricos dos zeros e uns.

Os zeros e uns eram o verdadeiro elo entre o pouso lunar e a celebração desse evento na Terra, pois os dois símbolos do sistema numérico binário participaram de infinitas maneiras dessa histórica missão. Codificaram tudo, desde os comandos que dispararam a decolagem até as instruções que mantiveram a espaçonave de Armstrong inclinada no ângulo apropriado à sua reentrada na atmosfera da Terra. O mesmo ocorre em cada canto deste nosso mundo virtualmente dependente do computador digital. Qualquer computador digital, independente do tamanho ou da finalidade a que se destina, significa, em sua essência, um sistema de tráfego de informações expresso em zeros e uns.

Um código de dois símbolos não é a única alternativa ao sistema decimal. A aritmética babilônica baseava-se no número 60, e nos costumes e linguagem dos povos que falam inglês estão submersos os remanescentes de um sistema de base 12, que em certa época imperou nas ilhas britânicas: 12 meses num ano, 12 polegadas num pé, dois períodos de 12 horas num dia, medidas em grupos de dúzias etc. Inspirado no número de dedos no par das mãos humanas, o sistema decimal terminou por ofuscar todos os outros meios de numeração, pelo menos no Ocidente. Certos pensadores ocidentais pós-renascentistas, no entanto, fascinaram-se pela simplicidade dos dois estados da numeração binária. Lentamente, o conceito infiltrou-se em disciplinas científicas isoladas, da lógica e da filosofia à matemáti-

Codificadas em zeros e uns, as primeiras palavras proferidas na Lua só fazem sentido para um computador. A declaração do astronauta Neil Armstrong — “Este é um pequeno passo para um homem, mas um salto gigante para a humanidade” (“*That’s one small step for a man, one giant leap for mankind*”) — aparece aqui traduzida num código que a maioria dos modernos computadores entende, o Código Padrão Norte-americano para Intercâmbio de Informações, ou ASCII (American Standard Code for Information Interchange).



ca e à engenharia, ajudando a anunciar a aurora da era do computador.

Um dos primeiros defensores do sistema binário foi o gênio alemão Gottfried Wilhelm Leibniz, que chegou a ele de uma maneira indireta. Em 1666, enquanto completava seus estudos universitários, e bem antes de inventar sua calculadora de rodas dentadas (página 10), Leibniz, então com 20 anos, esboçou um trabalho que, modestamente, descrevia como um ensaio de estudante.

Denominado *De Arte Combinatoria* (*Sobre a Arte das Combinações*), esse pequeno trabalho delineava um método geral para reduzir todo pensamento — de qualquer tipo e sobre qualquer assunto — a enunciados de perfeita exatidão. A lógica (ou, como ele a chamava, as leis do pensar) seria então transposta do domínio verbal, que é repleto de ambigüidades, ao domínio da matemática, que pode definir com precisão as relações entre objetos ou enunciados. Além de propor que todo pensamento racional se tornasse matemático, Leibniz invocava “uma espécie de linguagem ou escrita universal, mas infinitamente diversa de todas as outras concebidas até agora; isso porque os símbolos e até mesmo as palavras nela envolvidas dirigir-se-iam à razão; e os erros, exceto os factuais, seriam meros erros de cálculo. Seria muito difícil formar ou inventar essa linguagem, mas também seria muito fácil compreendê-la sem quaisquer dicionários”.

## REFINAMENTO DO SISTEMA BINÁRIO

Seus contemporâneos, talvez perplexos, talvez sentindo-se insultados por suas idéias, ignoraram esse ensaio, e o próprio Leibniz, ao que parece, nunca voltou a retomar a idéia da nova linguagem. Uma década mais tarde, porém, ele começou a explorar de uma nova maneira as potencialidades da matemática, concentrando-se em aprimorar o sistema binário. Enquanto trabalhava, transcrevendo laboriosamente fileiras após fileiras de números decimais transformados em binários, era estimulado por um manuscrito secular que lhe chamara a atenção. Tratava-se de um comentário sobre o venerável livro chinês *I Ching*, ou *Livro das Mutações*, que procura representar o universo e todas as suas complexidades por meio de uma série de dualidades — e/ou proposições —, contrastando luz e trevas, macho e fêmea. Encorajado por essa aparente validação de suas próprias noções matemáticas, Leibniz continuou aperfeiçoando e formalizando as intermináveis combinações de uns e zeros, que constituíram o moderno sistema binário.

No entanto, não obstante toda a sua genialidade, Leibniz não conseguiu descobrir nenhuma utilidade imediata para o produto de seus esforços. Sua calculadora de rodas dentadas fora projetada para trabalhar com números decimais, e Leibniz nunca a converteu para números binários, talvez intimidado pelas longas cadeias de dígitos criadas por esse sistema. Como apenas os dígitos zero e um são utilizados, o número 8, por exemplo, torna-se 1000 quando convertido em binário, e o equivalente binário do número decimal 1 000 é a incômoda cadeia 1111101000. Mais tarde, o gênio alemão efetivamente dedicou certo tempo pensando em como utilizaria números binários num dispositivo de cálculo, mas nunca tentou efetivamente construir tal máquina. Em vez disso, preocupou-se em investir o sistema binário de significados místicos, vendo nele a imagem da criação. Para Leibniz, o número um representava Deus; zero corresponderia ao vazio — o universo antes que existisse qualquer outra coisa a não ser Deus. Tudo proveio do um e do zero, assim como o um e o zero podem expressar todas as idéias matemáticas.

Em 1841, mais de um século após a morte de Leibniz, um matemático inglês





No início do século XIX, o matemático inglês autodidata George Boole inventou um sistema de lógica simbólica chamado álgebra booleana. Cerca de um século mais tarde, cientistas uniram suas fórmulas ao sistema binário de numeração, tornando possível o computador digital eletrônico.

autodidata chamado George Boole retomou vigorosamente a procura de uma linguagem universal.

É notável que um homem de origem humilde como Boole fosse capaz de assumir tal busca. Filho de comerciantes pobres, dificilmente poderia obter uma educação sólida, e muito menos dedicar-se a uma carreira intelectual. Mas sua determinação era ilimitada.

Criança precoce, aos 12 anos Boole já dominava o latim e o grego. Mais tarde, incorporou o francês, o alemão e o italiano à sua bateria de línguas. Depois foi a vez da matemática: devorando todas as publicações especializadas que lhe chegavam às mãos, dominou as mais complicadas idéias de seu tempo. Durante a década seguinte, Boole começou a construir sua própria reputação, produzindo um fluxo constante de artigos para periódicos locais. Seu trabalho causou tão boa impressão que, em 1849, foi convidado a fazer parte de uma faculdade de matemática da Irlanda.

## INVESTIGAÇÃO DAS LEIS DO PENSAMENTO

Com mais tempo para pensar e escrever, Boole voltava-se para o assunto sobre o qual Leibniz especulava muito tempo antes: colocar a lógica sob o domínio da matemática. Boole já tinha escrito um importante artigo sobre esse conceito, *Análise Matemática da Lógica*, em 1847. Em 1854 ele aprimoraria suas idéias num trabalho intitulado *Uma Investigação das Leis do Pensamento*. Seus ensaios pioneiros revolucionaram a ciência da lógica.

O que Boole concebeu era uma forma de álgebra, um sistema de símbolos e regras aplicável a qualquer coisa, desde números e letras a objetos ou enunciados. Com esse sistema, Boole pôde codificar proposições — isto é, enunciados que se pode provar serem verdadeiros ou falsos — em linguagem simbólica, e então manipulá-las quase da mesma maneira como se faz com os números ordinais.

As três operações mais fundamentais da álgebra chamam-se AND, OR e NOT (página 40). Embora o sistema de Boole incluía muitas outras operações, essas três são as únicas necessárias para somar, subtrair, multiplicar e dividir, ou, ainda, executar ações tais como comparar símbolos ou números. Para tanto, Boole introduziu o conceito de portas lógicas que só processam dois tipos de entidades — verdade ou falsidade, sim ou não, aberto ou fechado, um ou zero. Boole esperava que, despojando os argumentos lógicos de toda verbosidade, seu sistema tornaria muito mais fácil — na verdade, tornaria praticamente infalível — a obtenção de soluções corretas.

A maioria dos matemáticos contemporâneos de Boole ignorou ou criticou seu sistema, mas este tinha uma força à qual não se podia resistir por muito tempo. Um matemático norte-americano chamado Charles Sanders Peirce introduziu a álgebra booleana nos Estados Unidos em 1867, descrevendo-a concisamente num artigo enviado à Academia Norte-americana de Artes e Ciências. Ao longo de quase duas décadas, Peirce devotou grande parte de seu próprio tempo e energia a modificar e expandir a álgebra booleana. Compreendeu que a lógica de dois estados de Boole presta-se, facilmente, à descrição de circuitos de comutação elétricos: circuitos estão ligados ou desligados, assim como uma proposição é verdadeira ou falsa; um interruptor funciona de maneira muito parecida com uma porta lógica, permitindo, ou não permitindo, que a corrente — isto é, a verdade — prosiga até o interruptor seguinte. O próprio Peirce estava, em última instância, mais



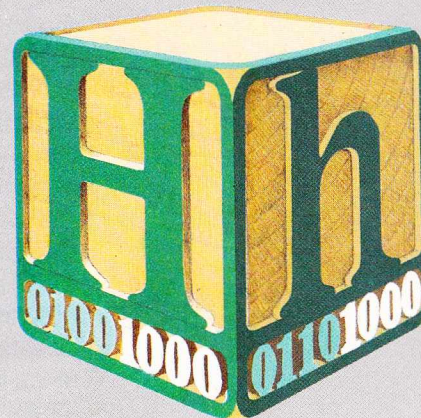
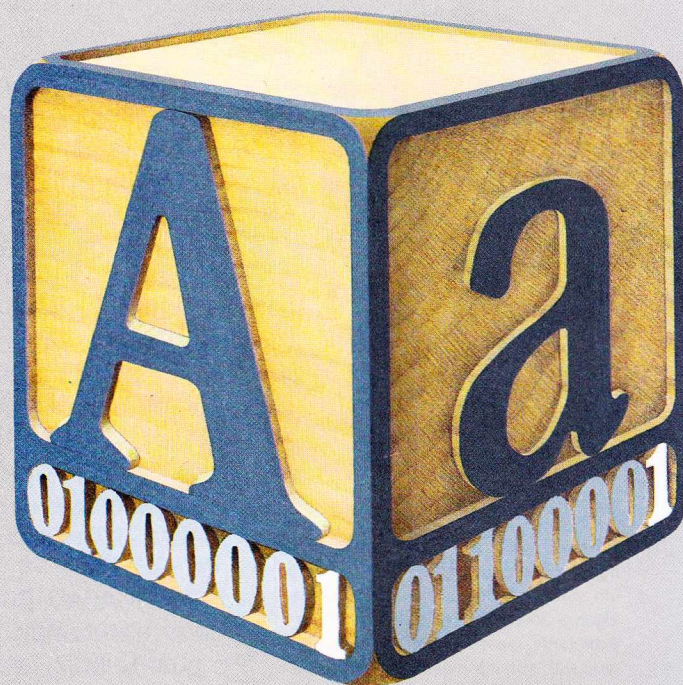
# Padrão para comunicação

Quando você digita a letra A no teclado de uma máquina de escrever, um martelo bate na fita e faz a letra aparecer em tinta sobre o papel. O processo é estritamente mecânico. No entanto, se você digitar a mesma tecla no teclado de um computador, sua ação gerará um conjunto de zeros e uns, que fazem a letra aparecer, luminosa, na tecla. Cada parte do processo que se segue à batida inicial da tecla é eletrônica. Além disso, os zeros e uns usados para codificar a letra — ou qualquer outro caractere ou função do controle — são padronizados. Os computadores podem, assim, transferir informações de um lado para o outro sem tradução: eles estão usando uma linguagem eletrônica compartilhada.

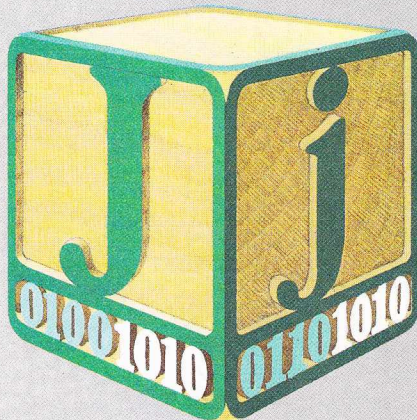
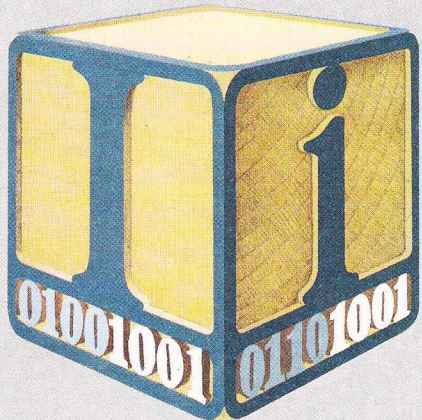
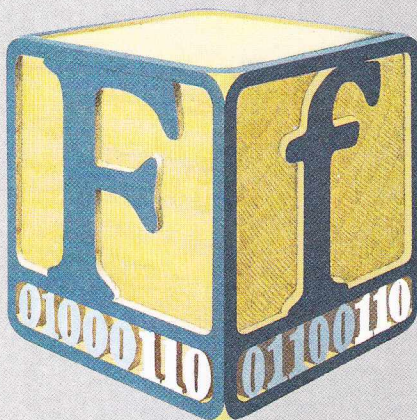
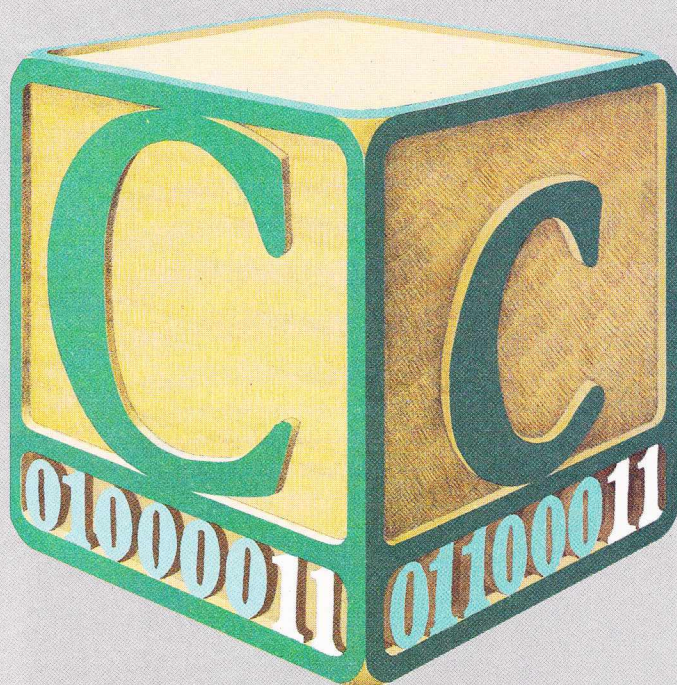
Nos Estados Unidos, essa linguagem compartilhada é chamada ASCII — o Código Padrão Norte-americano para Intercâmbio de Informações (American Standard Code for Information Interchange). Outros países utilizam uma versão internacional ligeiramente modificada. ASCII designa uma cadeia de sete zeros e uns (dígitos binários ou bits) para cada letra maiúscula ou minúscula do alfabeto, para os algarismos do sistema decimal e para o conjunto dos sinais de pontuação e símbolos de controle. Um oitavo bit é ignorado, ou então usado para checar a precisão da transmissão. (Aqui e na mensagem codificada da página 26, o oitavo bit, ou bit mais à esquerda, foi arbitrariamente suposto igual a zero.)

Sete bits significativos fornecem  $2^7$ , ou 128, permutações possíveis de zeros e uns. As primeiras 32 são reservadas para códigos tais como o do retorno do carro e o do retrocesso, usados para controlar a exibição na tela e as impressoras. As 96 restantes denominam-se códigos imprimíveis porque todas elas, com exceção da primeira e da última — reservadas para o espaço e para a operação de apagamento —, produzem caracteres visíveis.

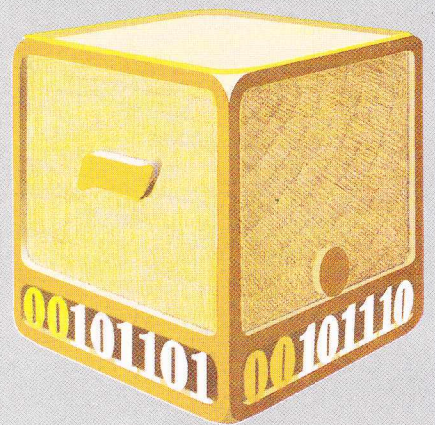
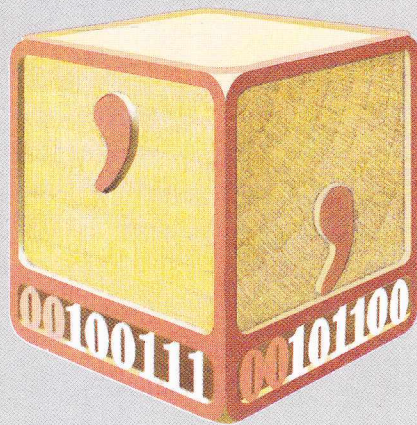
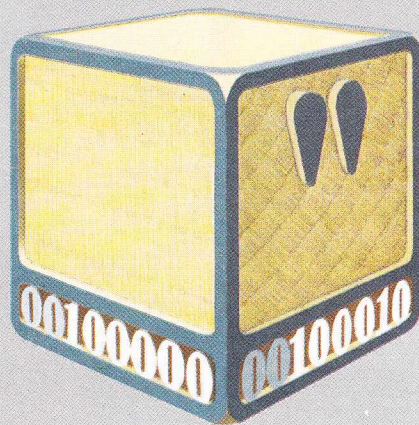
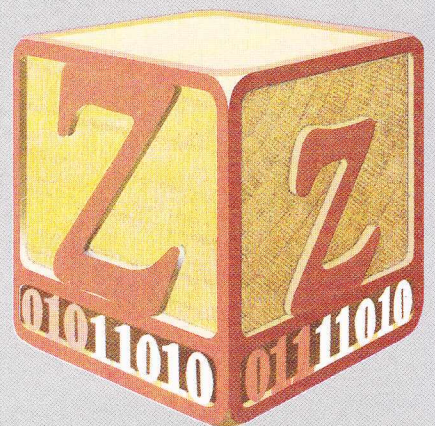
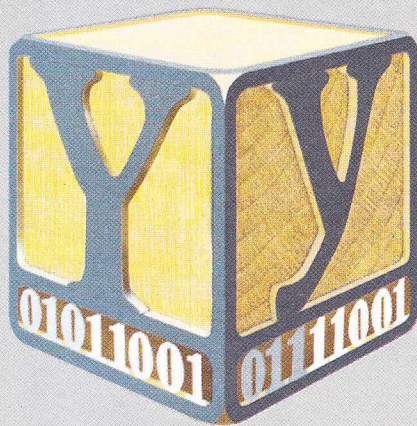
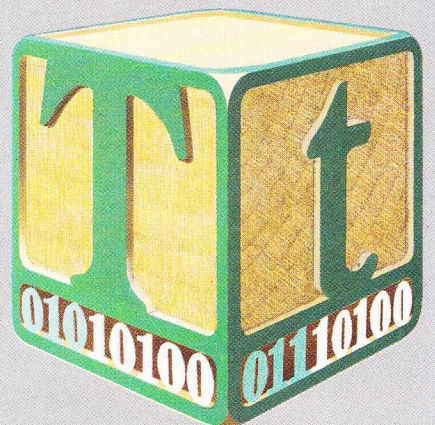
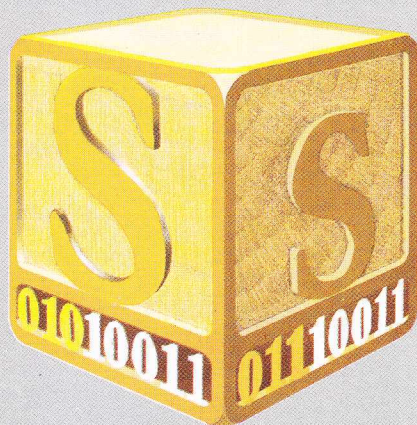
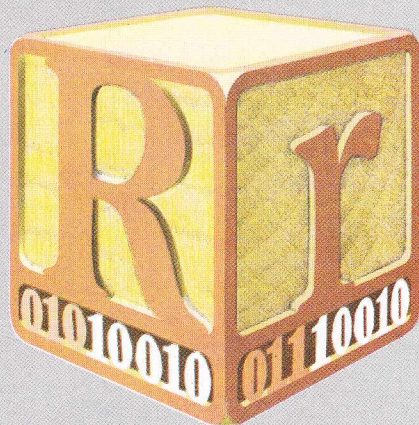
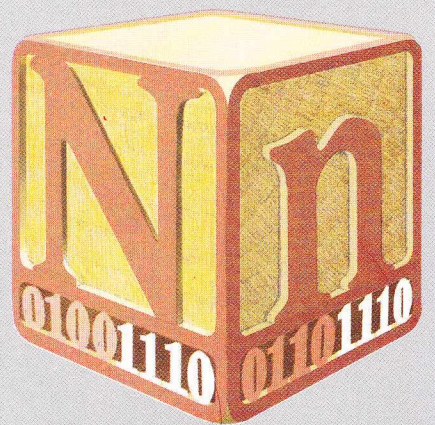
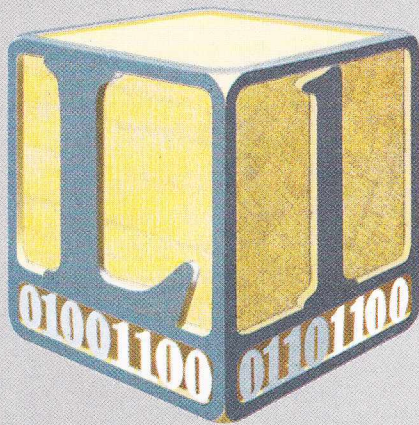
O ASCII é construído de modo que certos bits assinalem um aspecto da informação ("esta é uma letra maiúscula" ou "este é um caractere numérico"), ao passo que os bits restantes especificam qual a letra e qual o caractere numérico. Por exemplo, o código ASCII para a letra maiúscula A é o decimal 65, que traduzido em binário fica 01000001. O a minúsculo, em ASCII, é o decimal 97, ou o binário 01100001; a diferença está nos três bits mais à esquerda. Os cubos ilustrados nestas duas páginas e nas duas seguintes apresentam os números de código ASCII que correspondem a um caractere alfanumérico específico (A, B, C ou 1, 2, 3, por exemplo).



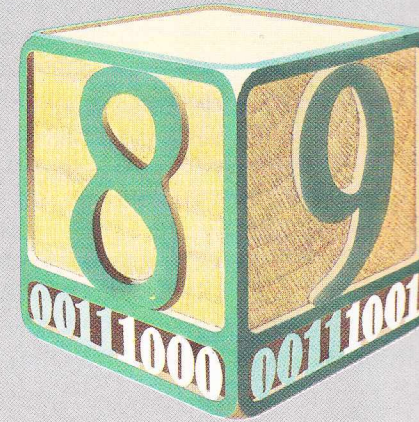
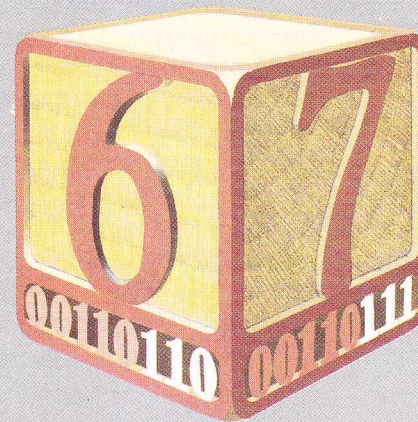
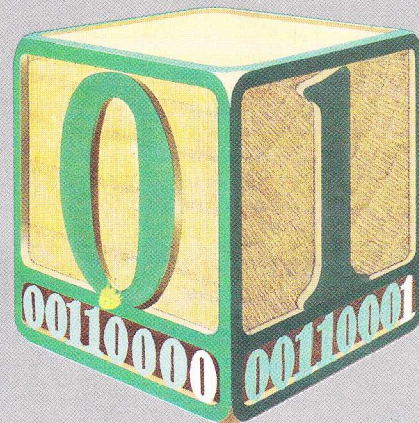
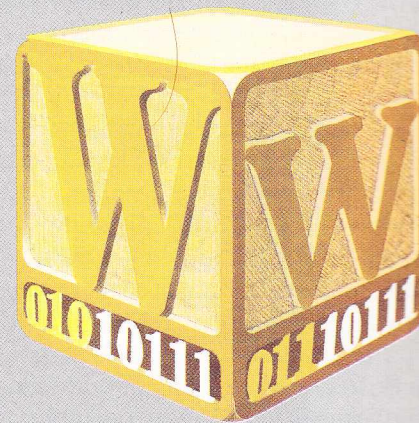
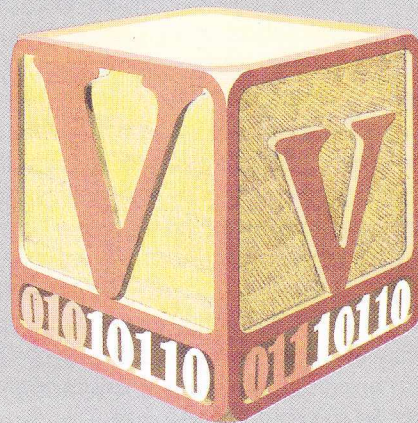
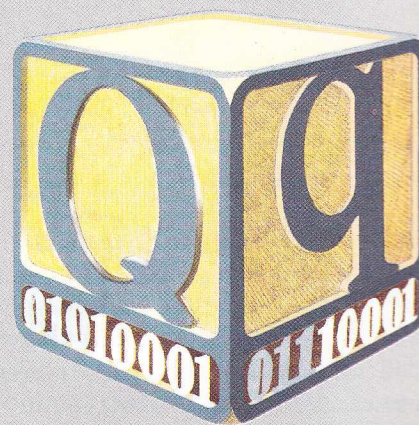
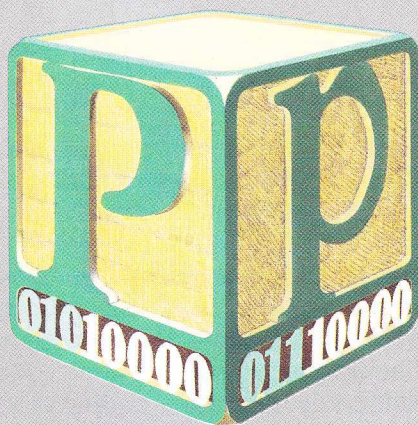
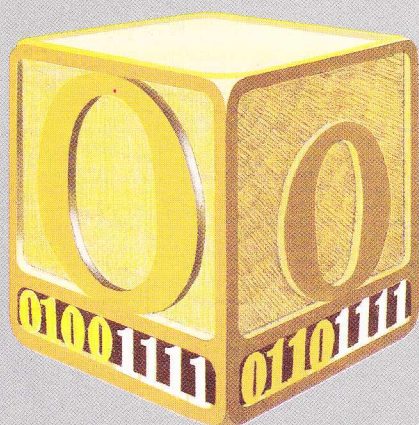












Além de representar as letras do alfabeto e os algarismos do sistema decimal, o Código Padrão Norte-americano para Intercâmbio de Informações também representa os sinais de pontuação e as funções de controle de um teclado convencional do tipo máquina de escrever, algumas das quais são mostradas nos cubos à esquerda. Numa das faces de um deles (*fileira de baixo, extrema esquerda*) não aparece nenhum caractere ou símbolo, pois o número ASCII 00100000 serve para inserir um espaço em branco.



interessado em lógica que na ciência da eletricidade. Embora desenhasse, mais tarde, um circuito lógico rudimentar usando eletricidade, o dispositivo nunca foi construído.

### A TEORIA LIGADA AO MUNDO REAL

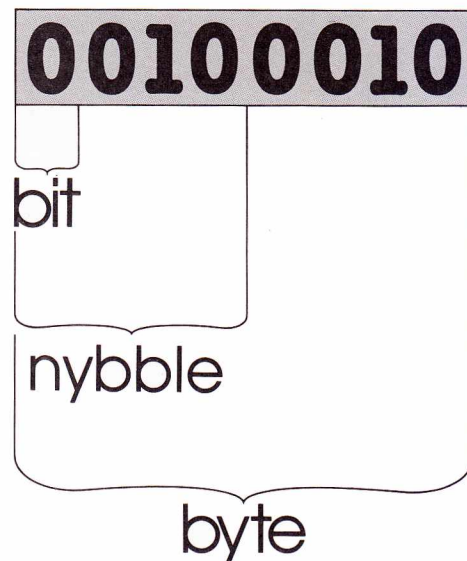
No entanto, introduzindo a álgebra booleana em cursos universitários de lógica e filosofia norte-americana, Peirce plantou uma semente que daria frutos meio século mais tarde. Em 1936, Claude Shannon, um jovem estudante norte-americano, estendeu uma ponte entre teoria algébrica e aplicação prática.

Shannon chegara havia pouco tempo ao Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), vindo da Universidade de Michigan, onde adquirira dois graus de bacharelado, um em engenharia elétrica, outro em matemática. Para conseguir um pouco mais de dinheiro no MIT, Shannon tomava conta de um dispositivo de computação mecânico, desajeitado e cheio de manivelas, conhecido como analisador diferencial, e que fora construído em 1930 por Vannevar Bush, professor de Shannon. Essa máquina teve um papel pioneiro, pois foi a primeira a resolver complexas equações diferenciais — expressões matemáticas que descrevem o comportamento de objetos móveis, tais como aeroplanos, ou de forças intangíveis, como a gravidade. Essas equações poderiam custar aos engenheiros meses de cálculos manuais. Por isso, o analisador diferencial tinha grande importância científica. Mas também apresentava grandes defeitos. Um deles era seu tamanho: nisso dava um passo para trás, na direção da Máquina Analítica de Babbage; de fato, o analisador de Bush era essencialmente um conjunto de eixos, engrenagens e fios, arranjados numa sucessão de caixas que cobria a extensão de uma grande sala. Em parte, todo esse volume era uma exigência da necessidade de computar com todos os dez dígitos do sistema decimal de numeração. Mas o tamanho não era a única desvantagem desse aparelho. Ele era também um dispositivo analógico: media movimentos e distâncias, e realizava suas computações a partir dessas medidas. A montagem de um problema exigia que se calculasse uma enorme quantidade de relações de engrenagens, o que podia demorar dois ou três dias. A mudança para um outro problema era um exercício igualmente enfadonho, que deixava as mãos do operador cobertas de óleo.

Bush sugeriu que Shannon estudasse a organização lógica da máquina para sua tese, e, à medida que o estudante lutava com as evasivas partes internas do analisador, não podia evitar que lhe ocorressem meios de aperfeiçoá-lo. Recordando-se da álgebra booleana que estudara em seu curso universitário, Shannon ficou surpreso — como Peirce também ficara antes — ao constatar sua semelhança com a operação de um circuito elétrico. Shannon percebeu as implicações que tal semelhança teria para o desenho dos circuitos elétricos num computador. Se fossem instalados de acordo com os princípios booleanos, tais circuitos poderiam expressar a lógica e testar a verdade das proposições, bem como executar cálculos complexos.

Shannon prosseguiu em suas idéias sobre números binários, álgebra booleana e circuitos elétricos, desenvolvendo-as em sua tese de mestrado, publicada em 1938. Esse brilhante ensaio, que teve um efeito imediato sobre o planejamento dos sistemas telefônicos, ocupa uma posição central no desenvolvimento da moderna ciência dos computadores. (Uma década mais tarde, Shannon publicaria outra obra seminal — *Uma Teoria Matemática da Comunicação* —, descrevendo o que desde então passaria a ser conhecido como teoria da informação. Shannon propôs um mé-

Assim como a definiu o matemático Claude Shannon, a menor unidade de informação do código binário, usada nos modernos computadores, é o bit — abreviatura para *binary digit* (dígito binário). Quatro bits são conhecidos como *nybble*; dois *nybbles* fazem um *byte*, que muitos computadores processam como uma unidade; alguns sistemas de computador processam agrupamentos mais extensos, ou “palavras”. O *byte* mostrado abaixo representa o número decimal 34.





todo para definir e medir a informação em termos matemáticos, onde escolhas sim-não eram representadas por dígitos binários — idéia que está na base das modernas telecomunicações.)

Tão grande era a necessidade de uma máquina bem-proporcionada funcionalmente e que pudesse resolver equações difíceis, que três outros pesquisadores chegaram perto das mesmas conclusões quase ao mesmo tempo.

Enquanto Shannon pensava, um professor de física chamado John Atanasoff lutava com o problema no Colégio Estadual de Iowa, nos Estados Unidos. Em janeiro de 1938, após dois anos “quebrando a cabeça” em busca de um projeto ótimo para um computador, Atanasoff decidiu basear sua máquina no sistema binário de numeração, em vez de no decimal. Ele chegou a essa conclusão um tanto relutantemente, pois temia que seus alunos e outros usuários da máquina pudessem topar com dificuldades consideráveis ao fazer a transposição do sistema decimal para o binário. Mas a simplicidade do sistema de dois algarismos, combinada com a relativa facilidade de representar dois símbolos em vez de dez nos circuitos de um computador, pareceu a Atanasoff superar o obstáculo da não-familiaridade. Seja como for, a máquina podia fazer as conversões.

Enquanto isso, em outro ponto do país, George Stibitz, matemático pesquisador do Bell Telephone Laboratories, passava por momentos singulares em seu hábito autodeclarado de “pensar inventando coisas”. Certo dia, em 1937, ele compreendeu que a lógica booleana era uma linguagem natural para os circuitos de relés eletromecânicos do telefone.

### UM IMPROVISADOR VAI TRABALHAR

Stibitz trabalhou imediatamente nessa idéia, certo de que seu patrão encontraria uso para o que quer que ele lhe trouxesse. Começou surrupiando pequenas peças de pouco valor ou que não serviam mais. Trabalhando na mesa de sua cozinha, nos fins de tarde, ele interligou velhos relés, um par de baterias, lâmpadas de lanternas, fios e tiras metálicas cortadas de uma lata de tabaco. O dispositivo resultante utilizava, para controlar o fluxo de corrente elétrica, a lógica das portas booleanas; era um circuito eletromecânico que podia efetuar adição binária. Foi o primeiro desse tipo construído nos Estados Unidos. Hoje, o circuito somador binário (páginas 42 e 43) constitui um dos tijolos básicos de todo computador digital.

Durante os dois anos seguintes, Stibitz e um engenheiro especialista em computadores chamado Samuel Williams desenvolveram um dispositivo que podia subtrair, multiplicar e dividir, bem como somar números complexos. Stibitz deu à sua máquina o nome de Calculadora de Números Complexos, e em janeiro de 1940 colocou-a para funcionar no prédio da companhia, em Manhattan. Uma máquina de teletipo nas proximidades lhe transmitia sinais e recebia respostas em intervalos de segundos. Dois outros teletipos foram acrescentados em outras partes do edifício, permitindo a várias pessoas em mais de um lugar usarem o mesmo computador. Alguns meses depois, foi instalado um quarto teletipo a pouco mais de 400 quilômetros de distância, no Colégio Dartmouth de Hanover, New Hampshire. Ali, diante de uma perplexa audiência de trezentos membros da American Mathematical Society, Stibitz dirigiu uma demonstração de computação eletromecânica de controle remoto.

Todavia, mesmo antes de Shannon escrever sua tese ou Stibitz começar suas improvisações, alguém trabalhava em tranqüilo isolamento, soldando relés no estrei-



---

to apartamento que partilhava com seus pais, em Berlim. Konrad Zuse sempre fora um planejador e construtor nato. Em 1937, quando era estudante de engenharia, passou a detestar os longos e maçantes cálculos matemáticos exigidos pela profissão. Zuse começou, então, a sonhar com uma máquina que pudesse encarregar-se da desagradável tarefa. Idealmente, pensou, tal máquina poderia ser programada para executar qualquer tarefa matemática de que se necessitasse, por mais complexa que fosse. Embora não estivesse a par do trabalho de Charles Babbage, Zuse pôs-se a planejar um computador para todos os fins.

Zuse nada sabia a respeito de máquinas calculadoras, tais como o analisador diferencial. Décadas mais tarde, porém, ele observaria que isso foi, na verdade, uma vantagem: devido à sua ignorância, ele estava livre para seguir por novas direções e escolher o melhor sistema de cálculo. Depois de experimentar com o sistema decimal, Zuse decidiu usar o binário. Seu talento para progredir por esse caminho era extraordinário. Não sabia mais sobre George Boole do que sobre Charles Babbage. Mesmo assim, planejou seu computador para funcionar sob princípios semelhantes aos booleanos.

### **A CONSTRUÇÃO DO Z1**

Em 1936, Zuse deixou o emprego numa firma de engenharia e dedicou-se integralmente ao projeto, sustentado pelos amigos e usando, como local de trabalho, uma pequena mesa no canto da sala de visitas da família. Quando viu que sua máquina tomava forma e crescia, empurrou outra mesa para perto da primeira, de modo a acomodá-la. Depois deslocou suas operações para o centro da sala e, dois anos mais tarde, completava um verdadeiro labirinto de relés e circuitos.

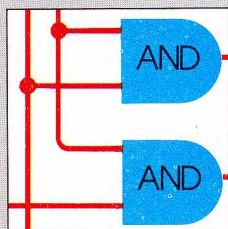
O Z1, nome que Zuse deu à máquina, tinha um teclado para introduzir problemas no computador. No fim de um cálculo, o resultado faiscava num quadro com muitas lampadzinhas. Embora satisfeito com o aparelho, Zuse tinha dúvidas quanto ao teclado, que julgava demasiado grosseiro e vagaroso. Depois de muito pensar, descobriu uma alternativa engenhosa e barata: codificar as instruções perfurando uma série de orifícios em filmes de 35 milímetros, usados. E essa máquina alimentada com filmes recebeu o apelido de Z2.

Zuse prosseguiu apaixonadamente em seu trabalho solitário com as máquinas até 1939. Quando irrompeu a Segunda Guerra Mundial, Zuse, Stibitz e outros pioneiros do computador, em ambos os lados do Atlântico, atiraram-se numa corrida desesperada para colocar seu novo tipo de arma à disposição do arsenal moderno. Além desses, a guerra estimularia outros grandes avanços na teoria e no planejamento de computadores.



# Regras simples para um mundo complexo

2



Embora a linguagem interna que governava alguns dos primeiros computadores fosse baseada no sistema decimal de numeração, praticamente todo computador, desde a década de 50, usa em vez dele o sistema binário. Com dois símbolos apenas, o sistema binário contribuiu para que o conjunto dos circuitos tivesse eficiência muito maior e custo muito mais baixo. Os microscópicos interruptores eletrônicos no processador central de um moderno computador necessitam assumir apenas dois estados — desligado ou ligado, representando zero e um — em vez dos dez necessários para um circuito decimal. A característica de dois estados do binário também corresponde ao sistema algébrico de lógica inventado no século XIX pelo matemático inglês George Boole: uma proposição é verdadeira ou falsa, assim como um interruptor está aberto ou fechado; ou um dígito binário é um ou zero.

Quando arranjados de acordo com os princípios booleanos, os interruptores criam circuitos que podem executar tanto operações matemáticas como lógicas. Na página 42 aparece um circuito aritmético chamado somador binário, que faz o que o próprio nome diz: soma números binários, seguindo regras semelhantes às da soma de números decimais.

Os computadores também são encarregados de lidar com formas de informação que, aparentemente, nada têm a ver com números ou lógica. Por exemplo, podem processar sons vindos de um microfone e reproduzi-los através de alto-falantes ou em discos especiais. Podem monitorar temperaturas em laboratórios ou manipular imagens na televisão. Em casos como esses, o computador deve, primeiro, “digitalizar” a informação — traduzi-la em dígitos binários. Para digitalizar música, por exemplo, o computador faz medições periódicas das ondas sonoras e registra cada medida como um número binário (páginas 46 e 47). Executando essas medições em intervalos precisos e extremamente curtos, um computador pode registrar a saída sonora de uma orquestra sinfônica completa — e depois reproduzir a música com uma fidelidade assombrosa, simplesmente revertendo o processo de digitalização.



DECIMAL		BINÁRIO			
CASA	CASA	CASA	CASA	CASA	CASA
10	1	8	4	2	1
	0				0
	1				1
	2			1	0
	3			1	1
	4		1	0	0
	5		1	0	1
	6		1	1	0
	7		1	1	1
	8	1	0	0	0
	9	1	0	0	1
1	0	1	0	1	0

**Leitura de números binários.** Como o sistema tem somente dois símbolos, as colunas das casas binárias aumentam por potências de dois e os números binários rapidamente convertem-se em figuras de muitos dígitos. Somando-se os valores das casas onde se encontram os dígitos 1, obtém-se o decimal equivalente. Assim, o binário 101 é 4 mais 1, isto é, o decimal 5.

## De decimal para binário e vice-versa

No sistema binário de numeração, assim como no decimal, o valor de um dígito é determinado pela posição que ele ocupa em relação aos outros dígitos em um número. No sistema decimal, o 1, em si mesmo, vale 1; colocado à esquerda de dois zeros, vale 100.

Em notação decimal, cada posição sucessivamente mais à esquerda do ponto decimal indica uma potência sucessivamente maior de 10. Em notação binária, ou de base 2, cada casa mais à esquerda posiciona uma potência mais elevada de dois:  $2^0$  é um,  $2^1$  é dois,  $2^2$  é quatro, e assim por diante. Para encontrar o equivalente decimal de um número binário basta, simplesmente, somar os valores das casas onde os dígitos 1 aparecem no número. A conversão contrária — de decimal para binário — é ilustrada abaixo.

DECIMAL	BINÁRIO
10 1	32 16 8 4 2 1
4 3	1 0 1 0 1 1

- 32	
<hr/>	
11	
- 8	
<hr/>	
3	
- 2	
<hr/>	
1	
- 1	
<hr/>	
0	

**Conversão de decimal para binário.** Para converter um número decimal em binário, primeiro subtrai-se dele a maior potência possível de dois, e continua-se subtraindo a próxima maior potência possível do resto, marcando 1 em cada coluna onde isso é possível e 0 onde não é. Para o decimal 43, há um 32, não há um 16, há um 8, não há um 4, há um 2 e há um 1 — de onde resulta o número binário 101011.



## As regras da adição

$$\begin{array}{r} 0 \\ + 0 \\ \hline 0 \end{array}$$

Como na adição decimal, 0 mais 0 em binário é ainda 0.

$$\begin{array}{r} 0 \\ + 1 \\ \hline 1 \end{array}$$

Da mesma forma, 0 mais 1 em binário é igual a 1, assim como em decimal.

$$\begin{array}{r} 1 \\ + 1 \\ \hline 10 \end{array}$$

Mas a terceira possibilidade é diferente: 1 mais 1 é igual a 0, com 1 transportado.

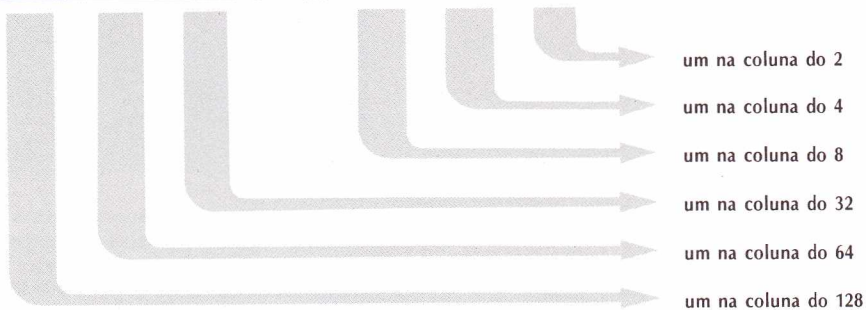
### DECIMAL

$$\begin{array}{r} 100 \quad 10 \quad 1 \\ 219 \\ + \quad 19 \\ \hline 238 \end{array}$$

### BINÁRIO

	128	64	32	16	8	4	2	1
	1	1	0	1	1	0	1	1
+				1	0	0	1	1
	1	1	1	0	1	1	1	0

Os dois grupos de figuras à esquerda são equivalentes binários e decimais. Ambos os resultados são obtidos somando-se as colunas e transportando-se os restos para a esquerda. Na primeira coluna decimal, 9 mais 9 é igual a 18, com o 8 escrito e o 1 transportado. Na primeira coluna binária, 1 mais 1 é igual a 10 (lê-se um-zero, e não dez), com o 0 escrito e o 1 transportado. Na coluna binária seguinte tem-se 1 mais 1, ou 10 (um-zero), mais o 1 transportado da coluna anterior, que dá um total de 11 (um-um) — com o 1 da direita escrito e o da esquerda transportado para a coluna posterior. As indicações abaixo servem para tirar a prova da adição binária, convertendo a soma de volta para o decimal. O dígito 1 que é transportado chama-se, sugestivamente, “vai-um”.



$$\begin{array}{r} 2 \\ 4 \\ 8 \\ 32 \\ 64 \\ + 128 \\ \hline 238 \end{array}$$

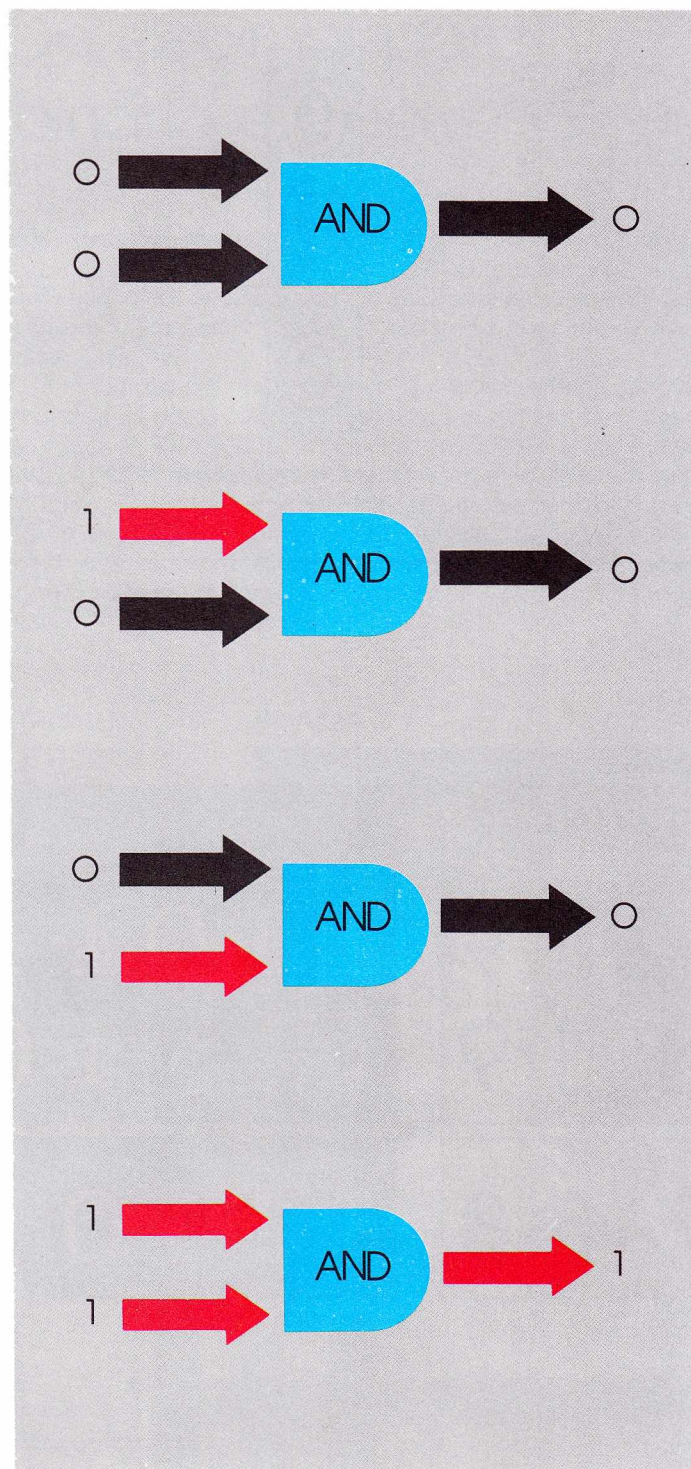


# Portas lógicas

Todos os computadores modernos utilizam um sistema de lógica inventado por George Boole. Os milhares de microscópicos interruptores eletrônicos dentro de um chip de computador podem ser arranjados em sistemas de “portas” que deixam passar resultados lógicos — isto é, previsíveis. As portas lógicas mais fundamentais, chamadas AND, OR e NOT aparecem à direita. Todas as outras portas usadas em computadores podem ser derivadas dessas três.

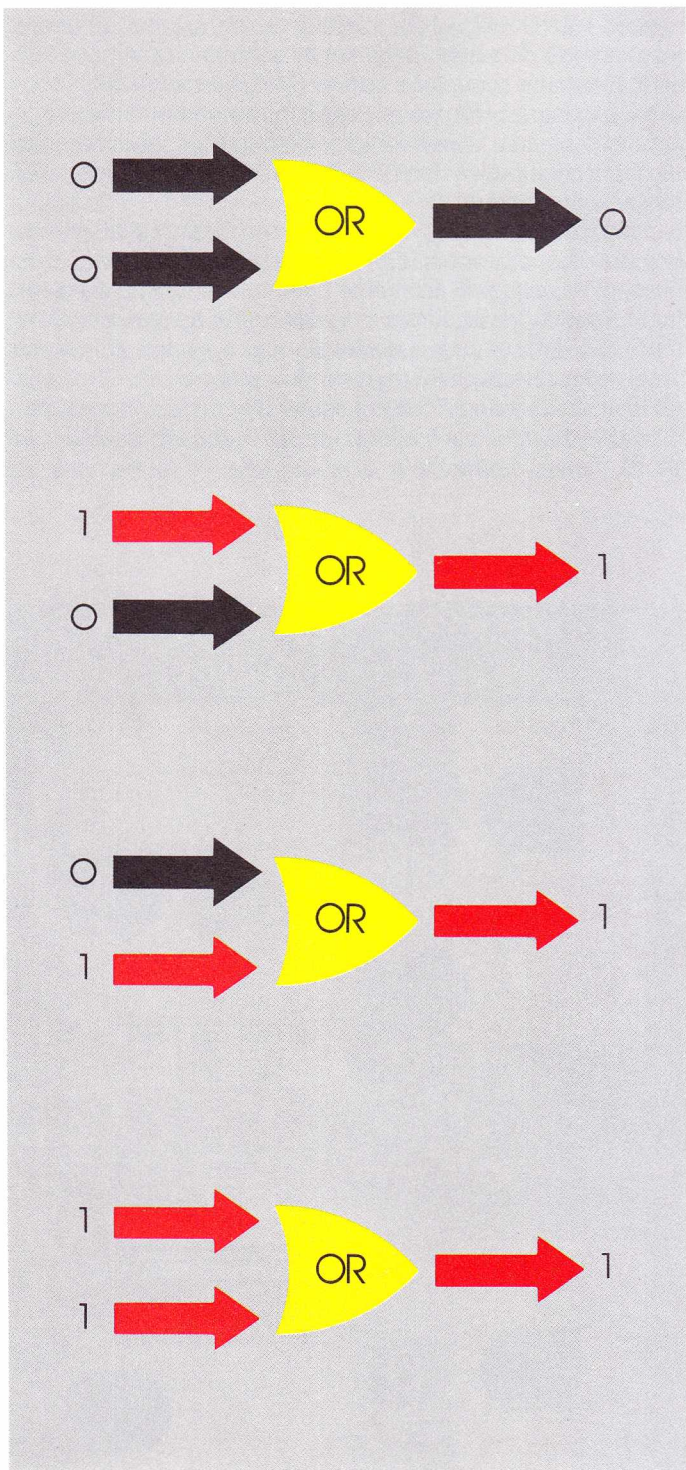
Conectadas sob várias combinações, as portas lógicas permitem ao computador executar suas tarefas com os pulsos codificados de sua linguagem binária. Cada porta lógica aceita nas suas entradas dois níveis de tensão que são fornecidos de acordo com regras predeterminadas e produz, na sua saída, um nível de tensão alto ou baixo; a tensão alta ou baixa representa qualquer conceito binário: sim-não, um-zero ou proposições VERDADEIRO-FALSO. Uma simples porta AND, por exemplo, somente deixa passar o equivalente do binário 1 se todas as entradas são equivalentes do binário 1, isto é, se são, logicamente, VERDADEIRO.

As regras que governam as portas lógicas permitem-lhes regular o movimento dos dados e instruções dentro do computador. Por exemplo, certos dados mover-se-ão de um lugar para outro somente se uma dada porta AND receber sinais VERDADEIRO em todas as linhas de entrada canalizadas para ela.

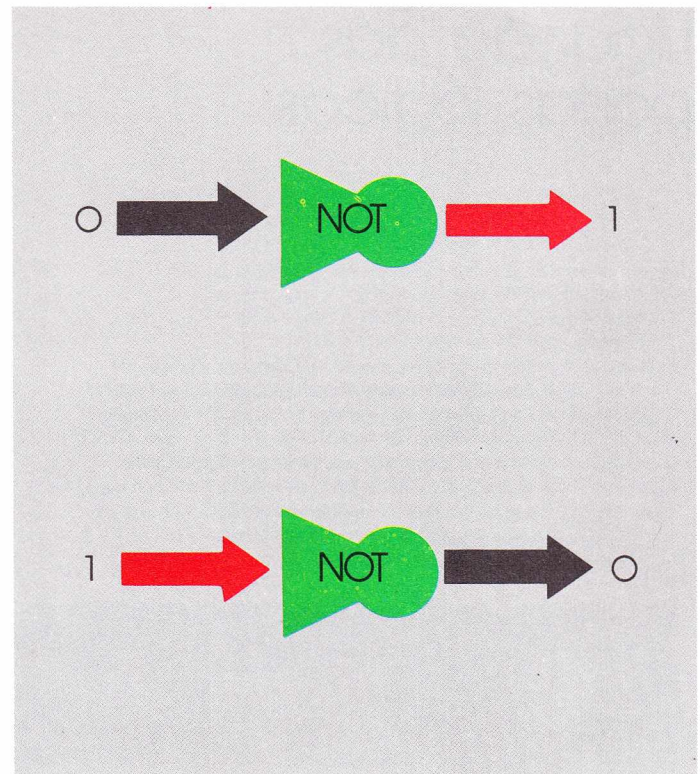


Embora cada porta seja representada com duas setas de entrada, as portas AND podem aceitar mais de duas entradas. Mas, como todas as portas lógicas, produzem apenas uma saída. A regra fundamental de uma porta AND é que ela deixará passar o equivalente do 1 binário, isto é, de um VERDADEIRO lógico, somente se todas as suas entradas forem VERDADEIRO. Nas três primeiras representações, a saída é a de 0 binário, ou FALSO, porque nenhuma tem 1 em ambas as entradas; somente a porta de baixo pode deixar passar o equivalente a 1 binário, ou VERDADEIRO.





Assim como as portas AND, as portas OR podem aceitar mais de duas entradas, mas só podem fornecer uma saída. No entanto, as portas OR são menos particulares que as portas AND. Como indica a ilustração, uma porta OR deixará passar o 1 binário, isto é, um VERDADEIRO lógico, se qualquer uma de suas entradas for VERDADEIRO, ou 1 binário. A única vez que uma porta OR produz na sua saída o equivalente do 0 binário, isto é, do FALSO lógico, é quando todas as suas entradas forem equivalentes a um FALSO lógico.



Estes triângulos com círculos nas pontas formam a representação das portas NOT, ou inversores. Ao contrário de uma porta AND ou OR, uma porta NOT aceita apenas uma entrada, que ela então reverte transformando zeros em uns e uns em zeros. As portas NOT encontram-se com frequência combinadas com as portas AND ou portas OR para formar portas NAND, ou "NOT AND", e portas NOR, ou "NOT OR". Essas portas híbridas processam os 0 ou 1 binários pelas regras das portas AND ou OR invertendo os resultados na saída.

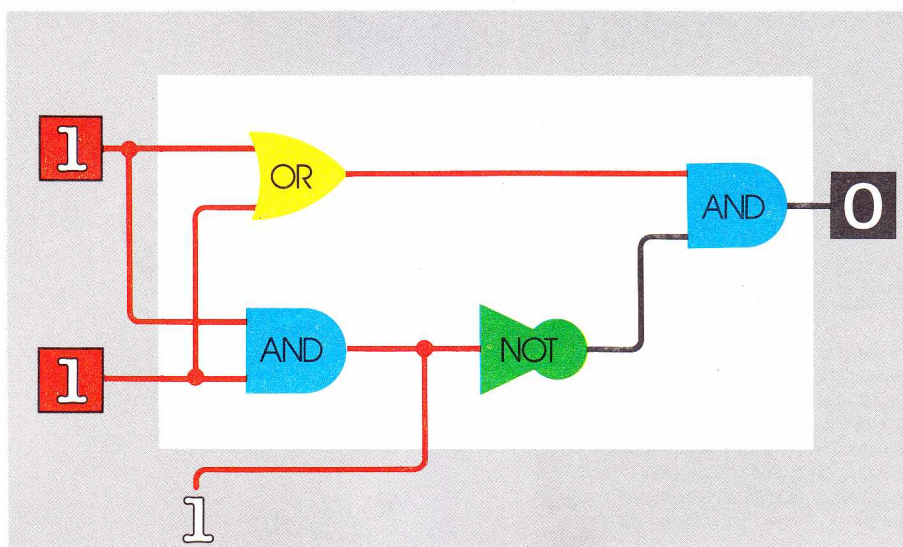
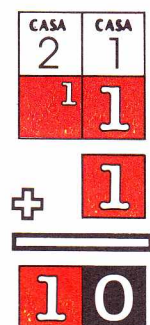
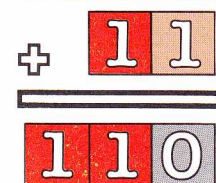
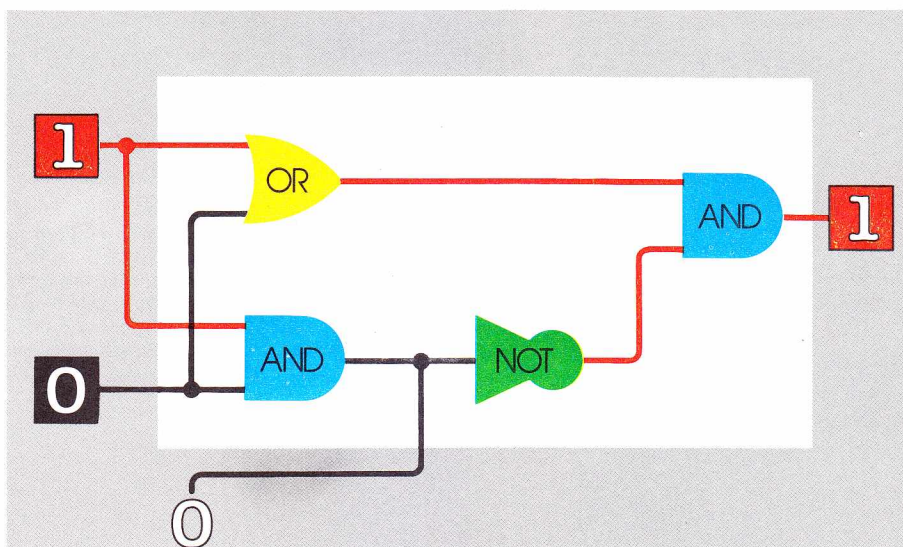
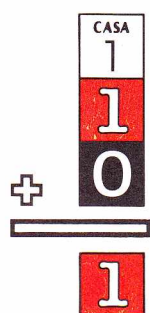


## Ligação das portas lógicas

Estes somadores parciais demonstram a adição de dois dígitos binários. No de cima, que soma 1 e 0, a porta OR deixa passar um 1, e a porta AND fornece um 0. Então, a porta NOT inverte o 0 da porta NAND para um 1, que com o 1 da porta OR entra pela segunda porta AND. Esta fornece um 1 como saída, já que nas suas duas entradas tem-se 0. O somador de baixo segue o mesmo procedimento para somar 1 e 1, com um 1 transportado.

As portas AND, OR e NOT mostradas nas páginas anteriores combinam-se de várias maneiras para formar circuitos eletrônicos chamados somadores parciais (*abaixo*) e somadores completos (*página ao lado*), que permitem ao computador executar adição binária. Convenientemente dispostos, esses engenhosos dispositivos podem também ser usados para subtração, multiplicação e divisão.

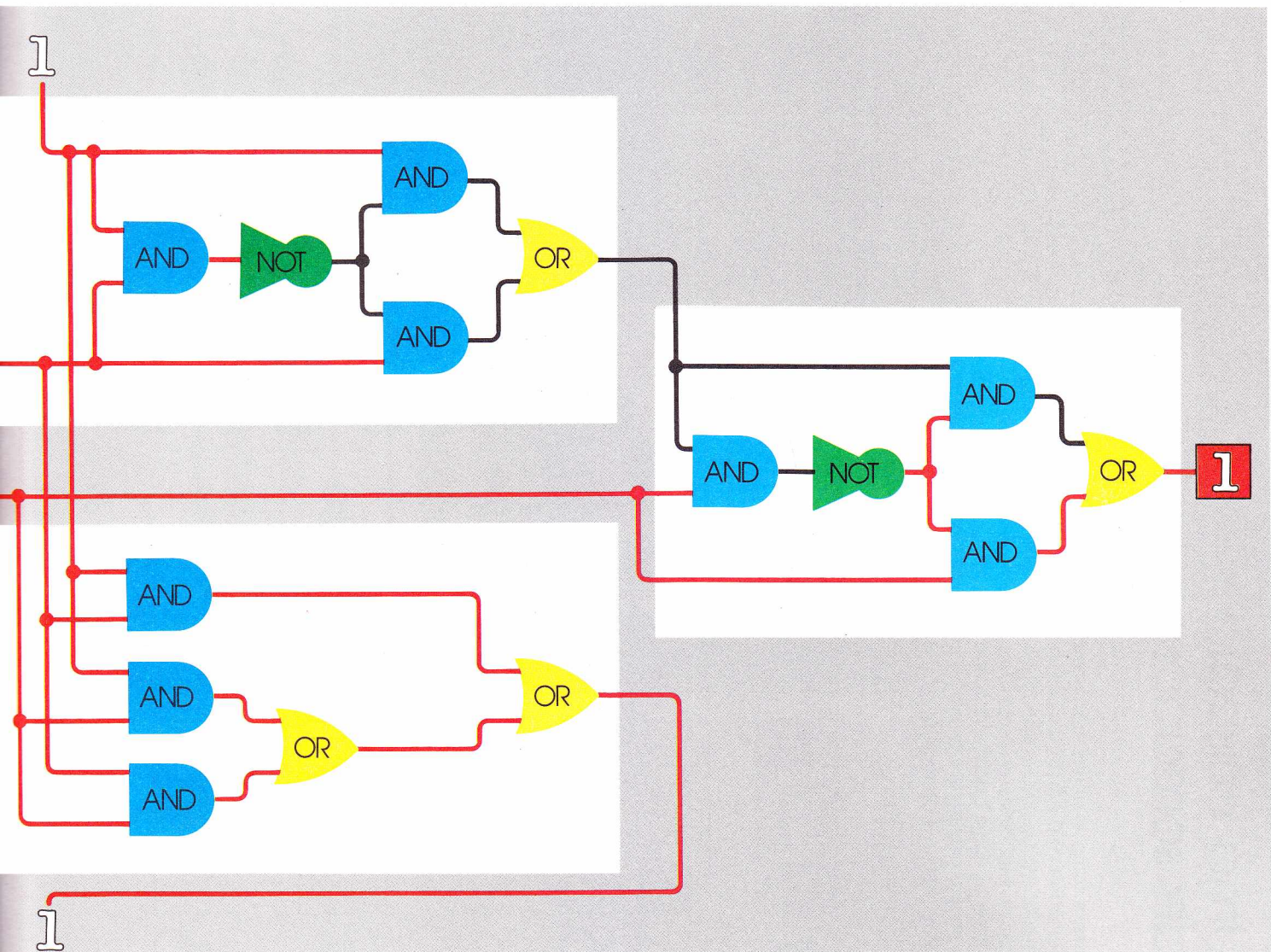
O mais simples desses circuitos é o somador parcial, que pode somar dois dígitos binários, deixando passar o resultado, com o resto. Mas não pode acomodar um terceiro dígito, proveniente de uma soma prévia, sendo, por isso, usado apenas na primeira posição de uma cadeia de adição lógica, onde a coluna dos 1 está, com certeza, livre do resto de outra coluna. Um somador total, ao contrário, pode manipular dois dígitos binários mais um dígito do tipo "vai-um", e pode ser usado em qualquer lugar da cadeia de adição.





Não há nenhuma combinação de elementos lógicos que constitua um somador parcial ou total adequado. Podem-se dispor as várias portas lógicas de muitas maneiras diferentes. (Uma porta OR, por si mesma, responde por 3/4 do que um somador parcial faz, uma vez que ela deixa passar um 0 quando ambas as entradas são 0, e um 1 quando qualquer uma das entradas é 1. Infelizmente, a porta OR também deixa passar um 1 quando ambas as entradas são 1, em vez de deixar passar 0, com um 1 transportado.) Para todos os propósitos lógicos e matemáticos, o arranjo deve deixar passar um 1 ou um 0 quando puder. Os diagramas abaixo ilustram dois esquemas simples. Os fios que transportam o nível alto de tensão, ou o binário 1, são vermelhos, e os que transportam o nível baixo de tensão, ou o binário 0, são pretos. As intersecções de fios — onde a corrente de uma entrada é canalizada para duas ou mais portas — são indicadas por pontos.

É necessário um somador total para manipular um dígito “vai-um” gerado por uma adição na coluna mais à direita e somá-lo com dois dígitos da coluna onde se vai realizar a operação. Neste exemplo, as portas estão dispostas em três seções para tornar mais claro o processo. A de cima recebe o dígito “vai-um” da coluna anterior e o dígito 1 da soma, fornecendo na sua saída um 0 binário. Este é transferido para a seção da direita, e aí é processado com o outro dígito 1 da soma. Esta seção fornece o 1 binário. A seção de baixo recebe os dois dígitos da soma e o dígito “vai-um”, fornecendo um 1, que será o “vai-um” da próxima coluna.



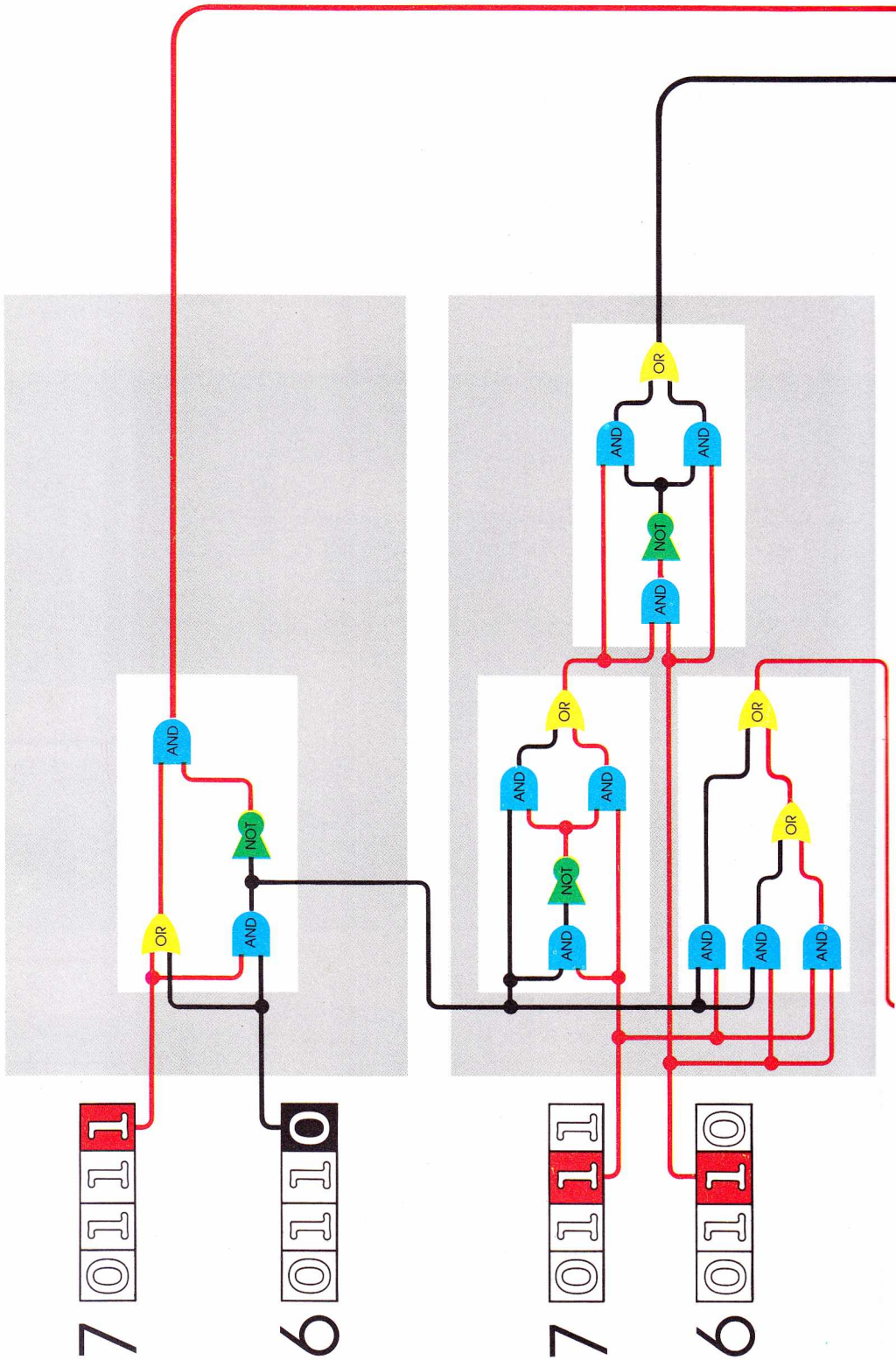


# Uma cascata de somadores

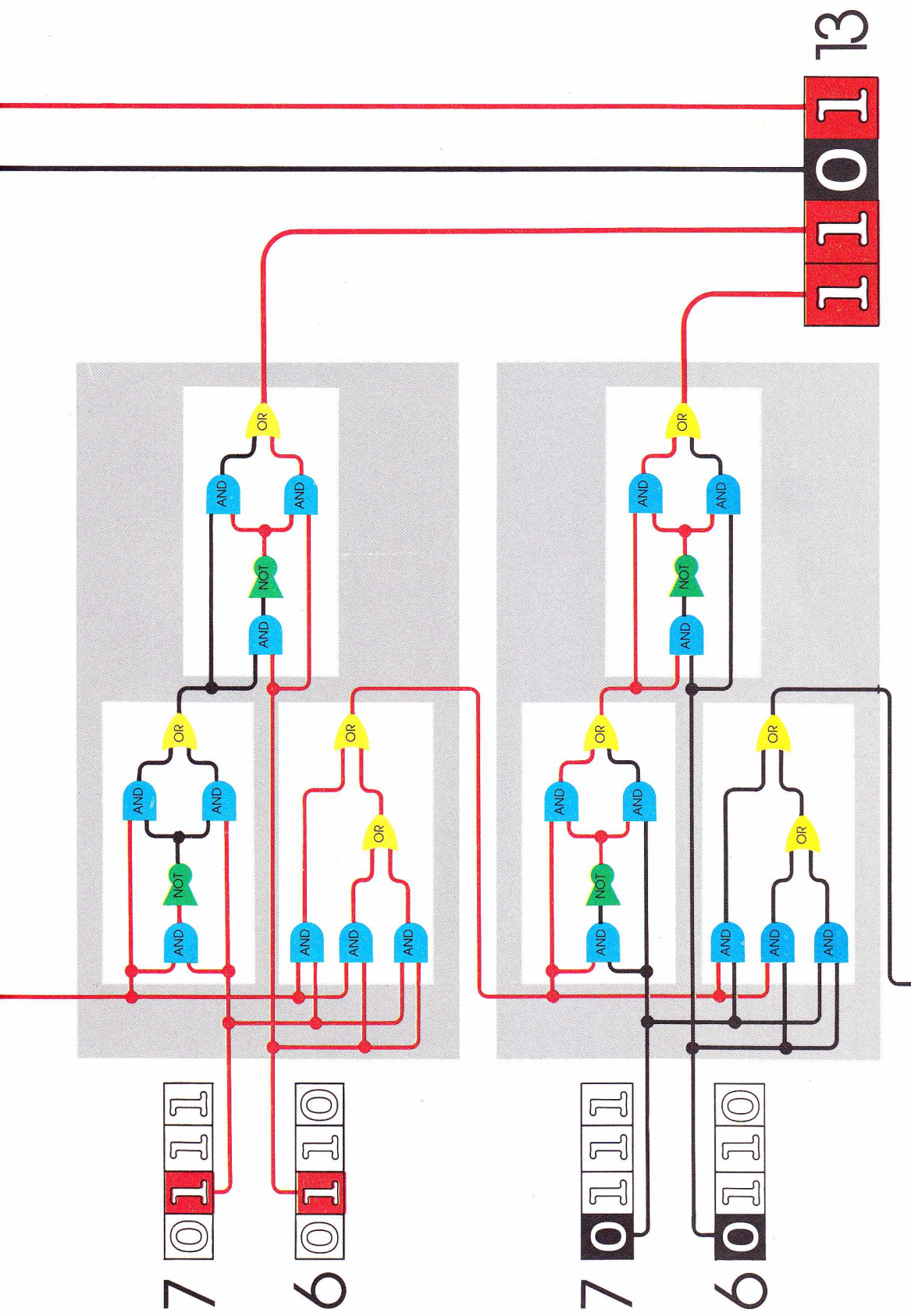
Assim como as portas lógicas combinam-se em somadores, os somadores individuais também podem-se ligar, formando o somador em cascata — dispositivo com um somador para cada par de bits. Neste exemplo, dois números de quatro bits são somados numa cascata de quatro somadores. O primeiro é um somador parcial para os bits de ordem mais baixa, que podem gerar, mas nunca receber, um dígito “vai-um”.

CASA	8	4	2	1	CASA
7	0	1	1	1	1
+6	0	1	1	0	
	1	1	0	1	13

A adição de números binários e decimais equivalentes produz resultados equivalentes, inclusive transportes para a coluna seguinte. Assim, como 7 equivale ao binário 0111 e 6 equivale ao binário 0110, a soma de 7 e 6 — 13 — equivale à soma de 0111 e 0110, isto é, ao binário 1101.







Nesta cascata, cada um dos quatro somadores começa com um diferente conjunto de entradas. O somador parcial no topo adiciona 1 e 0 para obter 1, sem nenhum transporte (isto é, sem nenhum dígito "vai-um"). O primeiro somador total soma dois dígitos 1, obtendo um 0 e um dígito "vai-um". O somador total seguinte soma dois dígitos 1 e o dígito "vai-um" que provém do somador anterior, obtendo 1 e mais um dígito "vai-um". O último somador combina um par de dígitos 0 com este último "vai-um", obtendo 1. O resultado é, assim, 1101, ou 13. Em cada caso onde é gerado um transporte, o dígito "vai-um" transportado cai, ou "cascateia", para o somador seguinte.



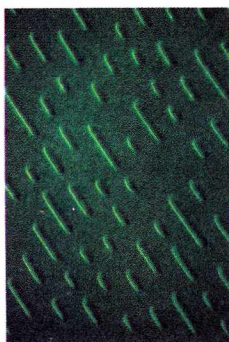
# Música por números

Como todos os sons, a música é feita de ondas de ar comprimido que causam vibrações ao baterem no tímpano do ouvido ou no diafragma de um microfone. Num microfone para amplificar ou gravar, o diafragma móvel modula uma corrente elétrica, criando um fluxo análogo do som. Isto é, o diafragma gera correntes cujas flutuações de tensão correspondem às flutuações de pressão das ondas sonoras. Os dispositivos de gravação convencionais armazenam o padrão ondulatorio em fita magnética ou numa trilha contínua sulcada sobre um disco. No entanto, durante o processo de gravação, variações no fornecimento de energia e na temperatura podem afetar a forma do padrão ondulatorio, o que diminui a precisão da reprodução.

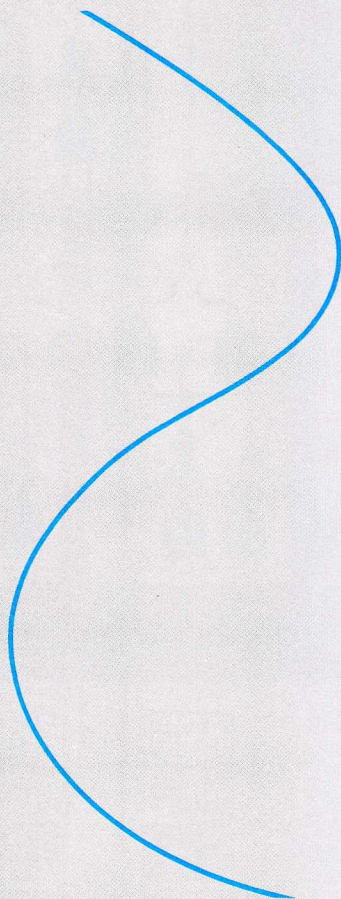
Com o advento da assim chamada gravação digital, a simplicidade do "ligado-desligado" do código binário é usada para obter fidelidade quase perfeita de um som ao vivo. Gravações a um processo denominado "amostragem e quantização", um dispositivo de gravação digital converte a saída de um microfone em pulsos codificados de eletricidade. A uma taxa de milhares de vezes por segundo, um circuito no dispositivo de gravação grava a tensão gerada pelo microfone, isto é, amostra essa tensão; outro circuito mede cada amostra e lhe dá um valor decimal, que é então traduzido para a forma binária. Reproduzir o padrão ondulatorio torna-se, assim, apenas uma questão de reconverter números binários em tensões precisas, que acionam os alto-falantes do sistema de som.



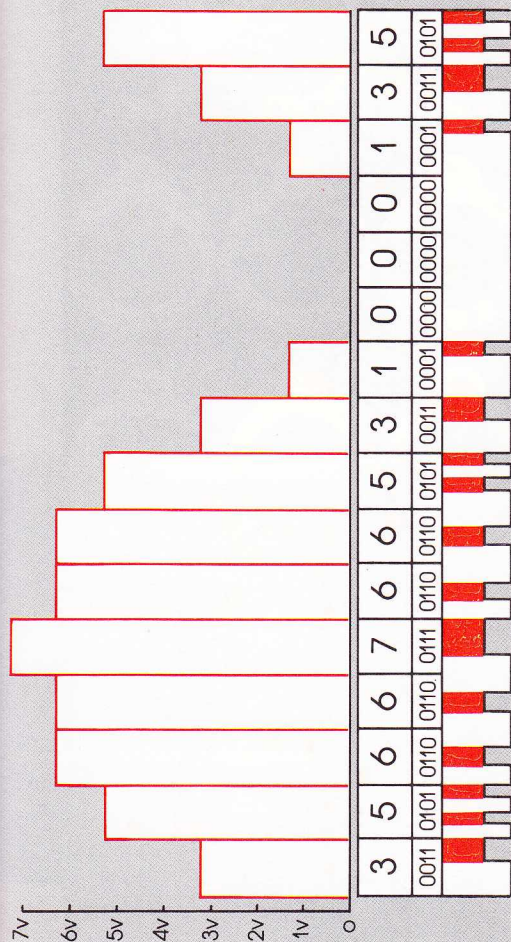
Num disco digital, ou compact disc, a informação (isto é, o som) é armazenada em círculos concêntricos de fendas e espaços (à esquerda). No toca-discos, um feixe de laser faz a leitura das fendas como zeros e dos espaços refletidos como uns. Circuitos eletrônicos então convertem esse fluxo de dígitos em música, através de uma série de passos como os ilustrados abaixo.



**Passo 1.** Um ciclo completo de uma onda sonora é o ponto de partida para o processo de digitalização, simplificado aqui para maior clareza. A onda mostrada poderia constituir-se numa nota pura — por exemplo, um dó médio, a nota produzida por um diapásão ajustado para vibrar a uma frequência de 262 ciclos por segundo. Para fazer uma gravação digital, pode-se supor que sejam extraídas 172 amostras de cada um desses ciclos. Como é mostrado abaixo, cada amostra registra uma tensão elétrica medida em unidades decimais.

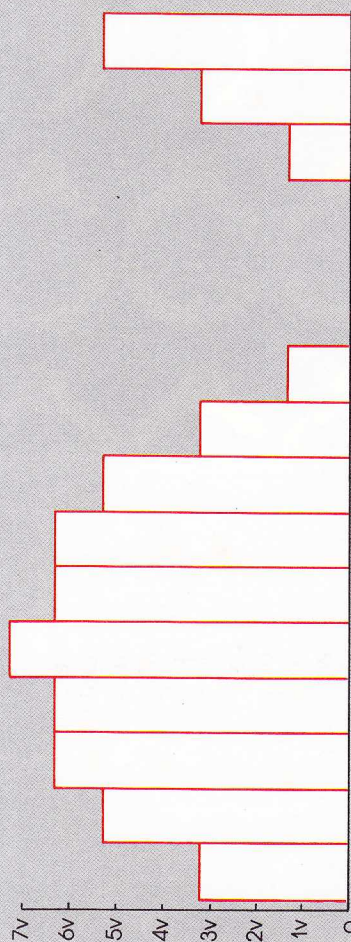
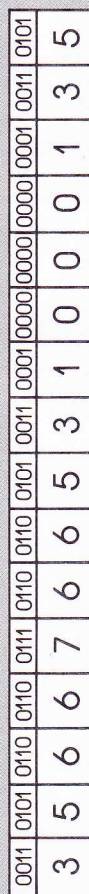






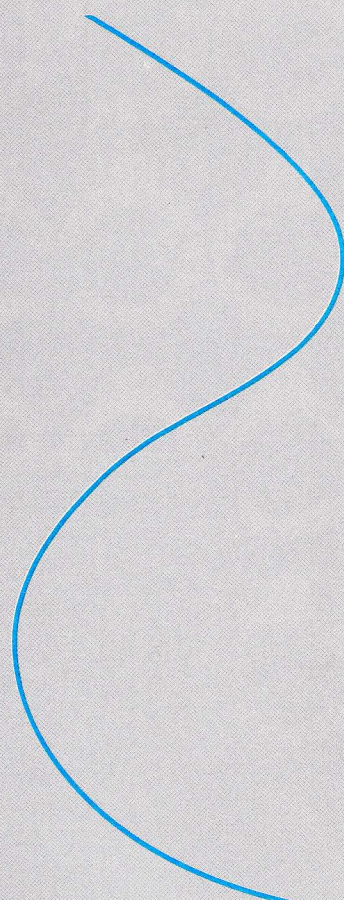
**Passo 2.** Toma-se, a cada segundo, um total de 262 vezes 172, ou 45064 amostras de cada canal do estéreo. Somente 16 das 172 amostras por ciclo são ilustradas aqui. A tensão de cada amostra é então medida pelo assim chamado circuito de quantização, que faz a leitura em código binário. O código para cada amostra tem geralmente 16 bits de comprimento; para simplificar, cada "palavra" binária aparece aqui apenas com quatro bits.

**Passo 3.** Depois que as amostras foram quantizadas, ou convertidas em código binário, o conjunto dos bits passa a ser considerado como um "trem de pulsos", com os uns, ou estados "ligado", representados no gráfico por retângulos vermelhos, pequenos, e os zeros, ou "desligado", representados por retângulos brancos, maiores. Esse trem de pulsos elétricos "ligado-desligado" guia o feixe de luz do laser de gravação, que registra sobre o disco a informação digital na forma de fendas, no caso de 0 binário, e espaços, no caso de 1 binário.



**Passo 4.** Durante a reprodução, outro laser, este no toca-discos digital, lê as fendas e espaços sobre o disco como os zeros e uns do código quantizado da música. Os números são então reconvertidos para amplitudes discretas de tensão.

**Passo 5.** Finalmente, um filtro especial chamado circuito de alisamento da saída funde os passos discretos das amostras de tensão numa onda lisa bastante próxima da onda original. Essa forma de onda filtrada, introduzida nos amplificadores de saída, é o que o ouvinte escuta através dos alto-falantes.









# Progresso em tempo de guerra

3

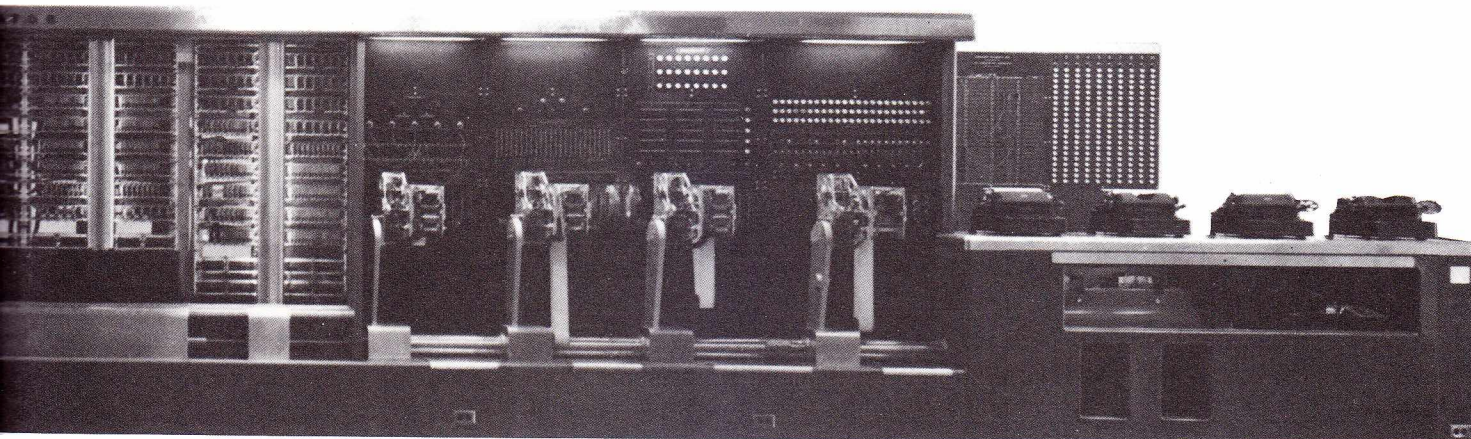
No final de 1941, pouco depois que os Estados Unidos entraram na Segunda Guerra Mundial, o presidente da International Business Machines Corporation (IBM) enviou um telegrama à Casa Branca. À semelhança de muitos outros executivos de corporações naquela época de emergência nacional, Thomas J. Watson ofereceu-se para colocar as instalações de sua companhia à disposição do governo durante a guerra.

Foi um sincero gesto patriótico, mas o velho e astuto empresário também sabia que tinha pouca escolha. Uma guerra generalizada significava uma mobilização sem precedentes da indústria e da ciência, para a fabricação de armas convencionais e o desenvolvimento da tecnologia necessária às não-convencionais.

Mas Watson tinha outras coisas em mente. Dois anos antes de os japoneses atacarem Pearl Harbour, ele havia investido 500 000 dólares da IBM no plano audacioso de um jovem matemático da Universidade de Harvard, chamado Howard Aiken. Aiken, que ficara frustrado com o gigantesco número de cálculos exigido para sua tese de doutoramento, desejava ir além das classificadoras e calculadoras então disponíveis e construir um computador programável para todos os fins, do tipo que Charles Babbage imaginara.

Logo depois do ataque a Pearl Harbour, Aiken foi chamado para o serviço ativo na Marinha, onde se distinguiu por desarmar, sozinho, um novo tipo de torpedo alemão. Mas Watson prontamente interveio junto às autoridades, alardeando o ainda embrionário potencial de computador para calcular as trajetórias das balas de canhão, e conseguindo fazer com que Aiken fosse destacado para um serviço especial na instalação da IBM em Endicott, Nova York.

Interruptores como estes — 420 ao todo — eram ajustados manualmente para introduzir os valores constantes exigidos nos cálculos que usavam o sistema decimal, efetuados pelo primeiro computador norte-americano controlado por programa. Completada em 1943 e denominada Mark I, essa máquina pioneira, com cerca de 15 metros de comprimento, era envolvida por uma caixa de vidro e de aço inoxidável brilhante, de desenho moderno, e estava instalada num laboratório da Universidade de Harvard (abaixo).





---

Com a bênção da Marinha e o dinheiro e apoio de engenharia da IBM, Aiken começou a construir a máquina a partir de conceitos não-testados do século XIX e da tecnologia comprovada do século XX. Simples relés eletromecânicos serviam como dispositivos de comutação ligado-desligado, e fitas perfuradas forneciam instruções, ou um programa, para manipular os dados. Aiken, diferentemente de seus contemporâneos John Atanasoff e George Stibitz, não percebera as vantagens do sistema binário de numeração, de modo que os dados tomaram a forma de números decimais codificados, que eram introduzidos nos cartões perfurados da IBM.

Surpreendentemente, o desenvolvimento do Mark I, como o dispositivo veio a ser chamado, enfrentou poucas dificuldades. No começo de 1943, foi testado em Endicott e, depois, enviado a Harvard, onde se tornou o centro de uma série de choques entre o inventor e seu patrono.

Tanto Aiken como Watson costumavam agir a seu próprio modo. Eles se desentenderam primeiramente com relação à aparência da máquina. Com cerca de 15 metros de comprimento e 2,5 metros de altura, o Mark I continha nada menos que 750 000 partes, unidas por meio de aproximadamente 80 400 metros de fios. Aiken queria deixar expostas as partes internas, de modo que os cientistas interessados pudessem inspecioná-las. Watson, sempre atento à imagem social da IBM, insistia para que a máquina fosse alojada num invólucro de vidro e aço inoxidável brilhante.

Watson prevaleceu nesta e em outras questões, mas Aiken vingou-se quando o Mark I foi apresentado à imprensa em Harvard, em agosto de 1944. Ele mal mencionou o papel da IBM no projeto e não disse uma palavra a respeito de Tom Watson, que, obviamente, ficou furioso.

Pouco depois, Watson alugou a máquina para a Marinha, que a usou para resolver difíceis problemas balísticos sob a supervisão de Aiken. O Mark I podia manipular — ou “triturar” — números de até 23 dígitos. Podia somá-los ou subtraí-los em 3/10 de segundo, e multiplicá-los em três segundos. Tal velocidade, embora apenas um pouco mais rápida que a imaginada por Babbage, era sem precedentes. Num só dia, a máquina podia efetuar cálculos que antes exigiam seis meses completos.

O Mark I continuaria suas reverberantes tarefas matemáticas em Harvard ao longo de dezesseis anos completos. Todavia, a despeito dos longos e sólidos serviços que prestou, não foi o sucesso que Tom Watson esperava. Outros pesquisadores — alemães e ingleses, bem como norte-americanos — estavam abrindo aos computadores caminhos mais promissores. De fato, o Mark I era obsoleto antes mesmo de ser construído.

Konrad Zuse apontou o caminho na Alemanha. Em 1941, cerca de dois anos antes de o Mark I triturar seus primeiros números, e logo após o desenvolvimento de seus modelos de teste Z1 e Z2, Zuse completou um computador operacional: um dispositivo controlado por programa e baseado no sistema binário. Designada como Z3, essa máquina era muito menor que a de Aiken e de construção muito mais barata.

Tanto o Z3 como o Z4, seu sucessor, eram usados para resolver problemas de engenharia de aeronaves e de projetos de mísseis. Zuse também construiu vários computadores para fins especiais. Mas, num certo aspecto, o trabalho de Zuse foi impedido pelo governo alemão.

Em 1942, ele e seu colega Helmut Schreyer, um engenheiro eletricitista austríaco, propuseram-se construir um computador radicalmente diferente. Ambos queriam



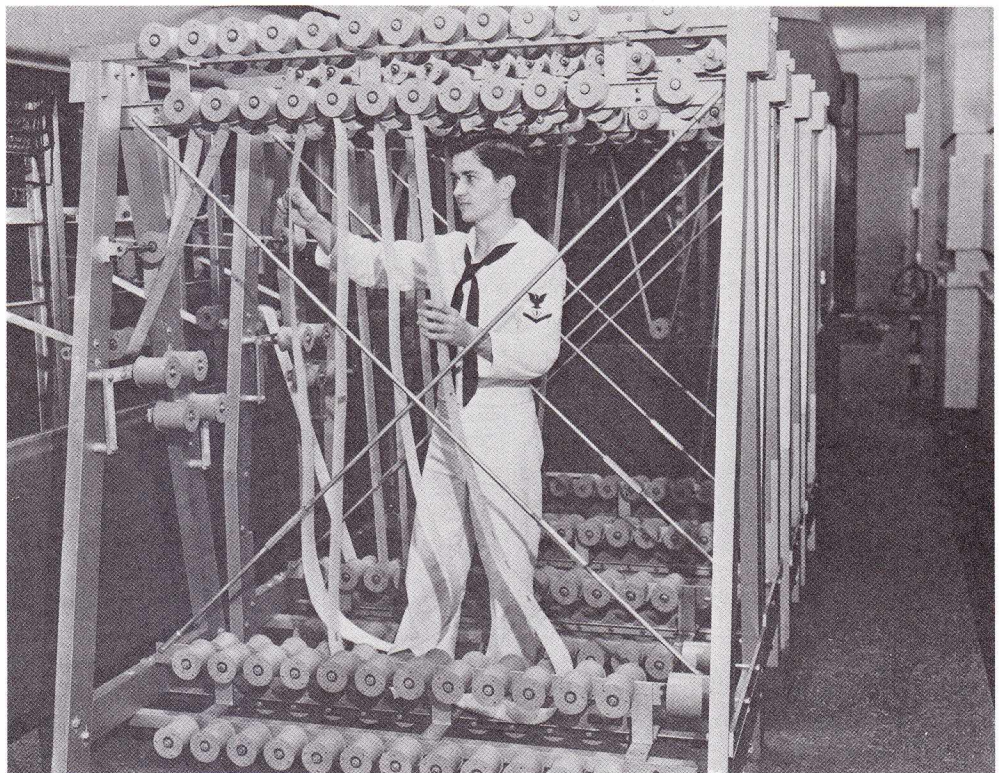
replanejar o Z3 de modo que usasse válvulas eletrônicas em vez de interruptores eletromecânicos de relé. Ao contrário dos comutadores eletromecânicos, as válvulas não têm partes móveis; elas controlam a circulação da corrente apenas por meio de tensões elétricas. A máquina que Zuse e Schreyer conceberam operaria mil vezes mais depressa que qualquer outra que os alemães tinham na época.

A proposta, porém, foi recusada. A guerra ainda estava no começo, e Hitler achava-se tão convencido de uma vitória rápida que ordenou o embargo de todas as pesquisas científicas, exceto daquelas a curto prazo. “Eles perguntaram quando as máquinas funcionariam”, relembra Zuse. “Dissemos que em cerca de dois anos. Eles responderam que até lá nós teríamos ganhado a guerra.”

Uma das aplicações potenciais que Zuse e Schreyer citaram para seu computador de alta velocidade era quebrar os códigos que os ingleses usavam para se comunicar com os comandantes no campo. Ninguém sabia disso naquela época, mas os ingleses também estavam desenvolvendo uma máquina justamente com esse propósito.

O projeto britânico prosseguia sob a mais alta prioridade, como parte de um notável esforço de ruptura de códigos, conhecido como Ultra e liderado por um grupo de pesquisadores brilhantes e excêntricos, de engenheiros a professores de literatura, reunidos em Bletchley Park, perto de Londres. Entre eles havia um matemático chamado Alan Turing.

Teórico audacioso, proveniente da Universidade de Cambridge, Turing era, talvez, o mais estranho e, certamente, o mais bem-dotado de todos os integrantes do grupo. Simpático e com longos cabelos, usava roupas amarrotadas e costuma-



Envolvido por um conjunto de armações e polias, um marinheiro acompanha o funcionamento do Mark I, em seu voraz apetite pela fita de papel perfurada. Após o cumprimento de seu dever em tempo de guerra — os cálculos de complexas tabelas balísticas —, o Mark I foi instalado em Harvard, ali ficando durante mais quinze anos, às voltas com tabelas matemáticas e execuções de projetos classificados, que iam de modelos econômicos a desenhos de circuitos de computador.



va defender pontos de vista não-convencionais, não negando, por exemplo, seu ateísmo ou sua homossexualidade. Tinha uma “gagueira estridente”, admitia sua própria mãe, “e uma risada semelhante a um cacarejo de galo, que conseguia irritar os nervos até mesmo de seus amigos”.

Algumas das idéias de Turing tomaram forma nas máquinas construídas em Bletchley Park. Primeiro foi a vez de uma série de dispositivos quebradores de códigos, que empregavam relés eletromecânicos, como aqueles utilizados por Konrad Zuse em Berlim, George Stibitz, no Bell Laboratories, e Howard Aiken, em Harvard. Essas máquinas trabalhavam, essencialmente, por tentativa e erro, explorando as combinações de símbolos no código germânico até que fosse descoberta alguma espécie de transliteração inteligível. Mas, no final de 1943, colocou-se em operação uma série de máquinas muito mais ambiciosas, o Colossus. Em vez de relés eletromecânicos, cada uma das novas máquinas usava 2 000 válvulas eletrônicas — a mesma tecnologia e, por coincidência, mais ou menos o mesmo número de válvulas que Zuse propusera para o dispositivo que não lhe permitiram desenvolver.

Milhares de mensagens inimigas interceptadas diariamente eram introduzidas no

## Modelagem da máquina do futuro

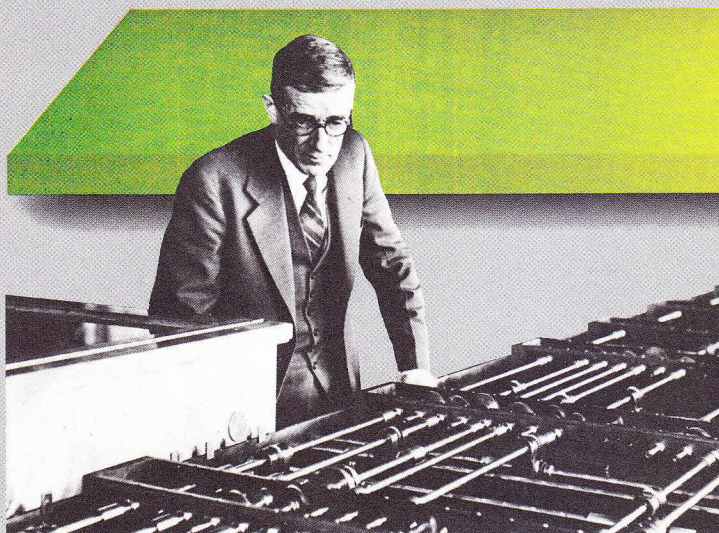
Em torno de 1930, os cientistas começaram a fazer progressos significativos no sentido de inventarem uma máquina que executasse operações complexas. Alguns de seus avanços mais importantes estão assinalados ao longo da linha de tempo que começa abaixo.

Enquanto trabalhavam, testando teorias e improvisando circuitos eletrônicos, esses ho-

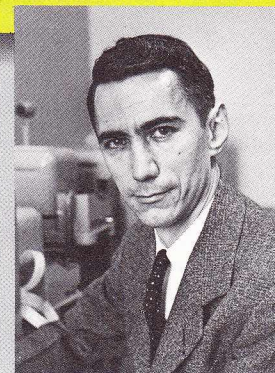
mens pioneiros podiam apenas sonhar com a revolução do computador, que viria depois deles. Porém, na eleição presidencial de 1952 seria revelado um vislumbre do futuro: tendo à sua disposição somente 7% do número de votos, um computador chamado UNIVAC (página 55) predisse o resultado da eleição com uma margem de erro de apenas poucos votos.



1936  
Alan Turing publica seu artigo seminal *Sobre os Números Computáveis*.



1930  
O analisador diferencial de Vannevar Bush anuncia a moderna era do computador.



1936  
Numa tese que representa um marco, Claude Shannon mostra a conexão entre lógica simbólica e circuitos elétricos.



Colossus por uma via semelhante à que Alan Turing concebera: como símbolos perfurados numa argola de fita de papel. A fita era inserida numa máquina de leitura foteletrica, que a explorava repetidas vezes, à taxa espantosa de 5 000 caracteres por segundo, comparando a mensagem cifrada com códigos conhecidos até conseguir encontrar uma coincidência. Cada máquina tinha cinco dessas leitoras, o que lhe permitia processar o número surpreendente de 25 000 caracteres por segundo.

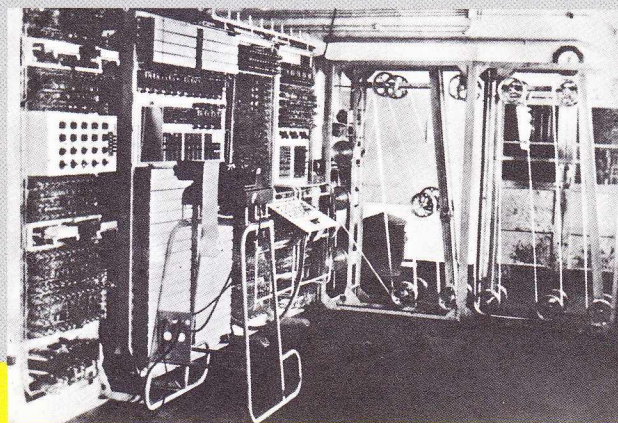
Do outro lado do Atlântico, em Filadélfia, as exigências da guerra estavam dando origem a um dispositivo mais próximo, em espírito e função, à máquina universal teórica de Alan Turing. O Computador e Integrador Numérico Eletrônico, ou ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), assim como o Mark I, de Howard Aiken, nasceu da necessidade de resolver problemas balísticos. Mas acabou comprovando-se capaz de executar diversas tarefas.

### A GÊNESE DE UM COMPUTADOR UNIVERSAL

Desde o início da guerra, o Laboratório de Pesquisas Balísticas do Departamento de Guerra, no Campo de Manobras do Exército em Aberdeen, Maryland, trabalha-



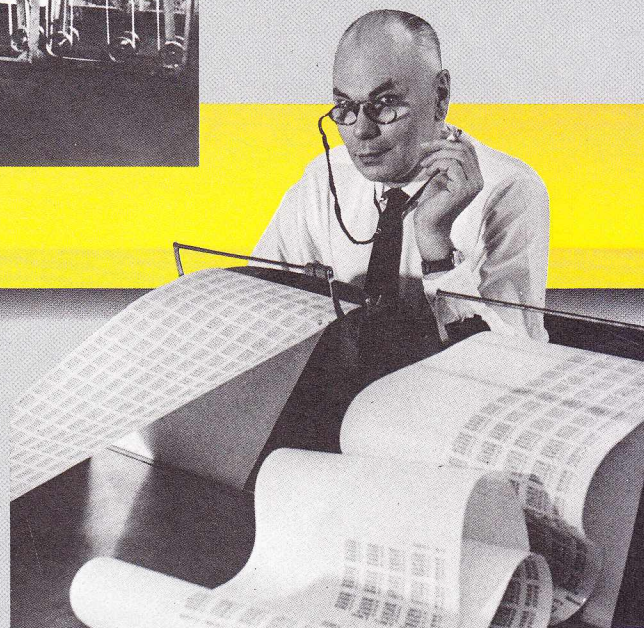
**1937**  
Trabalhando em sua mesa de cozinha, George Stibitz constrói um somador binário.



**1943**  
O Colossus entra em ação para quebrar códigos alemães ultra-secretos.



**1941**  
Konrad Zuse planeja e constrói o primeiro computador de múltiplo uso.



**1944**  
Howard Aiken, planejador do Mark I, vê sua máquina entrar em operação.



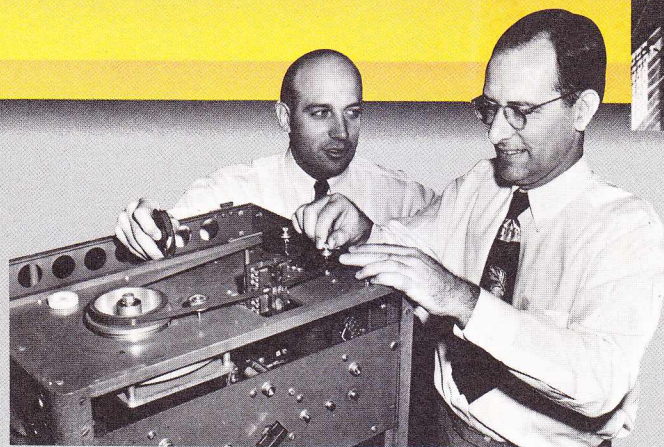
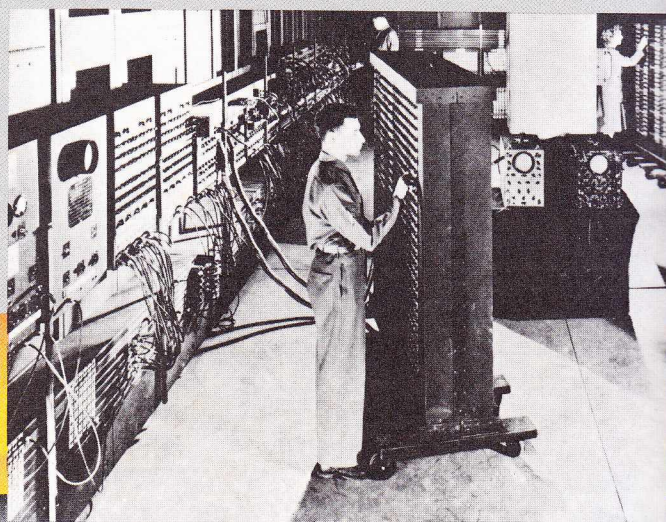
va na preparação de tabelas de tiro de artilharia, para atiradores em campo. Essas tabelas eram essenciais, capacitando as guarnições de canhões a ajustarem sua mira de acordo com o alcance e altitude do alvo, e sob condições variáveis de vento e temperatura. Mas exigiam longas e enfadonhas cadeias de cálculos — não inferiores a 750 diferentes multiplicações para uma única trajetória, e apresentavam pelo menos 2 000 trajetórias por tabela. Esses cálculos foram acelerados, até certo ponto, pela instalação de um analisador diferencial (página 52). Mas o dispositivo só fornecia números aproximados, que tinham de ser refinados por pelotões de operadores humanos, usando calculadoras convencionais de mesa.

À medida que o esforço de guerra se acelerava, o laboratório, cada vez mais, perdia terreno em seu programa. Por isso, estabeleceu um sistema auxiliar de computação na vizinha Escola Moore de Engenharia, da Universidade de Pensilvânia. A escola também possuía um analisador diferencial, mas dois membros da equipe dessa escola, John W. Mauchly e J. Presper Eckert, acreditavam que seria possível conseguir algo melhor.

Mauchly, um físico com interesse especial por meteorologia, há muito sonhava com um dispositivo que lhe permitisse aplicar métodos estatísticos à previsão do



1945  
John von Neumann  
delineia os elemen-  
tos críticos de um  
sistema de  
computador.



1946  
J. Presper Eckert e  
John Mauchly reve-  
lam ao mundo o  
ENIAC, primeiro  
computador digital  
eletrônico de grande  
escala.



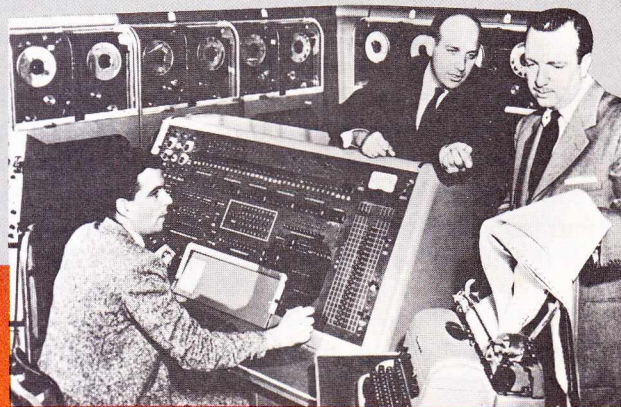
tempo. Antes da guerra, ele havia improvisado contadores digitais simples, que utilizavam válvulas eletrônicas. Mas também é possível que seu interesse em computação eletrônica fosse estimulado pelo trabalho de John Atanasoff, no Estado de Iowa. Em junho de 1941, Mauchly passou cinco dias na casa de Atanasoff, onde viu um protótipo grosseiro de um computador eletrônico de trezentas válvulas, que Atanasoff e seu colega Clifford Berry estavam construindo.

Qualquer que fosse a influência de Atanasoff — e isso posteriormente tornar-se-ia uma questão de disputa legal —, foi Presper Eckert quem pôs Mauchly a trabalhar. Doze anos mais moço que Mauchly, Eckert era um gênio em engenharia. Construiu um rádio a cristal, colocando-o num lápis, quando tinha somente 8 anos. Como Mauchly disse mais tarde, Eckert convenceria-o “de que as coisas com as quais eu sonhava eram possíveis”.

Em agosto de 1942, Mauchly escreveu um memorando de cinco páginas, onde esboçava uma proposta, sua e de Eckert, para um computador de alta velocidade, que usaria válvulas eletrônicas. Submeteu-o à Escola Moore, onde, inadvertidamente, extraviou-se. No entanto, poucos meses depois, o tenente Herman Goldstine, que representava o vínculo técnico entre o Exército e a escola, ouviu falar da idéia.



1947  
John Bardeen, William Shockley e Walter Brattain inventam o transistor.



1952  
O locutor radiofônico Walter Cronkite usa um computador UNIVAC para prever os resultados de uma eleição presidencial.



1951  
LEO, o primeiro computador comercial, é completado.

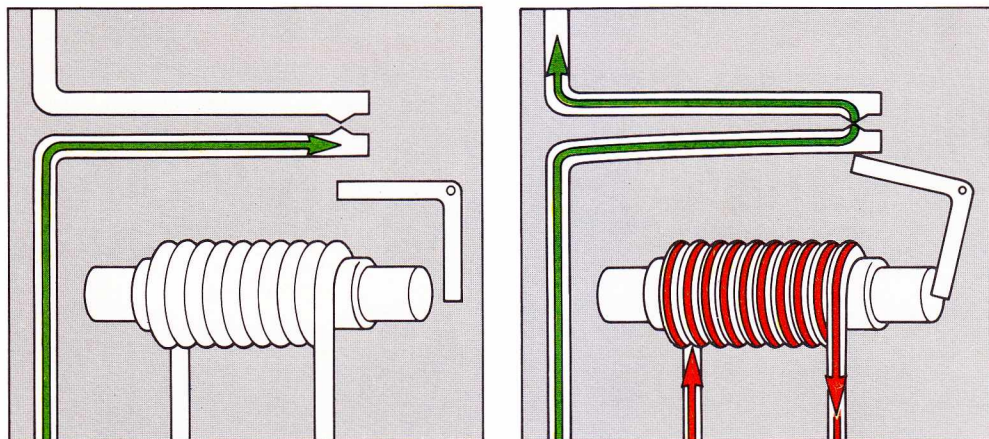




Nessa época, o Exército necessitava desesperadamente de novas tabelas de tiro, que solucionassem um problema urgente: artilheiros na África do Norte relatavam que, ali, o solo macio permitia um recuo não-previsível em seus canhões, o que fazia o disparo errar o alvo. Goldstine, matemático pela Universidade de Michigan antes da guerra, imediatamente compreendeu a importância do computador proposto e passou a interceder a seu favor junto a seus superiores do Exército. Em 9 de abril de 1943 — dia em que Eckert completava 24 anos — o Exército recompensou-o firmando um contrato de 400 000 dólares com a Escola Moore para a construção do ENIAC.

A própria máquina era terrivelmente complicada: projetaram-na para ter nada menos que 17 468 válvulas eletrônicas, pois os números eram manipulados na forma decimal. Mauchly preferia a familiar abordagem decimal porque, como ele mesmo dizia, desejava que “o equipamento fosse legível em termos humanos”. Mas um número tão grande de válvulas, com sua tendência para superaquecer-se e queimar, fazia crescer, como um espectro, o temor de freqüentes colapsos. Com essa quantidade de válvulas operando à taxa de 100 000 pulsos por segundo, havia 1,7 bilhão de chances a cada segundo de que uma válvula falhasse. Eckert aproveitou então uma idéia aplicada nos grandes órgãos eletrônicos, então em voga nos teatros, fazendo as válvulas funcionarem sob uma tensão menor que a necessária, o que reduziu sua taxa de falhas a uma ou duas por semana.

Em fins de 1945, quando o ENIAC estava finalmente montado e pronto para seu primeiro teste formal de resolução de problemas, a guerra terminou. Mas a natureza do primeiro teste — cálculos destinados a avaliar a praticabilidade da bomba de hidrogênio — autorizava que se continuasse dando ao computador uma importância igual, ou melhor, crescente, no pós-guerra e nos anos da Guerra Fria. O ENIAC operava com elegância, processando aproximadamente 1 milhão de cartões perfurados da IBM, no decorrer do teste. Dois meses depois, a máquina foi apresentada à imprensa. Com aproximadamente 5,5 metros de altura e 25 metros de comprimento, era mais de duas vezes maior que o Mark I de Howard Aiken. Mas a essa duplicação no tamanho correspondia uma velocidade multiplicada por mil. O ENIAC era “mais rápido que o pensamento”, escreveu então um repórter, muito impressionado.



Os primeiros computadores modernos — dentre os quais o Mark I — dependiam bastante dos contatos de relé eletromecânico, extensamente usados na época em indústria telefônica. Quando o contato estava aberto (extrema esquerda) nenhuma corrente fluía pelo circuito. Mas, quando uma corrente de baixa intensidade (vermelha) passava por uma bobina enrolada numa barra de ferro (esquerda), o campo magnético criado atraía uma das extremidades de uma articulação angular. Então, a outra extremidade pressionava, juntando-os, dois pontos de contato, o que fechava o circuito e deixava a corrente (verde) prosseguir.



### A VERSATILIDADE DOS PROGRAMAS ARMAZENADOS

Mesmo quando o ENIAC foi a público, Mauchly e Eckert já trabalhavam planejando um sucessor para o Exército. A principal desvantagem do ENIAC era a dificuldade para mudar suas instruções ou programas. A máquina só continha memória interna suficiente para manipular os números envolvidos na computação que estava executando. Isso significava que os programas tinham de ser instalados com fios dentro do complexo conjunto de circuitos. Alguém que quisesse passar do cálculo de tabelas de tiro para o planejamento de um túnel de vento teria de correr de um lado para outro da sala, como um operador de painel de controle que tivesse enlouquecido, desligando e religando centenas de fios.

O sucessor do ENIAC — denominado EDVAC, sigla para Computador Eletrônico de Variáveis Discretas (Electronic Discrete Variable Computer) — foi planejado para acelerar o trabalho armazenando tanto programas quanto dados em sua expansão de memória interna. Em vez de serem instaladas no conjunto de circuitos por intermédio de fios, as instruções eram armazenadas eletronicamente num meio material que Eckert descobriu por acaso, quando trabalhava com radar: um tubo cheio de mercúrio, conhecido como linha de retardo. Cristais dentro do tubo geravam pulsos eletrônicos que se refletiam para frente e para trás, tão lentamente que podiam, de fato, reter a informação por um processo semelhante àquele pelo qual um desfiladeiro retém um eco. Outro avanço igualmente significativo: o EDVAC podia codificar as informações em forma binária em vez de decimal, o que reduzia substancialmente o número de válvulas necessárias.

### UM GÊNIO DO CÁLCULO RÁPIDO

No final de 1944, enquanto Mauchly e Eckert lutavam com o EDVAC e seu conceito de armazenamento de programa, um consultor especial apareceu na Escola Moore para ajudar no projeto. Era John von Neumann, então com 41 anos, gigante entre os matemáticos, e que exerceria uma profunda influência no desenvolvimento dos computadores do pós-guerra.

O interesse de Von Neumann por computadores surgiu, em parte, de seu envolvimento com o altamente secreto Projeto Manhattan, em Los Alamos, Novo México, onde demonstrou matematicamente a eficiência do assim chamado método implosivo de detonar a bomba atômica. Agora ele estava estudando a bomba de hidrogênio, muito mais poderosa, arma cujo planejamento e construção requeriam prodigiosa quantidade de cálculos.

Mas Von Neumann também percebeu que o computador podia ser muito mais que uma calculadora de alta velocidade. Percebeu que se tratava, pelo menos potencialmente, de um instrumento de pesquisa científica para todos os fins. Em junho de 1945, menos de um ano após juntar-se a Mauchly e Eckert, Von Neumann preparou um memorando de 101 páginas, onde sintetizava os planos da equipe para o EDVAC. Esse documento, intitulado *Primeiro Esboço de um Relatório sobre o EDVAC*, era uma descrição magistral da máquina e da lógica sobre a qual se apoiava. Herman Goldstine, o oficial do Exército que o recrutara para o projeto, ficou tão impressionado pela maneira como Von Neumann voltava das válvulas eletrônicas e diagramas de circuitos à descrição da organização lógica, formal, do computador, que mandou tirar cópias do memorando, enviando-as a cientistas dos Estados Unidos e da Inglaterra.

Graças a essa publicação informal, o *Primeiro Esboço* de Von Neumann tornou-



---

se o primeiro documento sobre computadores digitais eletrônicos que veio a conhecer ampla circulação.

Os leitores do *Primeiro Esboço* tendiam a presumir que todas as idéias nele contidas, especialmente a proposta crítica para armazenar programas na memória do computador, foram concebidas pelo próprio Von Neumann. Poucos compreenderam que Mauchly e Eckert já falavam a respeito de programas armazenados, no mínimo durante os seis meses que precederam a entrada de Von Neumann em cena. Tampouco perceberam que Alan Turing já incorporara, em 1936, uma memória interna em sua visão de uma máquina universal. (Von Neumann, de fato, conhecia Turing e lera seu artigo clássico quando Turing passou algum tempo em Princeton, pouco antes da guerra.)

Mauchly e Eckert sentiram-se ultrajados pela atenção excessiva dirigida a Von Neumann e a seu *Primeiro Esboço*. O segredo militar os impedira de publicar artigos sobre seu trabalho, e agora Goldstine violava a segurança e dava plataforma pública a um recém-chegado. O ressentimento de Eckert por Goldstine foi tão profundo que, mais de três décadas depois, ele não entrava numa sala onde seu antigo colega estivesse presente. Não era apenas uma questão de orgulho ferido. Mauchly e Eckert previam com clareza as possibilidades comerciais de seu trabalho, e temiam que a publicação do memorando de Von Neumann os impedisse de obter patentes. Na verdade, acabaram desistindo das patentes após grandes discussões com os administradores da Escola Moore, os quais insistiam que os indivíduos não deveriam beneficiar-se da pesquisa ali realizada. Como resultado, a equipe da escola foi dissolvida.

### DESENCADEAMENTO DA COMPETIÇÃO

Mas os dois contribuíram para um irônico pós-escrito. Em meados de 1946, realizaram uma série de conferências de grande audiência sobre o computador eletrônico, na própria Escola Moore. Um dos membros que assistiam às preleções, um cientista inglês chamado Maurice Wilkes, estava particularmente intrigado pela descrição que fizeram do armazenamento do programa planejado para o EDVAC. Voltou para casa, na Universidade de Cambridge e, em 1949 — dois anos antes que ficasse pronto o EDVAC — terminou a construção do primeiro computador de programa armazenado do mundo, o EDSAC, Calculadora Automática com Armazenamento por Retardo Eletrônico (Electronic Delay Storage Automatic Calculator), que marcou o último grande passo na série de avanços decisivos inspirados pela guerra.

A era do computador tinha começado, mas qual foi o destino, em tempo de paz, dos homens cujo talento e visão, surgindo sob as pressões da guerra, anunciaram a nova era?

Konrad Zuse perdeu todas as suas máquinas, com exceção do Z4, no bombardeio aliado de Berlim. Para evitar a captura pelo Exército soviético, durante os últimos dias da guerra, uniu-se a um comboio de cientistas especialistas em foguetes e fugiu para os Alpes bávaros, transportando o Z4 num vagão. O Exército dos Estados Unidos recrutou rapidamente um dos outros cientistas do comboio, Wernher von Braun. Zuse escondeu sua máquina no celeiro de uma fazenda na Bavária, e ninguém prestou muita atenção a ela. Em 1949, começou a fabricar sucessores comerciais do Z4. O negócio prosperou, mas passaram-se quase duas décadas antes que os historiadores conferissem a Zuse e a suas máquinas feitas em casa o lugar que merecem na evolução do computador.

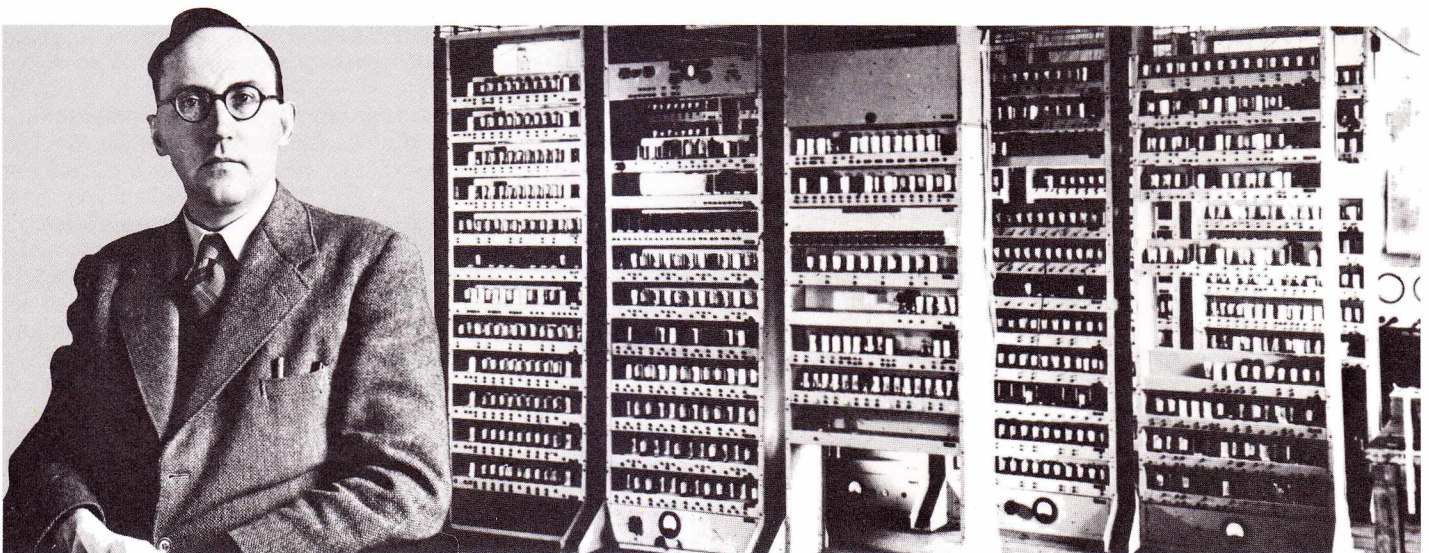


Alan Turing ajudou no planejamento de um poderoso computador, no pós-guerra; era uma máquina que incorporava um programa armazenado e outras idéias que ele concebera para sua máquina universal. O modelo piloto da ACE, ou Máquina de Computação Automática (Automatic Computing Engine), tornou-se operacional em maio de 1950. Ele poderia aperfeiçoá-lo ainda mais; suas excentricidades, porém, interpuseram-se no caminho. Turing preocupava-se cada vez mais com questões abstratas sobre a inteligência da máquina (ele até inventara um teste para determinar se os computadores podem realmente pensar) e com seus próprios e urgentes problemas pessoais. Sua homossexualidade declarada levou-o à prisão em 1952 por "grosseira indecência", a psicanálise o sentenciou e Turing fez tratamentos com hormônios. Dois anos depois, enquanto se entretinha com o que chamava de jogo da "ilha deserta", onde fabricava produtos químicos a partir de substâncias comuns de uso doméstico, Turing fez cianureto de potássio e suicidou-se.

John von Neumann juntou-se ao Instituto para Estudos Avançados, e colaborou para o desenvolvimento de vários computadores de concepção avançada. Havia, entre estes, uma máquina utilizada para resolver problemas relacionados ao desenvolvimento da bomba de hidrogênio; Von Neumann, por brincadeira, deu a ela o nome de MANIAC — Analisador, Numerador, Integrador e Computador Matemático (Mathematical Analyser Numerator, Integrator and Computer). Também participou como membro da Comissão de Energia Atômica e como presidente do comitê de consultoria da Força Aérea sobre mísseis balísticos. Ele sabia de tantas informações altamente confidenciais que, em 1957, quando se encontrava no hospital Walter Reed, em Washington, D. C., morrendo de um câncer ósseo aos 54 anos, a Força Aérea cercou-o de enfermeiros militares especialmente destacados para segurança. Sua mente brilhante estava entrando em colapso sob a tensão das dores torturantes, e o Pentágono receava que ele murmurasse segredos militares.

John Mauchly e Presper Eckert abriram sua própria firma em Filadélfia e puseram-se a criar um computador para todos os fins, destinado ao uso comercial: o UNIVAC, Computador Automático Universal (Universal Automatic Computer), uma máquina eletrônica de programa armazenado que recebia instruções de uma fita mag-

Inspirado no trabalho dos pesquisadores norte-americanos, o cientista inglês Maurice Wilkes começou, em 1949, a construção do EDSAC (embaixo, à direita), o primeiro computador operacional em grande escala planejado para armazenar seus próprios programas.





---

nética de alta velocidade em vez de cartões perfurados. Em 1950, um ano antes de o UNIVAC entrar em operação realizando o Censo dos Estados Unidos, esgotou-se o dinheiro dos sócios, que venderam então a companhia à Remington Rand. Esta, por muito tempo, fabricara apenas barbeadores elétricos e tabuladores de cartões perfurados. Nem Mauchly nem Eckert tiraram grande lucro de suas contribuições para o desenvolvimento do computador eletrônico. Num período de aproximadamente dez anos, cada um recebeu cerca de 300 000 dólares da venda de sua companhia incluindo *royalties* sobre as patentes do ENIAC. O mais duro golpe ocorreu em 1973, quando uma corte federal invalidou aquelas patentes. O juiz decidiu que, afinal de contas, Mauchly e Eckert não tinham inventado o computador digital eletrônico automático, mas aproveitaram a idéia de John Atanasoff — principalmente durante a visita de cinco dias de Mauchly a Iowa, em 1941. (Atanasoff nunca chegou a completar uma versão operacional de seu computador, embora passasse a guerra trabalhando como engenheiro da Naval Ordnance.) Mauchly negou qualquer débito a Atanasoff, e o assunto continuou sendo para ele motivo de amargura até a sua morte, em 1980.

Howard Aiken permaneceu em Harvard para desenvolver a segunda, terceira e até a quarta gerações de seu Mark I — mas sem o apoio da IBM. Tom Watson irritou-se tanto com a omissão de Aiken em reconhecer publicamente o verdadeiro papel da companhia na realização do Mark I que ordenou a seus próprios pesquisadores para construir uma máquina mais veloz, impelindo, assim, a IBM a se envolver com computadores literalmente por uma questão de vingança. Na época da morte de Watson, em 1956, aos 82 anos de idade, a IBM já ultrapassava o nível de vendas atingido pela Remington Rand, com o bem-sucedido UNIVAC de Mauchly e Eckert.



**Ábaco** Antigo dispositivo de cálculo, composto de um conjunto de pequenos discos, que deslizam ao longo de varetas, que representam colunas decimais.

**Alfanumérico** Relativo a caracteres tais como: letras, números, sinais de pontuação e símbolos gráficos usados pelo computador.

**Álgebra booleana** Álgebra semelhante, quanto à forma, à álgebra comum; utiliza em suas variáveis de proposições os estados “ligado-desligado” que fazem parte dos circuitos de computador; foi inventada pelo matemático inglês George Boole, que viveu no século XIX.

**Analogico** Relativo a uma variável física que muda de valor continuamente, como, por exemplo, a temperatura atmosférica.

**ASCII** Acrônimo de *American Standard Code for Information Interchange* (Código Padrão Norte-americano para Intercâmbio de Informações), sistema amplamente utilizado para codificar letras, números, sinais de pontuação e símbolos gráficos na forma de números binários.

**Binário** Relativo a duas condições possíveis.

**Bit** A menor unidade de informação num computador, e que pode adotar dois valores ou estados distintos: zero ou um. A palavra “bit” é contração de “binary digit” (dígito binário).

**Byte** Sequência de bits, em geral oito, tratada como unidade para computação ou armazenamento.

**Caneta óptica** Dispositivo de entrada fotossensível, em forma de caneta, que permite introduzir desenhos num computador e modificar imagens, simplesmente tocando com ele a tela do monitor.

**Chip** Placa microminiaturizada de material semicondutor (silício), onde são impressos circuitos constituídos de milhares de transistores e outros componentes eletrônicos.

**Chip de memória** Chip cujos componentes formam milhares de células, cada uma abrigando um único bit de informação.

**Circuito** Rede fechada através da qual pode fluir corrente.

**Código binário** Código que utiliza combinações de dois símbolos possíveis, como, por exemplo, 1 (um) e 0 (zero), VERDADEIRO e FALSO, ou presença e ausência de tensão.

**Computador** Aparelho programável que recebe, processa e exhibe dados.

**Computador analógico** Computador onde os dados a serem manuseados variam de forma contínua com o tempo, como, por exemplo, ao movimento de uma engrenagem ou à variação da temperatura durante o dia etc.

**Computador digital** Computador que opera com dados que variam de forma discreta (não contínua), como, por exemplo, os dígitos binários 0 e 1, em vez de basear-se na representação contínua utilizada num computador analógico.

**Cristal de quartzo** Delgada fatia de quartzo que vibra numa frequência muito uniforme, em resposta a uma corrente elétrica.

**Digital** Relativo à representação ou transmissão de dados sob a forma de dígitos, ou seja, sob a forma de sinais discretos (não contínuos).

**Dígito** Símbolo que representa um dos números não negativos menor que a base. Por exemplo, na notação decimal, um dígito é um dos números de 0 a 9, ambos inclusive, na notação binária, um dígito é um dos números 0 ou 1.

**Disco** Elemento circular geralmente feito de uma substância metálica, coberto por uma superfície magnetizável, usado para armazenar dados.

**Eletromecânico** Composto de partes elétricas e mecânicas, ou mó-

veis; os primeiros computadores, em sua maioria, eram dispositivos eletromecânicos.

**Eletrônica** Ciência dos dispositivos de estado sólido que manipulam fluxos de elétrons, como válvulas eletrônicas ou transistores.

**Entrada** Informação introduzida num computador, ou em qualquer parte dele.

**Instrução** Ordem elementar, em linguagem de máquina, dirigida à unidade central (CPU) de um computador; uma sequência dessas instruções forma um programa.

**Inversor** Elemento lógico que recebe uma única entrada e converte-a em seu estado oposto.

**Leitura** Processo pelo qual o processador central de um computador examina dados na memória ou transfere dados para ela, a partir de um meio de entrada, como o disquete.

**Linguagem** Conjunto de regras ou convenções que são usadas para comunicar informações ao computador.

**Memória** Local de armazenamento num computador; o termo só é aplicado ao armazenamento interno e não ao externo, que utiliza discos ou fitas magnéticas.

**Microchip** Nome popular do chip de circuito integrado.

**Microcomputador** Computador portátil ou de escrivaninha, baseado num microprocessador e destinado a somente um usuário; também se usa, com frequência, o nome de computador doméstico ou pessoal.

**Microprocessador** Um único chip contendo todos os elementos de uma unidade central de processamento de um computador (CPU); é, às vezes, denominado “computador num chip”.

**Nybble** Meio byte, ou quatro bits.

**Palavra** Unidade básica de armazenamento de uma operação de computador; sequência de bits — geralmente de oito a 32 — que ocupam uma só localização de armazenamento, e são processados como unidade pelo computador.

**Pastilha** Fatia delgada e circular de material semicondutor, usualmente silício, onde centenas de chips são alojados de uma só vez.

**Porta** Veja **porta lógica**.

**Porta AND** Circuito lógico que realiza a operação lógica E (AND), ou seja, só produz um sinal na saída se todos os sinais na entrada forem coincidentes e representarem uma condição verdadeira. Veja **porta lógica**.

**Porta de entrada/saída (E/S)** Usada para o correto interfaceamento entre os circuitos de um computador e os dispositivos de entrada e saída, tais como teclado e impressora.

**Porta lógica** Circuito que aceita uma ou mais entradas, e que gera uma única saída previsível dependendo da operação lógica especificada.

**Porta NOT** Veja **inversor**.

**Porta OK** Circuito lógico que realiza a operação OU (OR), ou seja, produz sinal na saída se pelo menos uma de suas entradas representar uma condição verdadeira.

**Portas** Interfaces para ligar periféricos na placa principal de um computador. Veja **porta de entrada/saída**.

**Programa** Sequência de instruções detalhadas, usada para executar alguma operação ou resolver problemas por computador.

**Programável** Capaz de responder a instruções e, assim, de realizar várias tarefas.

**Relé** Dispositivo de interrupção eletromagnética.



**Saída** Dados enviados por um computador diretamente ao usuário, ou para alguma forma de armazenamento.

**Semicondutor** Substância sólida cristalina cuja condutividade elétrica situa-se entre a de um condutor e a de um isolante.

**Silício** Elemento semicondutor, muito abundante na natureza, utilizado na fabricação dos chips dos computadores.

**Sistema de números binários** Sistema numérico que usa o dois como base e expressa números como seqüências de zeros e uns.

**Software** Instruções ou programas que permitem ao computador executar trabalho útil; contrapõe-se a hardware, o computador enquanto aparelho físico.

**Somador** Circuito que executa adição.

**Somador completo** Circuito usado para tomar dois dígitos e um dígito do tipo vai-um. Veja **somador**.

**Somador parcial** Circuito eletrônico que pode somar dois dígitos mas não um dígito do tipo vai-um. Veja **somador**.

**Tabulador** Máquina que processa cartões perfurados.

**Teleimpressora** Dispositivo semelhante à máquina de escrever, capaz de receber ou enviar dados num sistema de comunicações.

**Transistor** Componente eletrônico feito de material semicondutor usado no circuito eletrônico como interruptor ou amplificador.

**Unidade central de processamento (CPU)** Parte de um computador onde se alojam os circuitos que interpretam e executam instruções. Compõe-se de uma unidade de lógica aritmética (ALU), uma unidade de controle e uma pequena quantidade de memória.

**Vai-um** Dígito somado à coluna seguinte, num problema de adição, quando a soma dos números de uma coluna iguala ou excede a base numérica.

**Válvula eletrônica** A primeira forma de interruptor eletrônico, mais tarde substituída pelo transistor.

**Vias** Condutores elétricos que transportam sinais por todo o computador.

**Visor de cristal líquido (LCD)** Mecanismo de exibição digital, constituído de segmentos formadores de caracteres, de cristal líquido, prensados entre pedaços de vidros polarizados e refletores.

# Índice

Numerais em *itálico* indicam ilustração do assunto mencionado.

## A

Ábaco 5-6, 8, 9  
ACE (Máquina de Computação Automática) 59  
Aiken, Howard 49-50, 52, 53, 56, 60  
Analisador diferencial 34, 52, 54  
Analogicos, computadores 34, 52  
Armstrong, Neil (citação) 27  
ASCII (Código Padrão Norte-americano para Intercâmbio de Informações) 30; exemplos 26-27, 30-33  
Atanasoff, John 35, 60, 55

## B

Babbage, Charles 7-11  
Balística, usos em 50-51, 55  
Bardeen, John 55  
Berry, Clifford 55  
Billings, John Shaw 11  
Binários, sistema de números 35, 37, 38-39; código de computadores 27-29, 34-35  
Bit 34  
Boole, George 29, 34, 37  
Booleana, álgebra 29, 34, 36, 40-41; primeiros dispositivos eletrônicos 34-36  
Brattain, Walter 55  
Bush, Vannevar 34, 52  
Byron, Augusta Ada 9  
Byte, definição de 34

## C

Calculadora de Números Complexos 34-36  
Câmeras computadorizadas 16-17  
Cartões perfurados 7-12  
Circuitos elétricos dos computadores, primeiros 34-36, 51, 56  
Códigos, quebra de 51-52  
Colossus 53  
Computadores: arquitetura de Von Neumann 60; desenvolvimento e Segunda Guerra Mundial 49-60; digitais e os sistemas de números binários 34-36; e a eleição nos EUA 52, 55; marcos fundamentais de 1930 a 1944 52-53; marcos fundamentais de 1946 a 1952 54-55; precursores 6-8, 9-11; primeiro armazenamento de programa 57-58, 60; primeiro uso operacional programado 50-51. *Veja também* Microprocessadores  
Computadores pessoais *Veja* Microcomputadores  
Cristal líquido (LCD), visor de 14-15, 17



## D

Digitalização 37, 46-47  
Disco, unidades de 25

## E

Eckert, J. Presper 54-60  
EDSAC (Calculadora Automática com Armazenamento por Retardo Eletrônico) 58  
EDVAC (Computador Eletrônico de Variáveis Discretas) 58  
ENIAC (Computador e Integrador Numérico Eletrônico) 54, 56-57, 60  
Enigma 53

## G

Goldstine, Herman 56, 57  
Gráfico, computador 4, 6

## H

Hidrogênio, bomba de 57, 59  
Hollerith, Herman 10-12; tabulador de 11-12

## I

IBM: desenvolvimento 60; durante a Segunda Guerra Mundial 49-50; origens 12  
Informação, teoria da 34  
International Business Machines Corporation  
Veja IBM

## J

Jacquard, Joseph Marie 7; tear de 7

## L

Leibniz, Gottfried Wilhelm 7, 28-29; calculadora de 10  
LEO (Escritório Eletrônico de Lyon) 55  
Lógica *Veja* Booleana, Álgebra  
Lógicas, Portas 29, 34, 40-41; e somadores binários 42-45  
Lovelace, Condessa de *Veja* Byron, Augusta Ada

## M

Magnética, fita 60  
MANIAC (Analisador, Numerador, Integrador e Computador Matemático) 59  
Máquina Analítica 8-12  
Máquina de Diferenças 8-9, 10, 11  
Mark I 48-49, 50, 51, 54  
Mauchly, John 54-58; e o EDVAC 57-58; e o ENIAC 53-57, 60; e o UNIVAC 59  
Memória: linha de retardo 58  
Microcomputadores 24-25  
Microprocessadores 5, 13; aplicações 13, 14-25; nos microcomputadores 24, 25  
Monitor 25  
Música digitalizada 37, 46-47

## N

Napier, John 6; ossos de 6, 9  
Nybble, definição de 34

## O

Ônibus espacial 6

## P

Palavra 34  
Pascal, Blaise 6  
Pascaline (máquina de somar) 6-7, 9  
Peirce, Charles Sanders 29

## Q

Quartzo, cristais de 14, 15

## R

Relés 35-36, 51, 56  
Remington Rand 60

## S

Scheutz, Pehr Georg 10  
Schreyer, Helmut 51  
Shannon, Claude 34-35, 52

Shockley, William 55  
Software para microcomputadores 24  
Somadores binários 37, 42-43; cascata de 44-45  
Stibitz, George 35, 52

## T

Tabulador 10-11, 12  
Teclado 24-25  
Transistores 55  
Turing, Alan 51-53, 58-59

## U

Ultra 51  
UNIVAC (Computador Automático Universal) 52, 55, 60  
Universidade de Pensilvânia, Escola Moore de Engenharia da; e o ENIAC 56-57

## V

Válvulas eletrônicas 52, 55; e o Colossus 53, e o ENIAC 54, 56  
Von Neumann, John 54, 57-58, 60

## W

Watson, Thomas J. 49-50, 60  
Wilkes, Maurice 58, 60  
Williams, Samuel 35

## Z

Zuse, Konrad 36, 50-52, 53, 58; Z1 36; Z2 36, Z3 50-52; Z4 51, 58



**EDITOR**  
RICHARD CIVITA



**NOVA CULTURAL**

*Presidente:* Flávio Barros Pinto

*Diretoria:* Carmo Chagas, Iara Rodrigues, Pierluigi Bracco, Plácido Nicoletto, Roberto Silveira, Shoji Ikeda, Sônia Caryalho

**REDAÇÃO**

*Diretor:* Carmo Chagas

*Editora Executiva:* Stefania Crema

**COMERCIAL**

*Diretor:* Plácido Nicoletto

*Gerente Comercial:* Joaquim Celestino da Silva

*Gerente de Circulação:* Denise Mozol

*Gerente de Propaganda e Promoções:* José Carlos Mádio

*Gerente de Pesquisa e Análise de Mercado:* Wagner M. P. Nabuco de Araújo

**PRODUÇÃO EDITORIAL**

Pedro Paulo Poppovic Consultores Editoriais S/C Ltda.

*Diretor:* Pedro Paulo Poppovic

*Editora-chefe:* Elzira Arantes

*Editora:* Elisabeth Justino Carastan

*Arte:* Massumi Guibu (chefe), Sônia Regina Aversa (diagramadora)

*Projeto gráfico (capa):* OZ Desenho e Associados

*Coordenação de produção:* Sônia Maria Pimentel

*Colaboradores:* Mathias Mendes Wolff (consultoria), Newton Roberval Eichemberg (tradução), José Antonino de Andrade (preparação)

A Editora Nova Cultural Ltda. é uma empresa do Grupo CLC — Comunicações, Lazer e Cultura.

**Presidente:** Richard Civita

**Diretoria:** Flávio Barros Pinto, João Gomez, Menahem M. Politi, Renê C. X. Santos, Stélio Alves Campos

**TIME-LIFE BOOKS INC.**

**DIRETOR DA SÉRIE:** Roberta Conlan

*Programador visual:* Ellen Robling

*Editor associado (ilustrações):* Robert G. Mason

*Coordenador da série:* Caroline A. Boubin

*Pesquisadores:* Ellise Ritter Gibson, Sara Mark, Barbara Moir, Marta A. Sanchez, Judith W. Shanks

*Editores de texto:* Russell B. Adams Jr., Donald Davison Cantlay

*Assistente de programação visual:* Robert K. Herndon

*Coordenador de revisão:* Anthony K. Pordes

*Coordenador iconográfico:* Renée DeSandies

*Colaboradores especiais (texto):* Ronald H. Bailey, Sarah Brash, Michael Kurland, Charles C. Smith, Marlene Zimmerman

**CONSULTORES**

ISABEL LIDA NIRENBERG trabalha no Computer Center da Universidade Estadual de Nova York.

UTA C. MERZBACH, matemático especializado na história da ciência; Curador do Smithsonian Institution's National Museum, desde 1963.

RICHARD MURRAY, professor assistente de Ciência da Computação no Union College, em Schenectady, Nova York.

**Créditos das fotos** Os créditos das fotos e ilustrações estão separados da esquerda para a direita por ponto-e-vírgula, e de cima para baixo por travessão

Capa: Larry Sherer. 4: Etsuo Genda, cortesia Kodansha Publishing Co., Tóquio. 6: Evans & Sutherland e Aerospace Corporation. 9: The Science Museum, Londres, exceto barra, ilustração de Matt McMullen. 10, 11: The Science Museum, Londres (4); IBM, exceto barra, ilustração de Matt McMullen. 13, 15: ilustração de James Hunt/Carol Chislovsky, Inc. 16, 17: Sam Garcia/Nikon Inc.; ilustração de James Hunt/Carol Chislovsky, Inc. 18, 19: ilustração de James Hunt/Carol Chislovsky, Inc. 20, 21: ilustração de James Bandsuh, Nighthawk Studio/Carol Chislovsky, Inc. 22, 23: ilustração de James Hunt/Carol Chislovsky, Inc. 24, 25: Koala Technologies Corporation; ilustração de James Bandsuh, Nighthawk Studio/Carol Chislovsky, Inc. 29: The Bettmann Archive. 30-33: ilustração de Greg Harlin, Stansbury, Ronsaville, Wood Inc. 46: Larry Sherer, cortesia National Museum of American History, Smithsonian Institution; Sony Corporation. 48, 49: Larry Sherer, cortesia National Museum of American History, Smithsonian Institution — Paul Donaldson, cortesia Cruft Photo Lab., Harvard University. 51: APWide World. 52, 53: cortesia da Royal Society, Londres; AT&T Bell Telephone Laboratories; British Crown Copy-right, cortesia Brian Johnson, Londres — *The Boston Sunday Globe*; Alfred Eisenstaedt for *Life*; cortesia Professor Dr. Konrad Zuse, Hünfeld, Leni Iselin para *Fortune*, exceto barra, ilustração de Matt McMullen. 54, 55: Marina V. N. Whitman, Smithsonian Institution; cortesia AT&T Bell Telephone Laboratories; Sperry Corporation — APWide World, exceto barra, ilustração de Matt McMullen. 56: ilustração de Frederic F. Bigio, B-C Graphics. 59: (computador) The Archives of the Computer Laboratory, Cambridge University.





















ENTENDENDO O COMPUTADOR  
COMPARANDO OS COMPUTADORES

A REVOLUÇÃO DOS COMPUTADORES