

Outro item em que a indústria de computadores provavelmente não teria pensado é uma incompatibilidade intencional entre discos destinados aos Estados Unidos e discos destinados à Europa, e ainda outros padrões para outros continentes. Hollywood exigiu essa “característica” porque filmes novos são sempre lançados antes nos Estados Unidos e então despachados para a Europa quando os vídeos começam a sair do circuito comercial nos Estados Unidos. A ideia era garantir que as locadoras de vídeo não pudessem comprar vídeos nos Estados Unidos muito cedo, o que reduziria as receitas de filmes novos nos cinemas da Europa. Se Hollywood estivesse no controle na indústria de computadores, teríamos disquetes de 3,5 polegadas nos Estados Unidos e disquetes de 9 cm na Europa.

2.3.11 Blu-ray

Nada fica parado no negócio de computadores, certamente não na tecnologia de armazenagem. O DVD mal acabara de ser lançado e seu sucessor já ameaçava torná-lo obsoleto. O sucessor do DVD é o **Blu-ray** (raio azul), assim chamado porque usa um laser azul, em vez do vermelho usado por DVDs. Um laser azul tem comprimento de onda mais curto do que o laser vermelho, o que permite um foco mais preciso e, portanto, depressões e planos menores. Discos Blu-ray de uma face contêm cerca de 25 GB de dados; os de dupla face contêm cerca de 50 GB. A taxa de dados é mais ou menos 4,5 MB/s, o que é bom para um disco óptico, mas ainda insignificante em comparação com discos magnéticos (cf. ATAPI-6 a 100 MB/s e wide Ultra5 SCSI a 640 MB/s). Espera-se que, com o tempo, o Blu-ray substitua CD-ROMs e DVDs, mas essa transição ainda levará alguns anos.

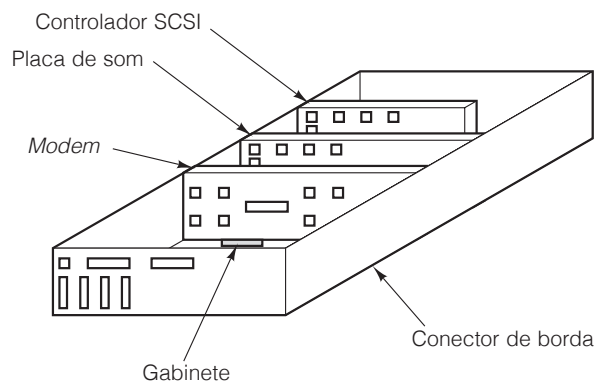
2.4 Entrada/Saída

Como mencionamos no início deste capítulo, um sistema de computador tem três componentes principais: a CPU, as memórias (primária e secundária) e os equipamentos de E/S (entrada/saída), ou I/O (Input/Output), como impressoras, *scanners* e *modems*. Até aqui, só examinamos CPU e as memórias. Agora, é hora de examinar os equipamentos de E/S e como eles estão conectados ao restante do sistema.

2.4.1 Barramentos

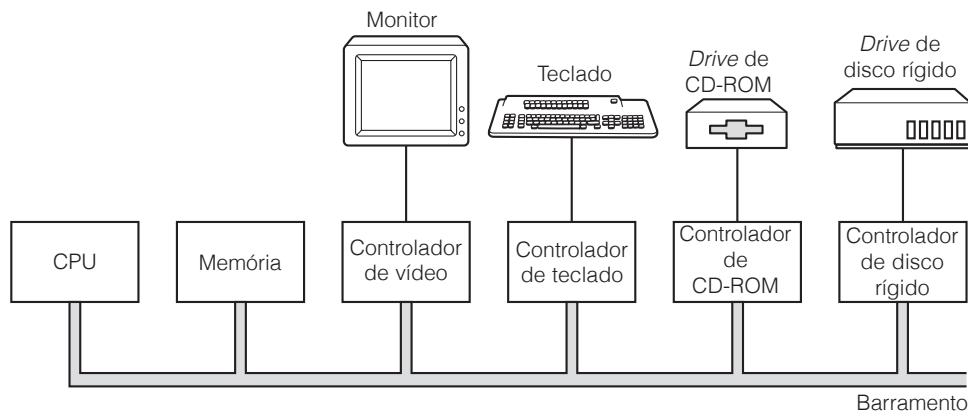
A maioria dos computadores pessoais e estações de trabalho tem uma estrutura semelhante à mostrada na Figura 2.29. O arranjo comum é um gabinete de metal que contém uma grande placa de circuito impresso na parte inferior, denominada **placa-mãe** (ou placa-pai, para os que preferirem). A placa-mãe contém o chip da CPU, alguns encaixes para os módulos DIMM e vários chips de suporte. Contém também um barramento ao longo do comprimento e soquetes nos quais os conectores de borda das placas de E/S podem ser inseridos.

Figura 2.29 Estrutura física de um computador pessoal.



A estrutura lógica de um computador pessoal simples pode ser vista na Figura 2.30. Esse computador tem um único barramento para conectar a CPU, a memória e os equipamentos de E/S; a maioria dos sistemas tem dois ou mais barramentos. Cada dispositivo de E/S consiste em duas partes: uma que contém grande parte da eletrônica, denominada **controlador**, outra que contém o dispositivo de E/S em si, tal como um *drive* de disco. O controlador está em geral contido em uma placa que é ligada a um encaixe livre. Mesmo o monitor não sendo opcional, o controlador de vídeo às vezes está localizado em uma placa de encaixe (*plug-in*) para permitir que o usuário escolha entre placas com ou sem aceleradores gráficos, memória extra e assim por diante. O controlador se conecta com seu dispositivo por um cabo ligado ao conector na parte de trás do gabinete.

Figura 2.30 Estrutura lógica de um computador pessoal simples.



A função de um controlador é controlar seu dispositivo de E/S e manipular para ele o acesso ao barramento. Quando um programa quer dados do disco, por exemplo, ele envia um comando ao controlador de disco, que então emite comandos de busca e outros comandos para o *drive*. Quando a trilha e o setor adequados forem localizados, o *drive* começa a entregar dados ao controlador como um fluxo serial de bits. É função do controlador dividir o fluxo de bits em unidades e escrever cada uma delas na memória, à medida que seja montada. Uma unidade típica é composta de uma ou mais palavras. Quando um controlador lê ou escreve dados de ou para a memória sem intervenção da CPU, diz-se que ele está executando **acesso direto à memória (Direct Memory Access)**, mais conhecido por seu acrônimo **DMA**. Concluída a transferência, o controlador normalmente causa uma **interrupção**, forçando a CPU a suspender de imediato o programa em execução e começar a rodar um procedimento especial, denominado **rotina de interrupção**, para verificar erros, executar qualquer ação especial necessária e informar ao sistema operacional que a E/S agora está concluída. Quando a rotina de interrupção conclui sua tarefa, a CPU continua com o programa que foi suspenso quando ocorreu a interrupção.

O barramento não é usado apenas pelos controladores de E/S, mas também pela CPU para buscar instruções e dados. O que acontece se a CPU e um controlador de E/S quiserem usar barramento ao mesmo tempo? A resposta é que um chip, denominado **árbitro de barramento**, decide o que acontece em seguida. Em geral, é dada a preferência aos dispositivos de E/S sobre a CPU, porque discos e outros dispositivos que estão em movimento não podem ser interrompidos, e obrigá-los a esperar resultaria em perda de dados. Quando não há nenhuma E/S em curso, a CPU pode ficar com todos os ciclos do barramento para si própria, para referenciar a memória. Contudo, quando algum dispositivo de E/S também estiver executando, ele requisitará e terá acesso ao barramento sempre que precisar. Esse processo é denominado **roubo de ciclo**, e reduz a velocidade do computador.

Esse projeto funcionou bem para os primeiros computadores pessoais, já que todos os componentes estavam em certo equilíbrio. Contudo, à medida que CPUs, memórias e dispositivos de E/S ficavam mais rápidos, surgiu um problema: o barramento não dava mais conta da carga apresentada. Em um sistema fechado, tal como uma estação de trabalho de engenharia, a solução foi projetar um novo barramento mais rápido para o próximo modelo.

Como ninguém nunca passava dispositivos de E/S de um modelo antigo para um novo, essa abordagem funcionou bem.

Todavia, no mundo do PC, quem passava para uma CPU mais potente muitas vezes queria levar sua impressora, *scanner* e *modem* para o novo sistema. Além disso, tinha-se desenvolvido uma imensa indústria destinada a fornecer uma ampla gama de dispositivos de E/S para o barramento do IBM PC, e essa indústria não estava nem um pouco interessada em perder todo seu investimento e começar de novo. A IBM aprendeu isso do modo mais difícil quando lançou o sucessor do IBM PC, a linha PS/2. O PS/2 tinha um barramento novo e mais rápido, mas a maioria dos fabricantes de clones continuava a usar o antigo barramento do PC, agora denominado barramento ISA (**I**ndustry **S**tandard **A**rchitecture). A maioria dos fabricantes de discos e dispositivos de E/S continuou a fabricar controladores para ele, e a IBM se viu enfrentando a peculiar situação de ser a única fabricante de PCs que não eram mais compatíveis com o PC da IBM. Com o tempo, a empresa foi forçada a dar suporte ao barramento ISA. Hoje, o barramento ISA é usado em sistemas legados e em museus de computador, pois foi substituído por arquiteturas de barramento padrão mais novas e mais rápidas. Como um comentário à parte, favor notar que ISA quer dizer Instruction Set Architecture (arquitetura do conjunto de instruções) no contexto de níveis de máquina, ao passo que no contexto de barramentos quer dizer Industry Standard Architecture (arquitetura padrão da indústria).

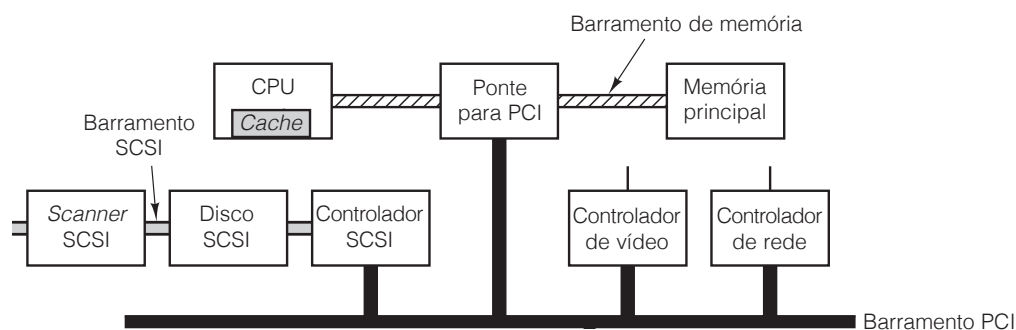
● Os barramentos PCI e PCIe

Não obstante, a despeito da pressão do mercado para que nada mudasse, o antigo barramento era mesmo muito lento, portanto, era preciso fazer algo. Essa situação levou outras empresas a desenvolver máquinas com múltiplos barramentos, um dos quais era o antigo barramento ISA, ou seu sucessor compatível, o EISA (**E**xtended **I**SA – ISA estendido). Agora, o mais popular deles é o barramento PCI (**P**eripheral **C**omponent **I**nterconnect – interconexão de componentes periféricos). Esse barramento foi projetado pela Intel, mas a empresa decidiu passar todas as patentes para domínio público, a fim de incentivar toda a indústria (incluindo seus concorrentes) a adotá-lo.

O barramento PCI pode ser usado em muitas configurações, mas a Figura 2.31 ilustra uma configuração típica. Nesse caso, a CPU se comunica com um controlador de memória por meio de uma conexão dedicada, de alta velocidade. O controlador se comunica diretamente com a memória e com o barramento PCI, de modo que o tráfego CPU-memória não passa pelo barramento PCI. Outros periféricos podem ser conectados diretamente ao barramento PCI. Uma máquina com esse projeto teria dois ou três conectores PCI vazios, permitindo que os clientes conectem placas de E/S PCI para novos periféricos.

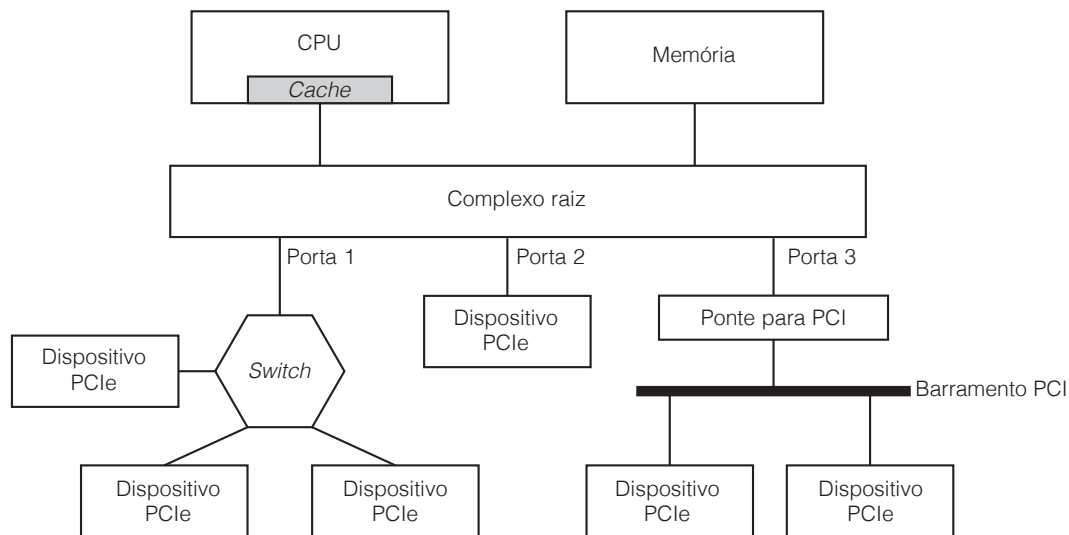
Qualquer que seja a velocidade de algo no mundo da computação, muita gente acha que ela é baixa. Esse destino também caiu sobre o barramento PCI, que está sendo substituído pelo PCI Express, abreviado como PCIe. A maior parte dos computadores modernos tem suporte para ele, de modo que os usuários podem conectar dispositivos novos e velozes ao barramento PCIe e os mais antigos e mais lentos ao barramento PCI.

Figura 2.31 PC típico montado em torno do barramento PCI. O controlador SCSI é um dispositivo PCI.



Enquanto o barramento PCI foi apenas uma atualização para o ISA mais antigo, com velocidades mais altas e mais bits transferidos em paralelo, o PCIe representa uma mudança radical do PCI. Na verdade, ele sequer é um barramento. É uma rede ponto a ponto usando linhas de bits seriais e troca de pacotes, mais parecido com a Internet do que com um barramento tradicional. Sua arquitetura aparece na Figura 2.32.

Figura 2.32 Exemplo de arquitetura de um sistema PCIe com três portas PCIe.



Várias coisas se destacam de imediato sobre o PCIe. Primeiro, as conexões entre os dispositivos são seriais, ou seja, 1 bit de largura em vez de 8, 16, 32 ou 64 bits. Embora se possa pensar que uma conexão de 64 bits teria uma largura de banda mais alta do que uma conexão de 1 bit, na prática, as diferenças no tempo de propagação dos 64 bits, chamadas de *skew* (distorção), significa que precisam ser usadas velocidades relativamente baixas. Com uma conexão serial, velocidades muito mais altas podem ser usadas, e isso compensa bastante a perda de paralelismo. Os barramentos PCI trabalham com uma taxa de *clock* máxima de 66 MHz. Com 64 bits transferidos por ciclo, a taxa de dados é de 528 MB/s. Com uma taxa de *clock* de 8 GHz, até mesmo com transferência serial, a taxa de dados do PCIe é de 1 GB/s. Além do mais, os dispositivos não estão limitados a um único par de fios para se comunicarem com o complexo raiz ou com um *switch*. Um dispositivo pode ter até 32 pares de fios, chamados de *lanes* (pistas). Essas pistas não são síncronas, de modo que a distorção não é importante aqui. A maioria das placas-mãe tem um encaixe de 16 pistas para a placa gráfica, que no PCIe 3.0 dará à placa gráfica uma largura de banda de 16 GB/s, cerca de 30 vezes mais rápida do que uma placa gráfica PCI pode oferecer. Essa largura de banda é necessária para aplicações cada vez mais exigentes, como gráficos em 3D.

Segundo, toda a comunicação é ponto a ponto. Quando a CPU quer falar com um dispositivo, ela lhe envia um pacote e, em geral, recebe uma resposta depois. O pacote passa pelo complexo raiz, que está na placa-mãe, e depois para o dispositivo, possivelmente por um *switch* (ou, se o dispositivo for um PCI, por uma ponte para PCI). Essa evolução de um sistema em que todos os dispositivos escutavam o mesmo barramento para um que utiliza comunicações ponto a ponto é semelhante ao desenvolvimento das redes Ethernet (uma rede local muito popular), que também começou com um canal de *broadcast*, mas agora utiliza *switches* para permitir a comunicação ponto a ponto.

2.4.2 Terminais

Há muitos tipos de dispositivos de E/S disponíveis. Alguns dos mais comuns são discutidos a seguir. Terminais de computador consistem em duas partes: um teclado e um monitor. No mundo dos *mainframes*, essas partes

costumam ser integradas em um único dispositivo ligado ao computador principal por uma linha serial ou por uma linha telefônica. Nos setores de reserva de passagens aéreas, bancário e em outros setores que usam *mainframes*, esses dispositivos ainda estão sendo usados. No mundo dos computadores pessoais, o teclado e o monitor são dispositivos independentes. Qualquer que seja o caso, a tecnologia das duas partes é a mesma.

● Teclados

Há uma grande variedade de teclados. O IBM PC original vinha com um teclado munido de um contato mecânico sob cada tecla, que dava retorno tátil e emitia um clique quando a tecla era apertada corretamente. Hoje, os teclados mais baratos têm teclas que fazem apenas contato mecânico quando acionados. Os melhores têm uma lâmina de material elastomérico – espécie de borracha – entre as teclas e a placa de circuito impresso que está por baixo. Sob cada tecla há uma pequena saliência que cede quando pressionada corretamente. Um pontinho de material condutor dentro da saliência fecha o circuito. Alguns teclados têm um ímã sob cada tecla, que passa por uma bobina quando pressionado, induzindo assim a uma corrente que pode ser detectada. Também há vários outros métodos em uso, mecânicos e eletromagnéticos.

Em computadores pessoais, quando uma tecla é pressionada, uma interrupção é gerada e a rotina de interrupções do teclado (uma parte do software do sistema operacional) é executada. A rotina de interrupções lê um registrador de hardware dentro do controlador de teclado para pegar o número da tecla (1 a 102) que acabou de ser pressionada. Quando a tecla é solta, ocorre uma segunda interrupção. Assim, se um usuário pressionar SHIFT, e em seguida pressionar e soltar M, e depois soltar SHIFT, o sistema operacional pode ver que o usuário quer um “M”, e não um “m”. O tratamento de sequências de várias teclas envolvendo SHIFT, CTRL e ALT é todo feito em software (incluindo a abominável sequência CTRL-ALT-DEL, que é usada para reiniciar PCs).

● Touch screens

Embora os teclados não ofereçam perigo de atrapalhar a máquina de escrever manual, há um novo sujeito na praça quando se trata de entrada do computador: uma *touch screen* (tela sensível ao toque). Embora esses dispositivos só tenham se tornado itens do mercado de massa com a introdução do iPhone da Apple em 2007, eles são muito mais antigos. A primeira tela sensível ao toque foi desenvolvida no Royal Radar Establishment, em Malvern, Grã-Bretanha, em 1965. Até mesmo a capacidade de encolhimento na tela, tão anunciada pelo iPhone, vem do trabalho inicial na Universidade de Toronto em 1982. Desde então, muitas tecnologias diferentes foram desenvolvidas e comercializadas.

Dispositivos de toque podem ser encontrados em duas categorias: opacos e transparentes. Um dispositivo sensível ao toque opaco é o *touchpad* de um notebook. Um dispositivo transparente típico é a tela de um smartphone ou tablet. Vamos analisar apenas o segundo. Eles costumam ser chamados de *touch screens*. Os principais tipos de touch screens são infravermelho, resistivo e capacitivo.

As telas infravermelhas são transmissores de infravermelho, como os diodos ou lasers emissores de luz infravermelha (por exemplo) nas bordas esquerda ou superior do engaste em torno da tela e detectores nas bordas direita e inferior. Quando um dedo, caneta ou qualquer objeto opaco bloqueia um ou mais raios, o detector correspondente sente a queda no sinal e o hardware do dispositivo pode dizer ao sistema operacional quais raios foram bloqueados, permitindo que ele calcule a coordenadas (x, y) do dedo ou caneta. Embora esses dispositivos já tenham sido usados há algum tempo em quiosques e outras aplicações, eles não são usados para dispositivos móveis.

Outra tecnologia antiga consiste em *touch screens resistivas*. Estas consistem em duas camadas, sendo a superior flexível. Ela contém uma grande quantidade de fios horizontais. A inferior contém fios verticais. Quando um dedo ou outro objeto pressiona um ponto na tela, um ou mais dos fios entra em contato com os fios perpendiculares na camada inferior. Os circuitos eletrônicos do dispositivo possibilitam a leitura de qual área foi pressionada. Essas telas não são caras para se montar, e são muito usadas em aplicações mais simples.

As duas tecnologias são boas quando a tela é pressionada por um dedo, mas têm um problema quando dois dedos são usados. Para descrever a questão, usaremos a terminologia da *touch screen* infravermelha, mas a resistiva

tem a mesma dificuldade. Imagine que os dois dedos estejam em (3, 3) e (8, 8). Como resultado, os feixes verticais $x = 3$ e $x = 8$ são interrompidos, assim como os feixes horizontais $y = 3$ e $y = 8$. Agora, imagine um cenário diferente, com os dedos em (3, 8) e (8, 3), que são os cantos opostos do retângulo cujos ângulos são (3, 3), (8, 3), (8, 8) e (3, 8). Exatamente os mesmos feixes são bloqueados, de modo que o software não sabe qual dos dois cenários é o correto. Esse problema é conhecido como *ghosting*.

Para poder detectar vários dedos ao mesmo tempo – uma propriedade exigida para os gestos de encolhimento e expansão –, uma nova tecnologia foi necessária. Aquela usada na maioria dos smartphones e tablets (mas não em câmeras digitais e outros dispositivos) é a **touch screen capacitiva projetada**. Existem vários tipos, mas o mais comum é o tipo de **capacitância mútua**. Todas as *touch screens* que podem detectar dois ou mais pontos de contato ao mesmo tempo são conhecidas como **telas multitoque**. Vejamos rapidamente como elas funcionam.

Para os leitores que estão meio enferrujados em sua física do colégio, um **capacitor** é um dispositivo que pode armazenar carga elétrica. Um capacitor simples tem dois condutores separados por um isolador. Nas *touch screens* modernas, um padrão tipo grade com “fios” finos correndo verticalmente é separado de uma grade horizontal por uma camada isolante fina. Quando um dedo toca na tela, ela muda a capacitância em todas as intersecções tocadas (possivelmente afastadas). Essa mudança pode ser medida. Como uma demonstração de que uma *touch screen* moderna não é como as antigas telas infravermelhas e resistivas, tente tocar em uma com uma caneta, lápis, clipe de papel ou dedo com luva e você verá que nada acontece. O corpo humano é bom para armazenar carga elétrica, como pode ser comprovado dolorosamente por qualquer um que já tenha se arrastado por um tapete em um dia frio e seco e depois tocado em uma maçaneta de metal. Instrumentos de plástico, madeira e metal não são tão bons quanto pessoas em termos de sua capacitância.

Os “fios” em uma *touch screen* não são os fios de cobre comuns, encontrados nos dispositivos elétricos normais, pois bloqueariam a luz da tela. Em vez disso, eles são tiras finas (em geral, com 50 micra) de óxido de índio-estanho condutor, ligadas em lados opostos de uma placa fina de vidro, que juntos formam os capacitores. Em alguns dispositivos mais novos, a placa de vidro isolante é substituída por uma fina camada de dióxido de silício (areia!), com as três camadas salpicadas (átomo por átomo) em algum substrato. De qualquer forma, os capacitores são protegidos contra poeira e arranhões por uma placa de vidro acima disso, para formar a superfície da tela a ser tocada. Quanto mais fina a placa de vidro superior, mais sensível é o desempenho, porém, mais frágil é o dispositivo.

Em operação, tensões são aplicadas alternadamente aos “fios” horizontal e vertical, enquanto os valores de tensão, que são afetados pela capacitância de cada intersecção, são lidos dos outros. Essa operação é repetida muitas vezes por segundo, com as coordenadas tocadas sendo alimentadas no controlador do dispositivo como um fluxo de pares (x, y) . Mais processamento, como determinar se ocorre apontamento, compressão, expressão ou toque, é feito pelo sistema operacional. Se você usar todos os 10 dedos e pedir a um amigo para usar os dele, o sistema operacional terá mais trabalho, mas o hardware de toque múltiplo poderá realizar essa tarefa.

● Monitores de tela plana

Os primeiros monitores de computador usavam **tubos de raios catódicos** (CRTs – *cathode ray tubes*), assim como os antigos aparelhos de televisão. Eles eram muito volumosos e pesados para serem usados em notebooks, portanto, era preciso uma tecnologia completamente diferente para suas telas. O desenvolvimento de telas planas ofereceu um tamanho físico necessário para os notebooks, e esses dispositivos também usavam menos potência. Hoje, os benefícios em tamanho e potência do monitor de tela plana quase eliminaram o uso de monitores CRT.

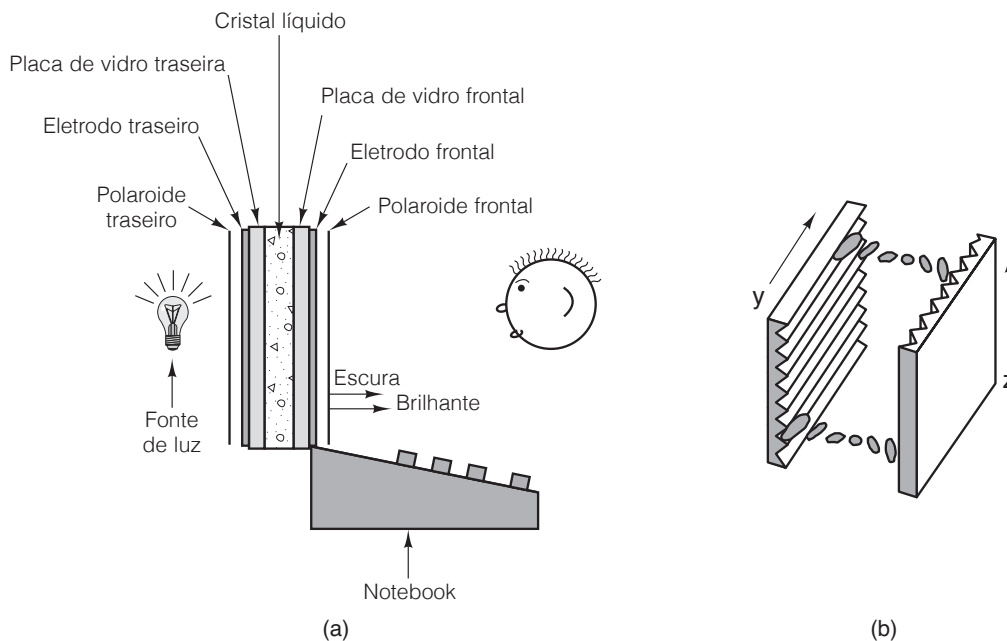
A mais comum tecnologia de monitor de tela plana é o **LCD** (**Liquid Crystal Display** – **monitor de cristal líquido**). É uma tecnologia de alta complexidade, tem muitas variações e está mudando com grande rapidez, de modo que esta descrição será necessariamente breve e muito simplificada.

Cristais líquidos são moléculas orgânicas viscosas que fluem como um líquido, mas também têm estrutura espacial, como um cristal. Foram descobertos por um botânico austríaco, Friedrich Reinitzer, em 1888 e aplicados pela primeira vez em visores (por exemplo, de calculadoras e relógios) na década de 1960. Quando todas as moléculas estão alinhadas na mesma direção, as propriedades óticas do cristal dependem da direção e

polarização da luz incidente. Usando um campo elétrico aplicado, o alinhamento molecular e, por conseguinte, as propriedades óticas, podem ser mudadas. Em particular, fazendo passar luz através de um cristal líquido, a intensidade da luz que sai dele pode ser controlada por meios elétricos. Essa propriedade pode ser explorada para construir monitores de tela plana.

Uma tela de monitor de LCD consiste em duas placas de vidro paralelas entre as quais há um volume selado que contém um cristal líquido. Eletrodos transparentes são ligados a ambas as placas. Uma luz atrás da placa traseira, natural ou artificial, ilumina a tela por trás. Os eletrodos transparentes ligados a cada placa são usados para criar campos elétricos no cristal líquido. Diferentes partes da tela recebem tensões elétricas diferentes para controlar a imagem apresentada. Colados às partes frontal e traseira da tela há filtros de polarização (polaroides), pois a tecnologia do monitor requer a utilização de luz polarizada. A montagem geral é mostrada na Figura 2.33(a).

Figura 2.33 (a) Construção de uma tela de LCD. (b) Os sulcos nas placas traseira e frontal são perpendiculares uns aos outros.



Embora muitos tipos de monitores de LCD estejam em uso, agora vamos considerar um tipo particular de visor, o TN (**Twisted Nematic – nemático torcido**), como exemplo. Nesse monitor, a placa traseira contém minúsculos sulcos horizontais, e a frontal, minúsculos sulcos verticais, como ilustrado na Figura 2.33(b). Na ausência de um campo elétrico, as moléculas do LCD tendem a se alinhar com os sulcos. Uma vez que os alinhamentos frontal e traseiro estão a 90 graus entre si, as moléculas (e, portanto, a estrutura cristalina) ficam torcidas entre as placas traseira e frontal.

Na parte de trás do monitor há um polaroide horizontal que permite apenas a passagem de luz polarizada horizontalmente. Na parte da frente do visor há um polaroide vertical que permite apenas a passagem de luz polarizada verticalmente. Se não houvesse nenhum líquido presente entre as placas, a luz polarizada horizontalmente que entrasse pelo polaroide traseiro seria bloqueada pelo polaroide frontal, produzindo uma tela uniformemente negra.

Contudo, a estrutura cristalina torcida das moléculas do LCD guia a luz na passagem e gira sua polarização, fazendo com que ela saia na vertical. Portanto, na ausência de um campo elétrico, a tela de LCD é uniformemente brilhante. Aplicando uma tensão elétrica em partes selecionadas da placa, a estrutura torcida pode ser destruída, bloqueando a luz nesses locais.

Há dois esquemas que podem ser usados para aplicar a tensão elétrica. Em um **monitor de matriz passiva** (de baixo custo), ambos os eletrodos contêm fios paralelos. Em um monitor de 1.920×1.080 , por exemplo, o eletrodo traseiro poderia ter 1.920 fios verticais e o frontal poderia ter 1.080 horizontais. Aplicando-se uma tensão elétrica em um dos fios verticais e em seguida fazendo-se pulsar um dos horizontais, a tensão em uma posição de *pixel* selecionada pode ser mudada, fazendo-a escurecer por um curto espaço de tempo. Um *pixel* (aglutinação das palavras “picture” e “element”) é um ponto colorido a partir do qual todas as imagens digitais são construídas. Repetindo-se esse pulso para o próximo *pixel* e então para o seguinte, pode-se pintar uma linha escura de varredura. Em geral, a tela inteira é pintada 60 vezes por segundo, para enganar o olho e fazê-lo pensar que ali há uma imagem constante.

O outro esquema de ampla utilização é o **monitor de matriz ativa**. É mais caro, mas produz melhor imagem. Em vez de apenas dois conjuntos de fios perpendiculares, ele tem um minúsculo elemento comutador em cada posição de *pixel* em um dos eletrodos. Desligando e ligando esses elementos, pode-se criar um padrão de tensão elétrica arbitrário na tela, o que permite um padrão de bits também arbitrário. Os elementos comutadores são denominados **transistores de película fina** (TFT – Thin Film Transistors) e os monitores de tela plana que os utilizam costumam ser denominados **monitores TFT**. Agora, a maioria dos notebooks e monitores de tela plana para desktops utiliza a tecnologia TFT.

Até aqui, descrevemos como funciona um monitor monocromático. Basta dizer que monitores coloridos usam os mesmos princípios gerais dos monocromáticos, mas os detalhes são muito mais complicados. Filtros ópticos são usados para separar a luz branca em componentes vermelha, verde e azul em cada posição de *pixel*, de modo que estes possam ser exibidos independentemente. Toda cor pode ser obtida por uma superposição dessas três cores primárias.

Outras tecnologias de tela estão surgindo. Uma das mais promissoras é a tela OLED (Organic Light Emitting Diode – diodo orgânico emissor de luz). Ela consiste em camadas de moléculas orgânicas carregadas eletricamente, dispostas entre dois eletrodos em forma de sanduíche. As mudanças de tensão fazem com que as moléculas sejam excitadas e se movam para estados de energia mais altos. Quando elas retornam ao seu estado normal, emitem luz. Outros detalhes estão fora do escopo deste livro (e de seus autores).

● RAM de vídeo

Quase todos os monitores são renovados de 60 a 100 vezes por segundo por uma memória especial, denominada **RAM de vídeo** (memória de acesso aleatório de vídeo), embutida na placa controladora do monitor. Essa memória tem um ou mais mapas de bits que representam a imagem da tela. Em uma tela com, por exemplo, 1.920×1.080 elementos de imagem, denominados *pixels*, uma RAM de vídeo conteria 1.920×1.080 valores, um para cada *pixel*. Na verdade, ela poderia conter muitos desses mapas de bits, para permitir a passagem rápida de uma imagem para outra.

Em um monitor comum, cada *pixel* seria representado como um valor RGB (*red/green/blue*) de 3 bytes, um para cada intensidade das componentes vermelha, verde e azul da cor do *pixel* (monitores de primeira linha usam 10 ou mais bits por cor). Pelas leis da física, sabe-se que qualquer cor pode ser obtida por uma superposição linear de luzes vermelha, verde e azul.

Uma RAM de vídeo com 1.920×1.080 *pixels* a 3 bytes/*pixel* requer mais de 6,2 MB para armazenar a imagem e uma boa quantidade de tempo de CPU para fazer qualquer coisa com ela. Por essa razão, alguns computadores adotam uma solução de conciliação usando um número de 8 bits para indicar a cor desejada. Então, esse número é usado como um índice para uma tabela de hardware denominada **paleta de cores**, que contém 256 entradas, cada uma com um valor RGB de 24 bits. Esse projeto, denominado **cor indexada**, reduz em dois terços o tamanho de memória da RAM de vídeo, mas permite somente 256 cores na tela ao mesmo tempo. Em geral, cada janela na tela tem seu próprio mapeamento. Porém, com apenas uma paleta de cores em hardware, quando há várias janelas presentes, muitas vezes apenas a janela corrente apresenta suas cores corretamente. Paletas de cores com 2^{16} entradas também são usadas, mas o ganho aqui é de apenas 1/3.

Monitores de vídeo com mapas de bits requerem grande quantidade de largura de banda. Para apresentar multimídia em tela cheia, com todas as cores em um monitor de 1.920×1.080 , é preciso copiar 6,2 MB de dados para a RAM de vídeo para cada quadro. Quando o vídeo é de movimento total, é preciso uma taxa de no mínimo

25 quadros por segundo, o que resulta uma taxa total de dados de 155 MB/s. Essa carga é mais do que o barramento PCI original podia manipular (132 MB/s), mas o PCIe pode tratar disso com facilidade.

2.4.3 Mouses

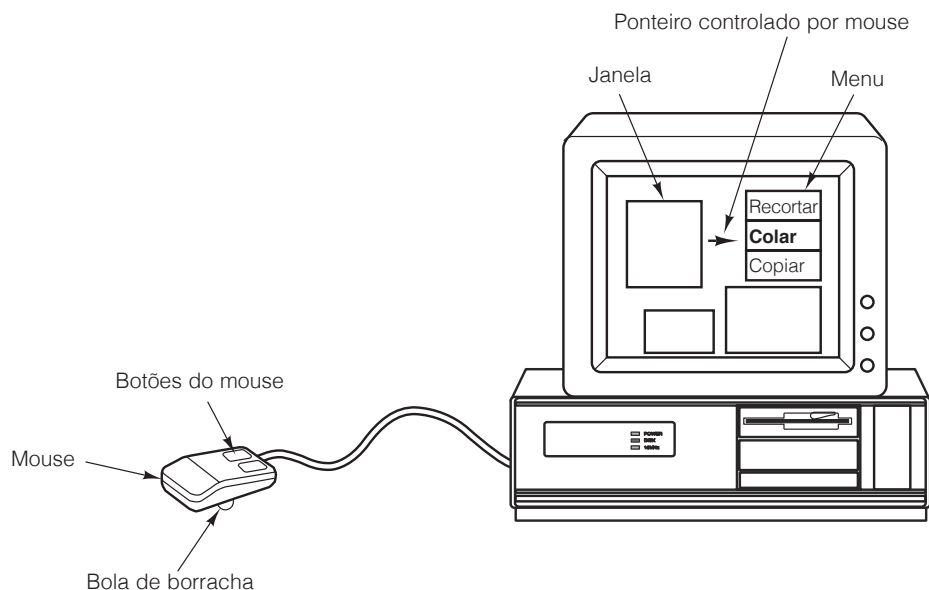
À medida que o tempo passa, os computadores estão sendo usados por pessoas menos versadas sobre o modo de funcionamento desses equipamentos. Máquinas da geração ENIAC só eram empregadas pelas pessoas que as construíram. Na década de 1950, computadores eram utilizados apenas por programadores profissionais altamente treinados. Agora, são amplamente usados por pessoas que precisam fazer algum trabalho e não sabem muito (ou nem querem saber) sobre como funcionam os computadores ou como são programados.

Antigamente, a maioria dos computadores tinha interfaces de linha de comando, para as quais os usuários digitavam comandos. Visto que quem não é especialista quase sempre acha que interfaces de linha de comando não são amigáveis ao usuário – se não absolutamente hostis –, muitos fabricantes desenvolveram interfaces do tipo “apontar e clicar”, tais como as do Macintosh e do Windows. Usar esse modelo pressupõe que haja um modo de apontar algo na tela. O meio mais comum de permitir que usuários apontem algo na tela é um mouse.

Um **mouse** é um caixinha de plástico que fica sobre a mesa, ao lado do teclado. Quando ela é movimentada sobre a mesa, um pequeno ponteiro também se movimenta na tela, permitindo que os usuários apontem itens. O mouse tem um, dois ou três botões na parte de cima, que possibilitam aos usuários selecionar itens apresentados em menus. Muita polêmica já se levantou por causa de discussões sobre o número de teclas que um mouse deve ter. Usuários ingênuos preferem uma só (não há como apertar a tecla errada se houver apenas uma), mas os sofisticados gostam do poder conferido por várias teclas para fazer coisas imaginativas.

Três tipos de mouses foram produzidos: mecânicos, ópticos e óptico-mecânicos. Os primeiros tinham duas rodinhas de borracha para fora da parte inferior do corpo com eixos perpendiculares entre si. Quando o mouse era movimentado em paralelo com seu eixo principal, uma roda girava. Quando ele era movimentado ao longo da perpendicular de seu eixo principal, a outra roda girava. Cada rodinha comandava um resistor variável (potenciômetro). Medindo as alterações na resistência era possível ver como cada roda tinha girado e assim calcular a distância que o mouse tinha percorrido em cada direção. Depois, esse projeto foi substituído em grande parte por outro, no qual, em vez de rodinhas, era usada uma pequena esfera projetada um pouco para fora do fundo do mouse. Ele é mostrado na Figura 2.34.

Figura 2.34 Utilização do mouse para apontar itens de menu.



O segundo tipo de mouse é o óptico. Esse tipo não tem rodinhas nem esferas. Em vez delas, tem um LED (Light Emitting Diode – diodo emissor de luz) e um fotodetector na parte de baixo. Os primeiros mouses ópticos exigiam uma almofada plástica especial que continha uma grade retangular de linhas espaçadas muito próximas umas das outras para detectar quantas linhas tinham sido atravessadas e, assim, a que distância o mouse se movimentou. Os mouses ópticos modernos contêm um LED que ilumina as imperfeições da superfície, junto com uma pequena câmera de vídeo que registra uma pequena imagem (em geral, 18×18 pixels) até 1.000 vezes por segundo. Imagens consecutivas são comparadas para ver a que distância o mouse se moveu. Alguns mouses ópticos utilizam um laser no lugar de um LED para iluminação. Eles são mais precisos, mas também mais caros.

O terceiro tipo de mouse é o óptico-mecânico. Assim como o mouse mecânico mais novo, ele tem uma esfera que gira dois eixos alinhados a 90 graus em relação um ao outro. Os eixos estão conectados a decodificadores com fendas que permitem a passagem da luz. Quando o mouse se movimenta, os eixos giram e pulsos de luz atingem os detectores sempre que aparece uma fenda entre um LED e seu detector. O número de pulsos detectados é proporcional à quantidade de movimento.

Embora mouses possam ser montados de várias maneiras, um arranjo comum é enviar uma sequência de 3 bytes ao computador toda vez que o mouse se movimenta a uma distância mínima (por exemplo, 0,01 polegada), às vezes denominada *mickey*. Em geral, esses caracteres vêm em uma linha serial, um bit por vez. O primeiro byte contém um inteiro com sinal que informa quantas unidades o mouse se moveu na direção *x* desde a última vez. O segundo dá a mesma informação para movimento na direção *y*. O terceiro contém o estado corrente das teclas do mouse. Às vezes, são usados 2 bytes para cada coordenada.

No computador, um software de baixo nível aceita essas informações à medida que chegam e converte os movimentos relativos enviados pelo mouse em uma posição absoluta. Em seguida, ele apresenta na tela uma seta correspondente à posição onde o mouse está. Quando a seta indicar o item adequado, o usuário clica no botão do mouse e então o computador pode interpretar qual item foi selecionado, por saber onde a seta está posicionada na tela.

2.4.4 Controladores de jogos

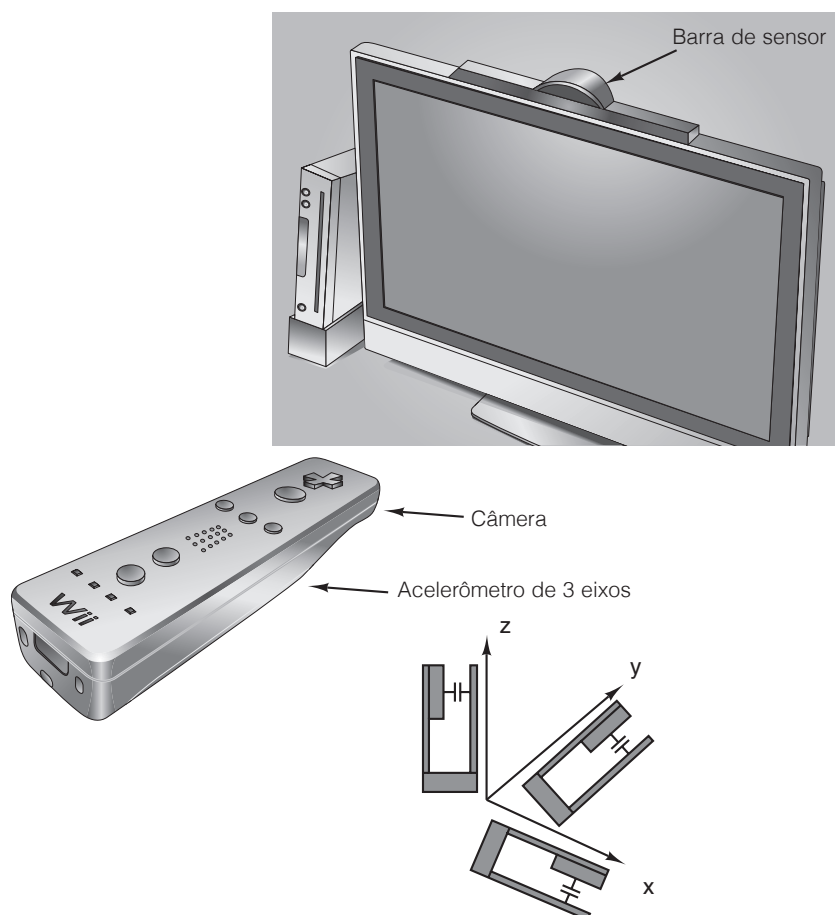
Os videogames costumam ter exigências muito altas de E/S do usuário e, no mercado de console de vídeo, dispositivos de entrada especializados têm sido desenvolvidos. Nesta seção, veremos dois desenvolvimentos recentes em controladores para videogame, o Nintendo Wiimote e o Microsoft Kinect.

● Controlador Wiimote

Lançado em 2006 com o console de jogos Nintendo Wii, o controlador Wiimote contém botões tradicionais para jogos e mais uma capacidade de sensibilidade dupla ao movimento. Todas as interações com o Wiimote são enviadas em tempo real ao console de jogos, usando um rádio *Bluetooth* interno. Os sensores de movimento no Wiimote permitem que ele sinta seu próprio movimento nas três dimensões e mais; quando apontado para a televisão, ele oferece uma capacidade minuciosa para apontar.

A Figura 2.35 ilustra como o Wiimote executa essa função de sensibilidade ao movimento. O rastreamento do movimento do Wiimote em três dimensões é realizado com um acelerômetro interno de 3 eixos. Esse dispositivo contém três massas pequenas, cada qual podendo se mover nos eixos *x*, *y* e *z* (com relação ao chip do acelerômetro). Elas se movem em proporção ao grau de aceleração em seu eixo particular, o que muda a capacitância da massa em relação a uma parede fixa de metal. Medindo as três capacitâncias variáveis, é possível sentir a aceleração em três dimensões. Usando essa tecnologia e algum cálculo clássico, o console Wii pode rastrear o movimento do Wiimote no espaço. Ao movimentar o Wiimote para atingir uma bola de tênis virtual, esse movimento é rastreado enquanto você se desloca em direção à bola e, se você virou o pulso no último momento para atingir a bola por cima, os acelerômetros do Wiimote também notarão esse movimento.

Figura 2.35 Sensores de movimento do controlador de videogame Wiimote.



Embora os acelerômetros funcionem bem para acompanhar o movimento do Wiimote enquanto ele se desloca em três dimensões, eles não podem oferecer a sensibilidade de movimento detalhada necessária para controlar um ponteiro na tela da televisão. Os acelerômetros sofrem com pequenos erros inevitáveis em suas medições de aceleração, de modo que, com o tempo, o local exato do Wiimote (com base na integração de suas acelerações) se tornará cada vez menos preciso.

Para oferecer a sensibilidade de movimento com precisão, o Wiimote utiliza uma tecnologia de visão de computador inteligente. Acima da televisão há uma “barra de sensor” que contém LEDs a uma distância fixa. No Wiimote há uma câmera que, quando apontada na barra de sensor, pode deduzir a distância e orientação em relação à televisão. Como os LEDs da barra de sensor estão afastados a certa distância, sua distância vista pelo Wiimote é proporcional àquela entre o Wiimote e a barra de sensor. O local da barra de sensor no campo de visão do Wiimote indica a direção que este aponta em relação à televisão. Observando essa orientação continuamente, é possível dar suporte a uma capacidade de apontamento minucioso sem os erros de posição inerentes aos acelerômetros.

● Controlador Kinect

O Microsoft Kinect leva as capacidades de visão dos controladores de jogos a um nível inteiramente novo. Esse dispositivo usa apenas a visão do computador para determinar as interações do usuário com o console de jogos. Ele funciona sentindo a posição do usuário na sala, mais a orientação e o movimento de seu corpo. Os jogos são controlados por movimentos predeterminados de suas mãos, braços e qualquer outra coisa que os projetistas do jogo acreditem que você deva mexer a fim de controlar seu jogo.

A capacidade de sentir do Kinect é baseada em uma câmera de profundidade combinada com uma câmera de vídeo. A câmera de profundidade calcula a distância do objeto no campo de visão do Kinect. Ela faz isso emitindo uma matriz bidimensional de pontos a laser infravermelho, depois capturando seus reflexos com uma câmera infravermelha. Usando uma técnica de visão do computador chamada “iluminação estruturada”, o Kinect pode determinar a distância dos objetos em seu campo de visão com base em como o conjunto de pontos infravermelhos é agitado pelas superfícies iluminadas.

A informação de profundidade é combinada com a informação de textura retornada da câmera de vídeo para produzir um mapa de profundidade texturizado. Esse mapa pode então ser processado pelos algoritmos de visão do computador para localizar a pessoa na sala (até mesmo reconhecendo seus rostos) e a orientação e movimento de seu corpo. Depois de processar, a informação sobre as pessoas na sala é enviada ao console do jogo, que usa esses dados para controlar o videogame.

2.4.5 Impressoras

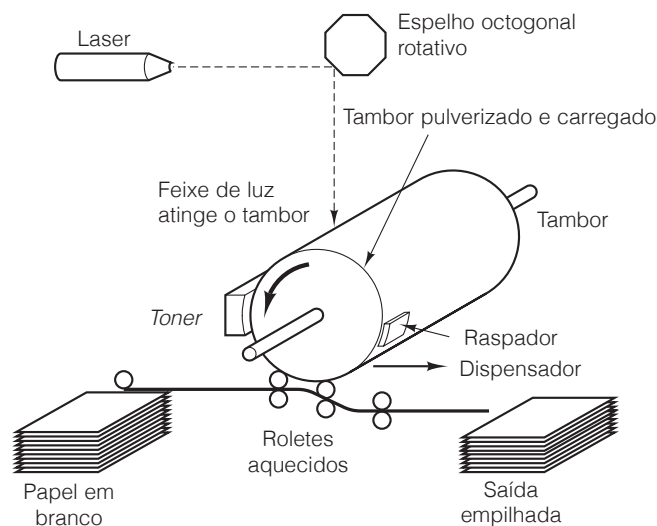
Após o usuário preparar um documento ou buscar uma página na Web, muitas vezes quer imprimir seu trabalho, de modo que todos os computadores podem ser equipados com uma impressora. Nesta seção, descreveremos alguns dos tipos mais comuns de impressoras.

● Impressoras a laser

Talvez o desenvolvimento mais interessante da impressão desde que Johann Gutenberg inventou o tipo móvel no século XV é a **impressora a laser**. Esse dispositivo combina uma imagem de alta qualidade, excelente flexibilidade, grande velocidade e custo moderado em um único periférico compacto. Impressoras a laser usam quase a mesma tecnologia das máquinas fotocopadoras. Na verdade, muitas empresas fabricam equipamentos que combinam cópia e impressão (e, às vezes, também fax).

A tecnologia básica é ilustrada na Figura 2.36. O coração da impressora é um tambor rotativo de precisão (ou uma correia, em alguns sistemas de primeira linha). No início de cada ciclo de página, ele recebe uma carga de até cerca de 1.000 volts e é revestido com um material fotossensível. Então, a luz de um laser passa pelo comprimento do tambor, refletindo-a de um espelho octogonal rotativo. O feixe de luz é modulado para produzir um padrão de pontos escuros e claros. Os pontos atingidos pelo feixe perdem sua carga elétrica.

● **Figura 2.36** Operação de uma impressora a laser.



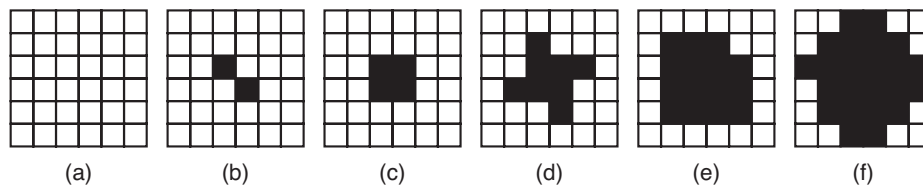
Após pintar uma linha de pontos, o tambor gira uma fração de um grau para permitir que a próxima linha seja pintada. Com o decorrer da rotação, a primeira linha de pontos chega ao *toner*, um reservatório que contém um pó negro eletrostaticamente sensível. O *toner* é atraído por aqueles pontos que ainda estão carregados, formando uma imagem visual daquela linha. Um pouco mais adiante na trajetória de transporte, o tambor revestido de *toner* é pressionado contra o papel, transferindo o pó preto para ele. Em seguida, o papel passa por rolagens aquecidos que fundem permanentemente o *toner* à superfície do papel, fixando a imagem. Em um ponto mais adiante de sua rotação, o tambor é descarregado e raspado para limpar qualquer resíduo de *toner*, preparando-o para receber nova carga elétrica e revestimento para imprimir a próxima página.

Nem é preciso dizer que esse processo é uma combinação extremamente complexa de física, química, engenharia mecânica e engenharia ótica. Ainda assim, há vários fabricantes no mercado que oferecem conjuntos complexos denominados **mecanismos de impressão**. Fabricantes de impressoras a laser combinam os mecanismos de impressão com sua própria eletrônica e software próprio para montar uma impressora completa. A parte eletrônica consiste em uma CPU rápida embutida junto com megabytes de memória para conter um mapa de bits de uma página inteira e numerosas fontes, algumas delas embutidas, outras carregadas por download. Grande parte das impressoras aceita comandos que descrevem as páginas a serem impressas (ao contrário de apenas aceitar mapas de bits preparados pela CPU principal). Esses comandos são dados em linguagens como a PCL da HP e PostScript da Adobe ou PDF, que são linguagens de programação completas, embora especializadas.

Impressoras a laser de 600 dpi ou mais podem executar um trabalho razoável na impressão de fotografias em preto e branco, mas a tecnologia é mais complicada do que pode parecer à primeira vista. Considere uma fotografia digitalizada em 600 dpi que deve ser impressa por uma impressora de 600 dpi. A imagem contém 600×600 pixels/polegada, cada um consistindo em um valor de cinza que varia de 0 (branco) a 255 (preto). A impressora também pode imprimir 600 dpi, mas cada *pixel* impresso é ou preto (*toner* presente) ou branco (nenhum *toner* presente). Valores cinza não podem ser impressos.

A solução habitual para imprimir imagens com valores de cinza é usar a técnica do **meio-tom** (retícula), a mesma empregada para imprimir cartazes comerciais. A imagem é desmembrada em células de meios-tons, em geral com 6×6 pixels. Cada célula pode conter entre 0 e 36 pixels pretos. O olho percebe uma célula com muitos pixels como mais escura do que uma com menos pixels. Valores de cinza na faixa de 0 a 255 são representados dividindo essa faixa em 37 zonas. Valores de 0 a 6 estão na zona 0, valores de 7 a 13 estão na zona 1 e assim por diante (a zona 36 é um pouco menor do que as outras porque 256 não é divisível exatamente por 37). Sempre que é encontrado um valor de cinza na zona 0, sua célula de meio-tom sobre o papel é deixada em branco, como ilustrado na Figura 2.37(a). Um valor de zona 1 é impresso como 1 *pixel* negro. Um valor de zona 2 é impresso como 2 *pixels* negros, conforme mostra a Figura 2.37(b). Outros valores de zonas são mostrados nas figuras 2.37(c)–(f). Claro que pegar uma fotografia digitalizada a 600 dpi e usar essa técnica de meio-tom reduz a resolução efetiva a 100 células/polegada, denominada **frequência de tela de meio-tom**, medida por convenção em lpi (lines per inch – linhas por polegada).

Figura 2.37 Pontos de meio-tom para várias faixas de escala de cinza. (a) 0–6. (b) 14–20. (c) 28–34. (d) 56–62. (e) 105–111. (f) 161–167.



Impressão colorida

Embora a maioria das impressoras a laser seja monocromática, impressoras a laser coloridas estão se tornando mais comuns, de modo que talvez seja útil dar aqui alguma explicação sobre a impressão colorida (que também se aplica a impressoras a jato de tinta e outras). Como você poderia imaginar, isso não é trivial. Imagens

coloridas podem ser vistas de duas maneiras: por luz transmitida e por luz refletida. Imagens por luz transmitida, como as produzidas em monitores, são compostas por superposição linear das três cores primárias aditivas: vermelho, verde e azul.

Ao contrário, imagens por luz refletida, como fotografias em cores e fotos em revistas de papel lustroso, absorvem certos comprimentos de onda de luz e refletem o resto. Elas são compostas por uma superposição linear das três cores subtrativas primárias, ciano (toda cor vermelha absorvida), magenta (toda cor verde absorvida) e amarela (toda cor azul absorvida). Em teoria, toda cor pode ser produzida misturando as tintas ciano, amarela e magenta. Na prática, é difícil conseguir essas tintas com pureza suficiente para absorver toda a luz e produzir um negro verdadeiro. Por essa razão, praticamente todos os sistemas de impressão em cores usam quatro tintas: ciano, magenta, amarela e negra. Esses sistemas são denominados **impressoras CMYK**. O K é geralmente associado à cor negra (*black*), porém, ele é a placa chave com a qual as placas de cores são alinhadas em impressoras convencionais de quatro cores. Monitores, ao contrário, usam luz transmitida e o sistema RGB para produzir cores.

O conjunto completo de cores que um monitor ou uma impressora podem produzir é denominado sua **gama**. Nenhum dispositivo tem uma gama que se iguale à do mundo real, já que cada cor vem em 256 intensidades no máximo, o que dá apenas 16.777.216 cores discretas. Imperfeições na tecnologia reduzem ainda mais esse total e as restantes nem sempre estão uniformemente espaçadas no espectro de cores. Além do mais, a percepção da cor tem muito a ver com o modo de funcionamento dos bastões e cones na retina, e não apenas com a física da luz.

Como consequência dessas observações, converter uma imagem colorida que parece boa na tela em uma imagem impressa idêntica está longe de ser trivial. Entre os problemas estão:

1. Monitores em cores usam luz transmitida; impressoras em cores usam luz refletida.
2. Monitores produzem 256 intensidades por cor; impressoras têm de usar meios-tons.
3. Monitores têm um fundo negro; o papel tem um fundo claro.
4. As gamas RGB de um monitor e as gamas CMYK de uma impressora são diferentes.

Obter imagens impressas em cores que reproduzem os tons do mundo real (ou até mesmo os das imagens na tela) requer calibração de dispositivos, software sofisticado e considerável conhecimento técnico e experiência da parte do usuário.

● Impressoras a jato de tinta

Para impressão doméstica de baixo custo, as **impressoras a jato de tinta** são as favoritas. A cabeça de impressão móvel, que mantém os cartuchos de tinta, é varrida horizontalmente pelo papel por uma correia, enquanto a tinta é espirrada por minúsculos esguichos. As gotículas de tinta têm um volume de mais ou menos 1 picolitro, de modo que 100 milhões delas formam uma única gota d'água.

Impressoras a jato de tinta podem ter duas variedades: piezelétricas (usadas pela Epson) e térmicas (usadas pela Canon, HP e Lexmark). As impressoras a jato de tinta piezelétricas possuem um tipo especial de cristal próximo de sua câmara de tinta. Quando uma tensão elétrica é aplicada ao cristal, ela se deforma ligeiramente, forçando uma gotícula de tinta a sair pelo esguicho. Quanto maior a tensão, maior a gotícula, permitindo que o software controle seu tamanho.

Impressoras a jato de tinta térmicas (também chamadas impressoras **a jato de bolhas**) contêm um minúsculo resistor dentro de cada esguicho. Quando uma tensão elétrica é aplicada ao resistor, ele se aquece extremamente rápido, elevando de imediato a temperatura da tinta que encosta nele até o ponto de ebulição, até que a tinta se vaporize para formar uma bolha de gás. A bolha de gás ocupa mais volume do que a tinta que a criou, produzindo pressão no esguicho. O único lugar para onde a tinta pode sair é pela frente do esguicho, para o papel. O esguicho é então resfriado e o vácuo resultante suga outra gota de tinta do cartucho. A velocidade da impressora é limitada pela velocidade com que o ciclo aquecer/resfriar pode ser repetido. As gotículas são todas do mesmo tamanho, mas menores do que as usadas pelas impressoras piezelétricas.

As impressoras a jato de tinta normalmente possuem resoluções de pelo menos 1.200 dpi (*dots per inch – pontos por polegada*) e, no máximo, 4.800 dpi. Elas são baratas, silenciosas e possuem boa qualidade, apesar de também serem lentas, e utilizam cartuchos de tinta caros. Quando a melhor das impressoras a jato de tinta de alta qualidade é usada para imprimir fotografia em alta resolução profissional com papel fotográfico especialmente lustroso, os resultados são parecidos com a fotografia convencional, até mesmo com impressões de 20 × 25 cm.

Para obter melhores resultados, é preciso usar tinta e papel especiais. **Tintas à base de corantes** consistem em corantes coloridos dissolvidos em uma base fluida. Elas dão cores brilhantes e fluem com facilidade. Sua principal desvantagem é que desbotam quando expostas à luz ultravioleta, tal como a contida na luz solar. **Tintas à base de pigmentos** contêm partículas sólidas de pigmentos suspensas em uma base fluida, que evapora do papel deixando ali o pigmento. Não desbotam com o tempo, mas não são tão brilhantes como as tintas à base de corantes e as partículas de pigmento tendem a entupir os bicos injetores, que requerem limpeza periódica. Para imprimir fotografias, é preciso papel lustroso ou revestido. Esses tipos de papel foram projetados especialmente para conter as gotículas de tinta e não permitir que elas se espalhem.

● Impressoras especiais

Embora impressoras a laser e a jato de tinta dominem os mercados de impressão doméstico e de escritório, outros tipos de impressoras são usados em outras situações, com outros requisitos em termos de qualidade de cor, preço e outras características.

Uma variante da impressora a jato de tinta é a **impressora de tinta sólida**. Esse tipo de impressora aceita quatro blocos sólidos de uma tinta especial à base de cera, que são derretidos e passam para reservatórios de tinta quente. Os tempos de partida dessas impressoras podem chegar a 10 minutos, enquanto os blocos de tinta estão derretendo. A tinta quente é borrifada sobre o papel, onde se solidifica e se funde com o papel quando este é forçado a passar entre dois roletes rígidos. De certa forma, ela combina a ideia de borrifar tinta das impressoras a jato de tinta com a ideia de fundir a tinta no papel com roletes de borracha rígidos das impressoras a laser.

Outro tipo de impressora em cores é a **impressora a cera**. Ela tem uma larga fita encerada em quatro cores, segmentada em faixas do tamanho de páginas. Milhares de elementos de aquecimento derretem a cera à medida que o papel passa por baixo dela. A cera se funde com o papel na forma de *pixels* usando o sistema CMYK. Impressoras a cera costumavam ser a principal tecnologia de impressão em cores, mas estão sendo substituídas pelos outros tipos cujos materiais de consumo são mais baratos.

Ainda outro tipo de impressora em cores é a **impressora por sublimação de corante**, ou de tinta. Embora dê a entender algo de freudiano, sublimação é o nome científico da passagem do estado sólido para o gasoso sem passar pelo estado líquido. Gelo seco (dióxido de carbono congelado) é um material bem conhecido que sublima. Em uma impressora por sublimação de tinta, uma base contendo os corantes CMYK passa sobre um cabeçote de impressão térmico que contém milhares de elementos de aquecimento programáveis. As tintas são vaporizadas instantaneamente e absorvidas por um papel especial que está próximo. Cada elemento de aquecimento pode produzir 256 temperaturas diferentes. Quanto mais alta a temperatura, mais corante é depositado e mais intensa é a cor. Diferente de todas as outras impressoras em cores, nessa são possíveis cores praticamente contínuas para cada *pixel*, de modo que o meio-tom não é necessário. Pequenas impressoras de instantâneos muitas vezes usam o processo de sublimação de tinta para produzir imagens fotográficas de alto grau de realismo sobre papel especial (e caro).

Por fim, chegamos à **impressora térmica**, que contém uma pequena cabeça de impressão com alguma quantidade de minúsculas agulhas que podem ser aquecidas. Quando uma corrente elétrica passa por uma agulha, ela se torna muito quente depressa. Quando um papel termicamente sensível especial é empurrado pela cabeça de impressão, os pontos são feitos no papel quando as agulhas estão quentes. Com efeito, uma impressora térmica é como as antigas impressoras matriciais, cujos pinos eram pressionados contra uma fita tipo máquina de escrever para formar os pontos de tinta no papel atrás da fita. As impressoras térmicas são muito usadas para imprimir recibos em lojas, caixas eletrônicos de banco, postos de gasolina automatizados etc.

2.4.6 Equipamento de telecomunicações

Hoje, grande parte dos computadores está ligada a uma rede de computadores, em geral a Internet. Para conseguir acesso, é preciso usar equipamento especial. Nesta seção, veremos como esse equipamento funciona.

● Modems

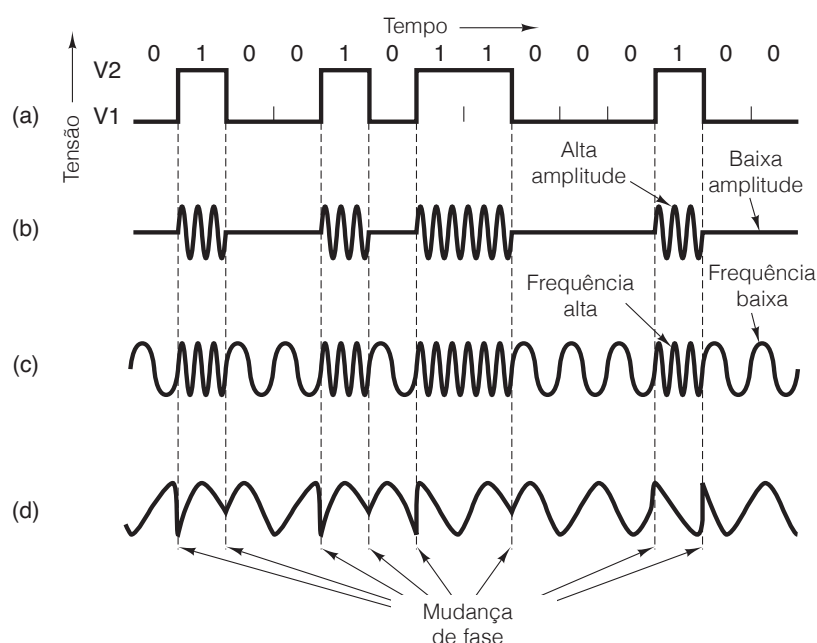
Com o crescimento da utilização de computadores nos últimos anos, é comum que um computador precise se comunicar com outro. Por exemplo, muitas pessoas têm em casa computadores pessoais que usam para se comunicar com o que está em seu local de trabalho, com uma provedora de serviço de Internet (ISP – Internet Service Provider) ou com um sistema de *home banking*. Em muitos casos, a linha telefônica provê comunicação física.

Contudo, uma linha telefônica comum (ou cabo) não é adequada para transmissão de sinais de computador que costumam representar um 0 como 0 volt e um 1 como 3 a 5 volts, conforme mostra a Figura 2.38(a). Sinais de dois níveis sofrem considerável distorção quando transmitidos por uma linha telefônica projetada para voz, ocasionando erros de transmissão. Todavia, um sinal de onda senoidal pura em uma frequência de 1.000 a 2.000 Hz, denominada **portadora**, pode ser transmitido com relativamente pouca distorção, e esse fato é explorado como a base da maioria dos sistemas de telecomunicação.

Como as pulsações de uma onda senoidal são totalmente previsíveis, uma onda senoidal pura não transmite nenhuma informação. Contudo, variando a amplitude, frequência ou fase, uma sequência de 1s e 0s pode ser transmitida, como mostra a Figura 2.38. Esse processo é denominado **modulação**, e o dispositivo que faz isso é denominado **modem**, que significa **MOD**ulador **DEM**odulador. Na **modulação de amplitude** (veja a Figura 2.38(b)), são usados dois níveis de tensão elétrica (voltagem) para 0 e 1, respectivamente. Uma pessoa que esteja ouvindo dados transmitidos a uma taxa de dados muito baixa ouviria um ruído alto para 1 e nenhum ruído para 0.

Em **modulação de frequência** (veja a Figura 2.38(c)), o nível de tensão elétrica (voltagem) é constante, mas a frequência da portadora é diferente para 1 e para 0. Uma pessoa que estivesse ouvindo dados digitais com frequência modulada ouviria dois tons, correspondentes a 0 e 1. A modulação de frequência costuma ser denominada **modulação por chaveamento de frequência**.

Figura 2.38 Transmissão bit a bit do número binário 01001011000100 por uma linha telefônica. (a) Sinal de dois níveis. (b) Modulação de amplitude. (c) Modulação de frequência. (d) Modulação de fase.



Em **modulação de fase simples** (veja Figura 2.38(d)), a amplitude e a frequência não mudam, mas a fase da portadora é invertida 180 graus quando os dados passam de 0 para 1 ou de 1 para 0. Em sistemas de fase modulada mais sofisticados, no início de cada intervalo de tempo indivisível, a fase da portadora é bruscamente mudada para 45, 135, 225 ou 315 graus, para permitir 2 bits por intervalo de tempo, denominado codificação de fase **dibit**. Por exemplo, uma mudança de fase de 45 graus poderia representar 00, uma mudança de fase de 135 graus poderia representar 01 e assim por diante. Também existem outros esquemas para transmitir 3 ou mais bits por intervalo de tempo. O número de intervalos de tempo, isto é, o número de mudanças de sinal por segundo, é uma taxa de **bauds**. Com 2 ou mais bits por intervalo, a taxa de bits ultrapassará a taxa de bauds. Muitos confundem os dois termos. Novamente: a taxa de bauds é o número de vezes que o sinal muda por segundo, enquanto a taxa de bits é o número de bits transmitidos por segundo. A taxa de bits geralmente é um múltiplo da taxa de bauds, mas teoricamente ela pode ser menor.

Se os dados a serem transmitidos consistirem em uma série de caracteres de 8 bits, seria desejável ter uma conexão capaz de transmitir 8 bits simultaneamente – isto é, oito pares de fios. Como as linhas telefônicas oferecem apenas um canal, os bits têm de ser enviados de modo serial, um após o outro (ou em grupos de dois se estiver sendo usada a codificação dibit). O dispositivo que aceita caracteres de um computador na forma de sinais de dois níveis, um bit por vez, e transmite os bits em grupos de um ou dois, em forma de amplitude, frequência ou fase modulada, é o *modem*. Para marcar o início e o final de cada caractere, é enviado um caractere de 8 bits precedido por um bit de início e seguido por um bit de fim, totalizando 10 bits.

O *modem* que está transmitindo envia os bits individuais dentro de um caractere a intervalos de tempo regularmente espaçados. Por exemplo, 9.600 bauds implica uma mudança de sinal a cada 104 μ s. Um segundo *modem* na extremidade receptora é usado para converter uma portadora modulada em um número binário. Como os bits chegam ao receptor a intervalos regulares, uma vez que o *modem* receptor tenha determinado o início do caractere, seu *clock* o informa quando amostrar a linha para ler os bits que estão entrando.

Modems modernos funcionam a taxas de dados na faixa de 56 kbps, normalmente a taxas muito mais baixas. Eles usam uma combinação de técnicas para enviar múltiplos bits por baud, modulando a amplitude, a frequência e a fase. Quase todos eles são *full-duplex*, o que quer dizer que podem transmitir em ambas as direções ao mesmo tempo (usando frequências diferentes). *Modems* ou linhas de transmissão que só podem transmitir em uma direção por vez (como uma ferrovia com uma única linha que pode transportar trens em direção ao norte ou trens em direção ao sul, mas não fazê-lo ao mesmo tempo) são denominados *half-duplex*. Linhas que só podem transmitir em uma direção são linhas *simplex*.

● Linhas digitais de assinante (DSL – Digital Subscriber Lines)

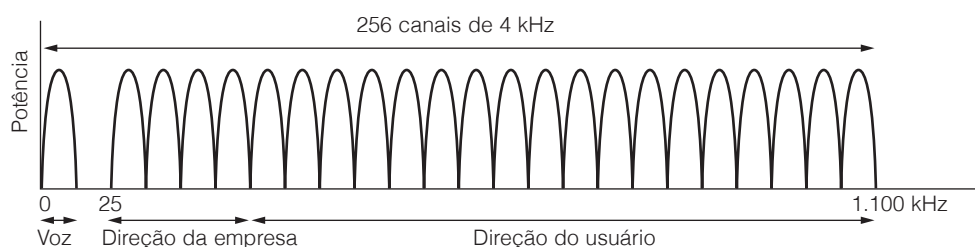
Quando a indústria da telefonia chegou por fim aos 56 kbps, ela se congratulou por um trabalho bem-feito. Enquanto isso, a indústria da TV a cabo estava oferecendo velocidades de até 10 Mbps em cabos compartilhados e as operadoras de satélites estavam planejando oferecer mais de 50 Mbps. À medida que o acesso à Internet tornou-se uma parte cada vez mais importante de seus negócios, as *telcos* (*telephone companies* – empresas de telefonia) começaram a perceber que precisavam de um produto mais competitivo do que linhas discadas. A resposta dessas empresas foi começar a oferecer um novo serviço digital de acesso à Internet. Serviços com mais largura de banda do que o serviço telefônico padrão às vezes são denominados serviços de **banda larga**, embora, na realidade, o termo seja mais um conceito de marketing do que qualquer outra coisa. Por um ponto de vista estritamente técnico, banda larga significa que existem vários canais de sinalização, enquanto banda base significa que há somente um. Assim, teoricamente, a Ethernet a 10 gigabits, que é muito mais distante do que qualquer serviço de “banda larga” oferecido pela companhia telefônica, não é banda larga de forma alguma, pois tem apenas um canal de sinalização.

De início, havia muitas ofertas que se sobrepunham, todas sob o mesmo nome geral de xDSL (**D**igital **S**ubscriber **L**ine), para vários x. Mais adiante, discutiremos o serviço que provavelmente vai se tornar o mais popular desses, o ADSL (**A**symmetric **D**SL – DSL assimétrico). Visto que o ADSL ainda está sendo desenvolvido e nem todos os padrões estão totalmente em vigor, alguns dos detalhes dados mais adiante podem mudar com o tempo, mas o quadro básico deve continuar válido. Para obter mais informações sobre ADSL, veja Summers, 1999; e Vetter et al., 2000.

A razão por que *modems* são tão lentos é que os telefones foram inventados para transmitir a voz humana e todo o sistema foi cuidadosamente otimizado para essa finalidade. Dados sempre foram filhos adotivos. A linha, denominada *loop local*, de cada assinante da companhia telefônica é tradicionalmente limitada a cerca de 3.000 Hz por um filtro na central da empresa de telecomunicações. É esse filtro que limita a taxa de dados. A largura de banda real do *loop local* depende de seu comprimento, mas, para distâncias típicas de alguns quilômetros, 1,1 MHz é viável.

O método mais comum da oferta de ADSL é ilustrado na Figura 2.39. Na verdade, o que ele faz é remover o filtro e dividir o espectro disponível de 1,1 MHz no *loop local* em 256 canais independentes de 4.312,5 Hz cada. O canal 0 é usado para POTS (Plain Old Telephone Service – serviço telefônico normal). Os canais de 1 a 5 não são usados para evitar que o sinal de voz e os sinais de dados interfiram uns com os outros. Dos 250 canais restantes, um é usado para controle na direção da empresa de telefonia e outro para controle na direção do usuário. O resto está disponível para dados do usuário. O ADSL equivale a ter 250 *modems*.

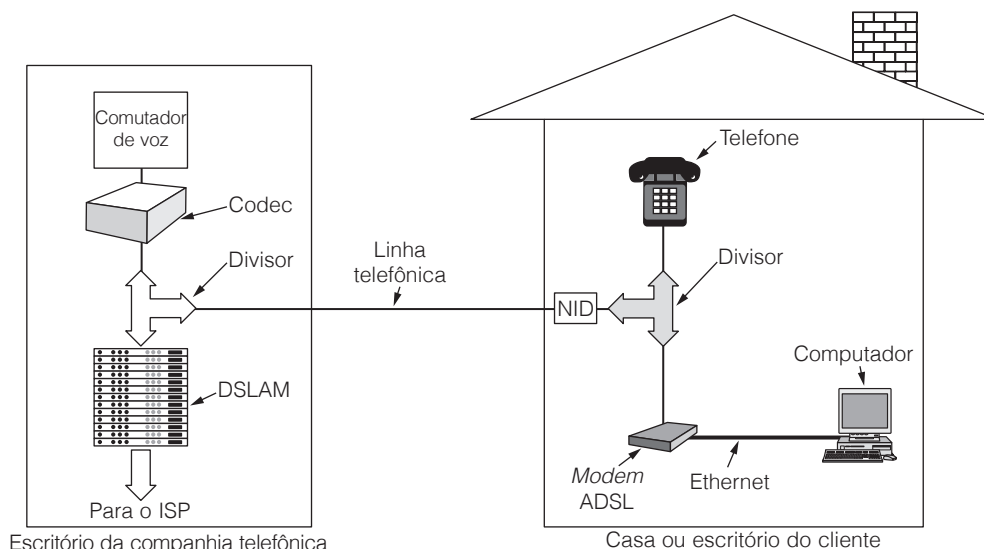
Figura 2.39 Operação de ADSL.



Em princípio, cada um dos canais remanescentes pode ser usado para um fluxo de dados *full-duplex*, mas, na prática, harmônicos, linhas cruzadas e outros efeitos mantêm os sistemas bem abaixo do limite teórico. Cabe ao provedor determinar quantos canais são usados na direção da empresa e quantos na direção do usuário. Uma proporção de 50–50 é tecnicamente possível, mas a maioria das provedoras aloca cerca de 80%–90% da largura de banda na direção do usuário, uma vez que eles descarregam mais dados do que carregam. Essa opção deu origem ao “A” em ADSL (de Assimétrico). Uma divisão comum são 32 canais na direção da empresa e o resto na direção do usuário.

A qualidade da linha é monitorada constantemente dentro de cada canal e a taxa de dados é ajustada conforme necessário, portanto, canais diferentes podem ter taxas de dados diferentes. Os dados propriamente ditos são enviados usando uma combinação de modulação de amplitude e de fase com até 15 bits por baud. Por exemplo, com 224 canais na direção do usuário e 15 bits/baud a 4.000 bauds, a largura de banda na direção do usuário é 13,44 Mbps. Na prática, a relação sinal/ruído nunca é boa o suficiente para alcançar essa taxa, mas 4–8 Mbps é possível em distâncias curtas por *loops* de alta qualidade.

Uma configuração ADSL típica é mostrada na Figura 2.40. Nesse esquema, o usuário ou um técnico da companhia telefônica deve instalar um NID (Network Interface Device – dispositivo de interface de rede) na casa ou escritório do cliente. Essa caixinha de plástico marca o final da propriedade da companhia telefônica e o início da propriedade do cliente. Próximo ao NID (ou às vezes combinado com ele) há um *divisor*, um filtro analógico que separa a faixa de 0–4.000 Hz usada pelo POTS dos dados. O sinal do POTS é direcionado ao telefone ou aparelho de fax e o sinal de dados é direcionado a um *modem* ADSL. Na verdade, o *modem* ADSL é um processador de sinais digitais que foi montado para agir como 250 *modems* funcionando em paralelo a frequências diferentes. Uma vez que a maioria dos *modems* ADSL é externa, o computador deve estar conectado a ele em alta velocidade. Isso costuma ser feito com a instalação de uma placa Ethernet no computador e operação de uma Ethernet muito curta de dois nós que contém apenas o computador e o *modem* ADSL. (Ethernet é um padrão de rede local popular e barato.) Por vezes, usa-se a porta USB em vez da Ethernet. Sem dúvida, haverá placas internas de *modem* ADSL disponíveis no futuro.

Figura 2.40 Configuração típica de equipamento ADSL.

Na outra extremidade da linha, no lado da empresa telefônica está instalado um divisor correspondente, no qual a parte da voz é filtrada e enviada ao comutador de voz normal. O sinal acima de 26 kHz é direcionado para um novo tipo de dispositivo denominado **DSLAM** (**D**igital **S**ubscriber **L**ine **A**ccess **M**ultiplexer – **m**ultiplexador de acesso de linha digital de assinante), que contém o mesmo tipo de processador de sinal digital que o *modem* ADSL. Uma vez recuperado o sinal digital em um fluxo de bits, são formados pacotes e enviados à ISP.

Internet por cabo

Muitas empresas de TV agora estão oferecendo acesso à Internet por meio de seus cabos. Como a tecnologia é muito diferente da ADSL, vale a pena fazer uma breve descrição. Em cada cidade, a operadora por cabo tem uma central e uma grande quantidade de caixas cheias de dispositivos eletrônicos denominados **terminais de distribuição** (*headends*) distribuídos por todo o seu território. Os terminais de distribuição estão conectados à central por cabos de alta largura de banda ou de fibra ótica.

Cada terminal tem um ou mais cabos que passam por centenas de casas e escritórios. Cada cliente da provedora por cabo está ligado ao cabo que passa por sua casa ou escritório. Assim, centenas de usuários compartilham o mesmo cabo até o terminal. Em geral, o cabo tem uma largura de banda de mais ou menos 750 MHz. Esse sistema é radicalmente diferente do ADSL porque cada usuário de telefone tem uma linha privada (isto é, não compartilhada) com a central telefônica. Contudo, na prática, ter seu próprio canal de 1,1 MHz com uma empresa de telefonia não é muito diferente do que compartilhar uma porção de 200 MHz do espectro do cabo que chega ao terminal com 400 usuários, metade dos quais não o estará usando em qualquer dado momento. Porém, isso significa que um usuário de Internet por cabo conseguirá um serviço muito melhor às 4h00 do que às 16h00, enquanto o serviço ADSL é constante durante o dia inteiro. Quem quiser obter um serviço ideal de Internet por cabo deveria se mudar para uma vizinhança rica (casas mais afastadas uma da outra, portanto, menos usuários por cabo) ou para um bairro pobre (onde ninguém pode pagar pelo serviço de Internet).

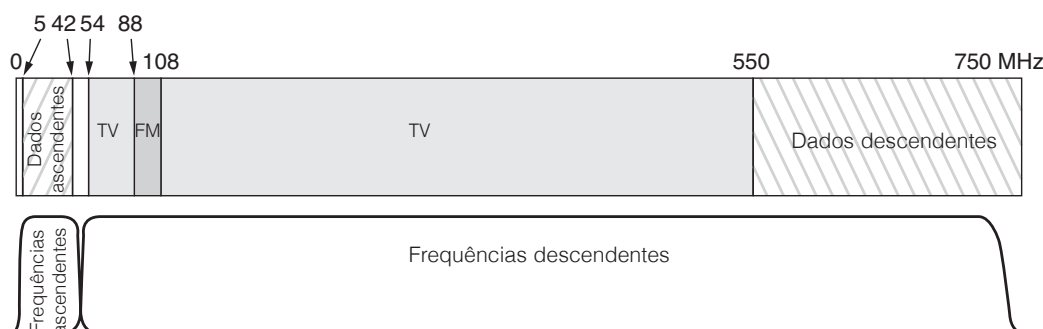
Uma vez que o cabo é um meio compartilhado, determinar quem pode enviar quando e em qual frequência é uma questão importante. Para ver como isso funciona, temos de fazer um breve resumo do modo de funcionamento de uma TV a cabo. Nos Estados Unidos, os canais de televisão a cabo ocupam a região de 54 a 550 MHz (exceto para rádio FM, de 88 a 108 MHz). Esses canais têm 6 MHz de largura, incluindo faixas de proteção para impedir vazamento de sinal entre canais. Na Europa, a extremidade baixa é normalmente 65 MHz e os canais têm de 6 a 8 MHz de largura para a resolução mais alta exigida por PAL e SECAM; porém, quanto ao mais, o esquema de alocação é similar. A porção inferior da banda não é usada para transmissão de televisão.

Quando as empresas por cabo lançaram a Internet por cabo, tinham dois problemas a resolver:

1. Como acrescentar acesso à Internet sem interferir com programas de TV.
2. Como ter tráfego bidirecional quando os amplificadores são inerentemente unidirecionais.

As soluções são as seguintes. Cabos modernos têm uma largura de banda de pelo menos 550 MHz, muitas vezes até 750 MHz ou mais. Os canais ascendentes (isto é, do usuário ao terminal de distribuição) entram na faixa de 5–42 MHz (um pouco mais alta na Europa), e o tráfego descendente (isto é, do terminal de distribuição ao usuário) usa as frequências da extremidade alta, como ilustrado na Figura 2.41.

Figura 2.41 Alocação de frequência em um sistema típico de TV a cabo usado para acesso à Internet.



Note que, como os sinais de TV são todos descendentes, é possível usar amplificadores ascendentes que funcionam apenas na região de 5 a 42 MHz, e amplificadores descendentes que só funcionam a 54 MHz e acima, conforme mostra a figura. Assim, obtemos uma assimetria nas larguras de banda ascendente e descendente, porque há mais espectro disponível acima da banda da televisão do que abaixo dela. Por outro lado, a maior parte do tráfego será provavelmente na direção descendente, portanto, as operadoras por cabo não estão infelizes com essas coisas da vida. Como vimos antes, empresas de telefonia costumam oferecer um serviço DSL assimétrico, ainda que não tenham nenhuma razão técnica para fazê-lo.

O acesso à Internet requer um *modem* por cabo, um dispositivo que tem duas interfaces: uma com o computador e outra com a rede a cabo. A interface computador-*modem* a cabo é direta. Em geral, é Ethernet, exatamente como na ADSL. No futuro, o *modem* inteiro poderá se resumir a uma pequena placa inserida no computador, exatamente como nos antigos *modems* por telefone.

A outra extremidade é mais complicada. Grande parte do padrão por cabo lida com engenharia de rádio, uma questão que está muito além do escopo deste livro. A única parte que vale a pena mencionar é que *modems* por cabo, assim como os ADSL, estão sempre ligados. Eles estabelecem uma conexão quando são ligados e a mantêm enquanto houver energia, porque operadoras por cabo não cobram por tempo de conexão.

Para entender melhor como elas funcionam, vamos ver o que acontece quando um *modem* por cabo é instalado e ligado. O *modem* faz uma varredura dos canais descendentes em busca de um pacote especial lançado periodicamente pelo terminal de distribuição para fornecer parâmetros do sistema aos *modems* que acabaram de entrar em linha. Quando achar esse pacote, o novo *modem* anuncia sua presença em um dos canais ascendentes. O terminal de distribuição responde designando o *modem* a seus canais ascendente e descendente. Essas designações podem ser mudadas mais tarde se o terminal de distribuição achar necessário equilibrar a carga.

O *modem* determina sua distância em relação ao terminal de distribuição enviando um pacote especial e observando quanto tempo demora para obter uma resposta. Esse processo é denominado *ranging*. É importante que o *modem* conheça sua distância para ajustar o modo como os canais ascendentes operam e para acertar sua temporização. Eles são divididos em *mini-intervalos de tempo*. Cada pacote ascendente deve se ajustar a um ou

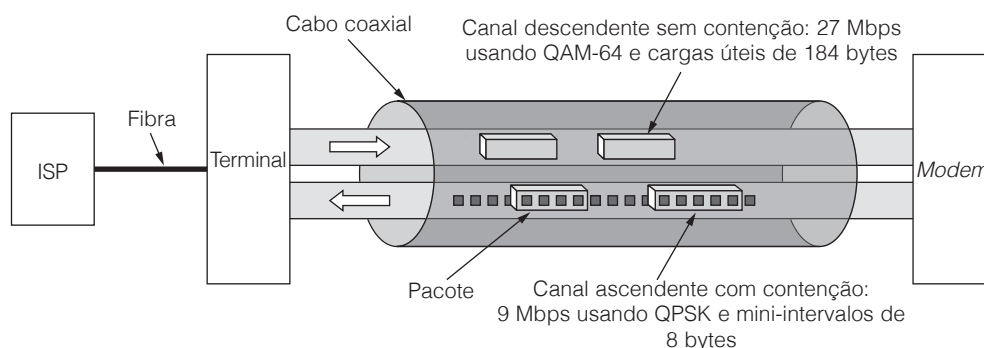
mais mini-intervalos de tempo consecutivos. O terminal de distribuição anuncia periodicamente o início de uma nova rodada de mini-intervalos, mas o tiro de largada não é ouvido por todos os *modems* simultaneamente por causa do tempo de propagação pelo cabo. Sabendo a que distância está do terminal de distribuição, cada *modem* pode calcular há quanto tempo o primeiro mini-intervalo de fato começou. O comprimento do mini-intervalo depende da rede. Uma carga útil típica é 8 bytes.

Durante a inicialização, o terminal de distribuição também designa cada *modem* a um mini-intervalo que será usado para requisitar largura de banda ascendente. Como regra, múltiplos *modems* serão designados ao mesmo mini-intervalo, o que leva à disputa. Quando um computador quer enviar um pacote, ele o transfere ao *modem*, que então requisita o número necessário de mini-intervalos para ele. Se a requisição for aceita, o terminal de distribuição manda um reconhecimento pelo canal descendente, informando ao *modem* quais mini-intervalos foram reservados para seu pacote. Então, o pacote é enviado, começando no mini-intervalo a ele alocado. Pacotes adicionais podem ser requisitados usando um campo no cabeçalho.

Por outro lado, se houver disputa para o mini-intervalo requisitado, nenhum reconhecimento será enviado e o *modem* espera um tempo aleatório, e tenta mais uma vez. Após cada uma dessas tentativas sucessivas malsucedidas, o tempo aleatório é duplicado para distribuir a carga quando o tráfego estiver pesado.

Os canais descendentes são gerenciados de modo diferente dos canais ascendentes. Uma razão é que há só um remetente (o terminal de distribuição), portanto, não há nenhuma disputa e nenhuma necessidade de mini-intervalos que, na verdade, é apenas um modo de multiplexação por divisão estatística. Outra razão é que o tráfego descendente costuma ser muito maior do que o ascendente, portanto, é um pacote de tamanho fixo de 204 bytes. Parte dele é um código de correção de erros Reed-Solomon e algumas outras informações de controle, sobrando 184 bytes de carga útil para o usuário. Esses números foram escolhidos por compatibilidade com a televisão digital, que usa MPEG-2, de modo que os canais de TV e os canais descendentes sejam formatados do mesmo modo. O aspecto lógico das conexões é mostrado na Figura 2.42.

Figura 2.42 Detalhes típicos dos canais ascendente e descendente na América do Norte. QAM-64 (Quadrature Amplitude Modulation – modulação de amplitude em quadratura) permite 6 bits/Hz, mas funciona somente em altas frequências. QPSK (Quadrature Phase Shift Keying – modulação por chaveamento de fase em quadratura) funciona em baixas frequências, mas permite apenas 2 bits/Hz.



Voltando à inicialização do *modem*, uma vez concluída a *ranging* e obtida a designação de seu canal ascendente, canal descendente e mini-intervalo, ele está liberado para começar a enviar pacotes. Esses pacotes vão até o terminal de distribuição, que os retransmite por um canal dedicado até a central da operadora por cabo e então até o ISP (que pode ser a própria empresa por cabo). O primeiro pacote é dirigido à ISP e requisita um endereço de rede (tecnicamente, um endereço IP) que é designado dinamicamente. O pacote também requisita e obtém um horário exato.

A próxima etapa envolve segurança. Uma vez que o cabo é um meio compartilhado, quem quiser se dar ao trabalho pode ler todo o tráfego que passar por ele. Para evitar que qualquer um bisbilhote seus vizinhos (lite-

almente), todo o tráfego é criptografado em ambas as direções. Parte do procedimento de inicialização envolve estabelecer chaves criptográficas. A princípio, poderíamos pensar que conseguir que dois estranhos, o terminal de distribuição e o *modem*, combinem uma chave secreta em plena luz do dia com milhares de pessoas vigiando seria algo difícil. Acontece que não é, mas a técnica usada (o algoritmo Diffie-Hellman) está fora do escopo deste livro. Uma discussão sobre esse algoritmo é dada em Kaufman et al. (2002).

Por fim, o *modem* tem de registrar (fazer *login*) e fornecer seu identificador exclusivo pelo canal seguro. Nesse ponto, está concluída a inicialização. Agora, o usuário pode se conectar com o ISP e começar a trabalhar.

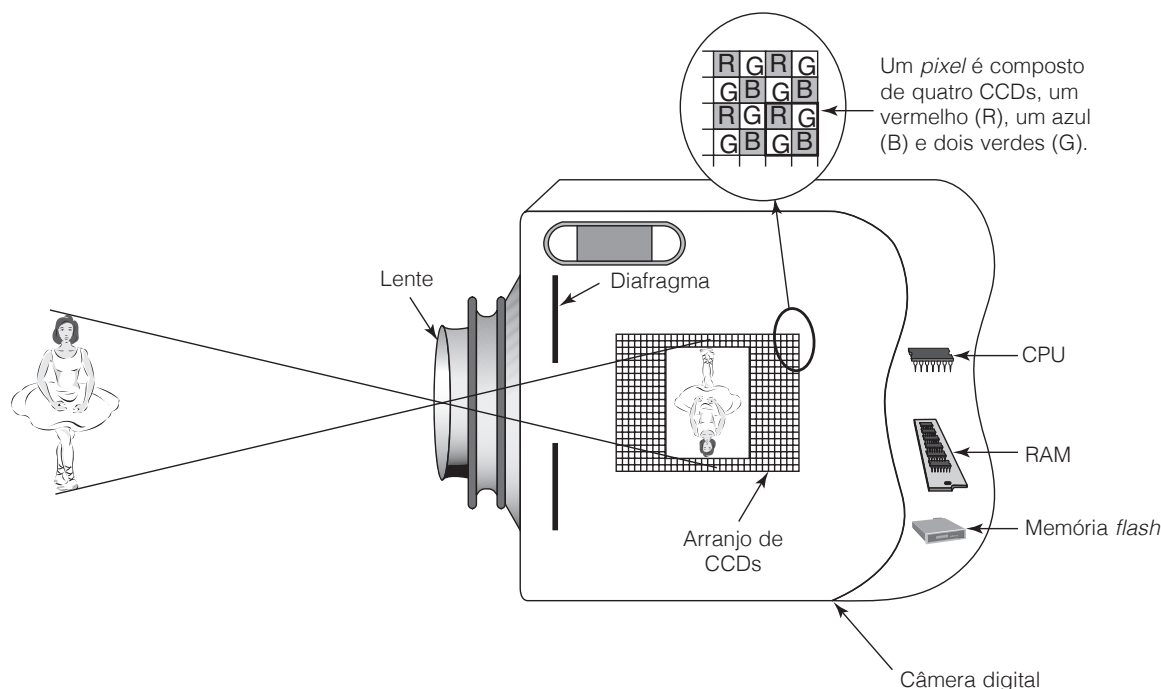
Há muito mais a ser dito sobre *modems* a cabo. Algumas referências relevantes são: Adams e Dulchinos, 2001; Donaldson e Jones, 2001; Dutta-Roy, 2001.

2.4.7 Câmeras digitais

Uma utilização cada vez mais popular de computadores é a fotografia digital, o que transforma câmeras digitais em uma espécie de periférico de computador. Vamos descrever rapidamente como isso funciona. Todas as câmeras têm uma lente que forma uma imagem do sujeito no fundo da câmera. Em um equipamento convencional, o fundo da câmera está coberto por uma película fotográfica sobre a qual é formada uma imagem latente quando a luz a atinge. Essa imagem latente pode ficar visível pela ação de certos produtos químicos presentes no líquido de revelação, ou revelador. Uma câmera digital funciona da mesma maneira, exceto que o filme é substituído por um arranjo retangular de **CCDs (Charge-Coupled Devices – dispositivos de carga acoplada)** sensíveis à luz. (Algumas câmeras digitais usam CMOS [Complementary Metal-Oxide Semiconductor – semicondutor de óxido metálico complementar], mas aqui vamos nos concentrar nos CCDs, que são mais comuns.)

Quando a luz atinge um CCD, ele adquire uma carga elétrica. Quanto mais luz, mais carga. A carga pode ser lida em um conversor analógico para digital como um inteiro de 0 a 255 (em câmeras mais baratas) ou de 0 a 4.095 (em câmeras *reflex* digitais de uma lente). A configuração básica é mostrada na Figura 2.43.

Figura 2.43 Câmera digital.



Cada CCD produz um único valor, independente da cor da luz que o atinge. Para formar imagens coloridas, os CCDs são organizados em grupos de quatro elementos. Um **filtro Bayer** é colocado no topo do CCD de modo a permitir que somente a luz vermelha atinja um dos quatro em cada grupo, apenas a luz azul atinja um outro e só a luz verde atinja os outros dois. São usados dois CCDs para a luz verde porque utilizar quatro CCDs para representar um *pixel* é muito mais conveniente do que usar três, e o olho é mais sensível à luz verde do que à vermelha ou à azul. Quando um fabricante afirma que uma câmera tem, por exemplo, 6 milhões de *pixels*, ele está mentindo. A câmera tem 6 milhões de CCDs que, juntos, formam 1,5 milhão de *pixels*. A imagem será lida como um arranjo de 2.828×2.121 *pixels* (em câmeras de baixo preço) ou de 3.000×2.000 *pixels* (em SLRs digitais), mas os *pixels* extras são produzidos por interpolação pelo software dentro da câmera.

Quando o botão do obturador da câmera é pressionado, o software no equipamento realiza três tarefas: ajusta o foco, determina a exposição e efetua o equilíbrio do branco. O autofoco funciona analisando a informação de alta frequência na imagem e então movimentando a lente até que ela seja maximizada, para dar o máximo de detalhe. A exposição é determinada medindo a luz que cai sobre os CCDs e então ajustando o diafragma da lente e o tempo de exposição para fazer a intensidade da luz cair no meio da faixa de alcance dos CCDs. Ajustar o equilíbrio do branco tem a ver com medir o espectro da luz incidente para efetuar as necessárias correções de cor mais tarde.

Então, a imagem é lida com base nos CCDs e armazenada como um arranjo de *pixels* na RAM interna da câmera. SLRs de primeira linha usados por fotojornalistas podem fotografar oito quadros de alta resolução por segundo por 5 segundos, e precisam de cerca de 1 GB de RAM interna para armazenar as imagens antes de processá-las e armazená-las permanentemente. Câmeras mais baratas têm menos RAM, mas ainda assim têm boa quantidade.

Na fase de pós-captura, o software da câmera aplica correção da cor por equilíbrio do branco para compensar a luz avermelhada ou azulada (por exemplo, de um objeto na sombra ou da utilização de um *flash*). Em seguida, ele aplica um algoritmo para reduzir ruído e outro para compensar CCDs defeituosos. Logo após, o software tenta dar melhor definição à imagem (a menos que essa característica esteja desativada), procurando contornos e aumentando o gradiente de intensidade ao redor deles.

Por fim, a imagem pode ser comprimida para reduzir a quantidade de armazenagem requerida. Um formato comum é o **JPEG (Joint Photographic Experts Group – grupo associado de especialistas em fotografia)**, no qual uma transformada de Fourier espacial bidimensional é aplicada e alguns dos componentes de alta frequência são omitidos. O resultado dessa transformação é que a imagem requer um número menor de bits de armazenagem, mas perdem-se os detalhes mais sutis.

Quando todo processamento interno à câmera estiver concluído, a imagem é gravada no meio de armazenagem, em geral uma memória rápida ou um minúsculo disco rígido removível denominado *microdrive*. O pós-processamento e a gravação podem levar vários segundos por imagem.

Quando o usuário chega em casa, a câmera pode ser conectada a um computador, em geral usando, por exemplo, uma entrada USB ou um cabo específico. Então, as imagens são transferidas da câmera para o disco rígido do computador. Usando software especial, tal como o Adobe Photoshop, o usuário pode recortar a imagem, ajustar brilho, contraste e equilíbrio de cor, destacar, escurecer ou remover porções da imagem e aplicar diversos filtros. Quando ele estiver contente com o resultado, os arquivos podem ser impressos em uma impressora em cores, enviados pela Internet a uma loja especializada para fazer o acabamento ou gravados em um CD-ROM ou DVD para armazenagem em arquivo e subsequente impressão.

A quantidade de capacidade computacional, RAM, espaço em disco rígido e software em uma câmera digital SLR é estarrecedora. Além de o computador ter de fazer todas as coisas mencionadas, ainda precisa se comunicar com a CPU na lente e com a CPU na memória rápida, renovar a imagem na tela LCD e gerenciar todos os botões, engrenagens, luzes, mostradores e dispositivos da câmera em tempo real. Esse sistema embutido é extremamente poderoso e muitas vezes rivaliza com um computador de mesa de apenas alguns anos atrás.

2.4.8 Códigos de caracteres

Cada computador tem um conjunto de caracteres que ele usa. O conjunto mínimo contém as 26 letras maiúsculas, as 26 letras minúsculas, os algarismos de 0 a 9 e um conjunto de símbolos especiais, como espaço, sinal de menos, vírgula e retorno ao início da linha.

Para transferir esses caracteres para o computador, um número é designado a cada um, por exemplo, a = 1, b = 2, ..., z = 26, + = 27, - = 28. O mapeamento de caracteres para números inteiros é denominado **código de caracteres**. É essencial que computadores que se comunicam usem o mesmo código ou não conseguirão se entender. Por essa razão, foram desenvolvidos padrões. A seguir, examinaremos dois dos mais importantes.

● ASCII

Um código de ampla utilização é denominado ASCII (**American Standard Code for Information Interchange – código padrão americano para troca de informações**). Cada caractere ASCII tem 7 bits, o que permite 128 caracteres no total. Porém, como os computadores são orientados a byte, cada caractere ASCII é armazenado em um byte separado. A Figura 2.44 mostra o código ASCII. Os códigos de 0 a 1F (hexadecimal) são caracteres de controle e não são impressos. Os códigos de 128 a 255 não fazem parte do ASCII, mas o IBM PC os definiu para serem caracteres especiais, como os *smileys*, e a maioria dos computadores tem suporte para eles.

Figura 2.44 O conjunto de caracteres ASCII.

Hexa	Nome	Significado	Hexa	Nome	Significado
0	NUL	Null	10	DLE	Data Link Escape
1	SOH	Start Of Heading	11	DC1	Device Control 1
2	STX	Start Of TeXt	12	DC2	Device Control 2
3	ETX	End Of TeXt	13	DC3	Device Control 3
4	EOT	End Of Transmission	14	DC4	Device Control 4
5	ENQ	Enquiry	15	NAK	Negative Acknowledgement
6	ACK	ACKnowledgement	16	SYN	SYNchronous idle
7	BEL	BELl	17	ETB	End of Transmission Block
8	BS	BackSpace	18	CAN	CANcel
9	HT	Horizontal Tab	19	EM	End of Medium
A	LF	Line Feed	1A	SUB	SUBstitute
B	VT	Vertical Tab	1B	ESC	ESCape
C	FF	Form Feed	1C	FS	File Separator
D	CR	Carriage Return	1D	GS	Group Separator
E	SO	Shift Out	1E	RS	Record Separator
F	SI	Shift In	1F	US	Unit Separator

Hexa	Car	Hexa	Car	Hexa	Car	Hexa	Car	Hexa	Car	Hexa	Car
20	Espaço	30	0	40	@	50	P	60	'	70	p
21	!	31	1	41	A	51	Q	61	a	71	q
22	"	32	2	42	B	52	R	62	b	72	r
23	#	33	3	43	C	53	S	63	c	73	s
24	\$	34	4	44	D	54	T	64	d	74	t
25	%	35	5	45	E	55	U	65	e	75	u
26	&	36	6	46	F	56	V	66	f	76	v
27	'	37	7	47	G	57	W	67	g	77	w
28	(	38	8	48	H	58	X	68	h	78	x
29	)	39	9	49	I	59	Y	69	i	79	y

Hexa	Car	Hexa	Car	Hexa	Car	Hexa	Car	Hexa	Car	Hexa	Car
2A	*	3A	:	4A	J	5A	Z	6A	j	7A	z
2B	+	3B	;	4B	K	5B	[	6B	k	7B	{
2C	,	3C	<	4C	L	5C	\	6C	l	7C	|
2D	-	3D	=	4D	M	5D	]	6D	m	7D	}
2E	.	3E	>	4E	N	5E	^	6E	n	7E	~
2F	/	3F	?	4F	O	5F	_	6F	o	7F	DEL

Muitos dos caracteres de controle ASCII são destinados à transmissão de dados. Por exemplo, uma mensagem pode ser composta de um caractere SOH (*start of header* – início de cabeçalho), um caractere STX (*start of text* – início de texto), o texto em si, um caractere ETX (*end of text* – fim do texto) e então um caractere EOT (*end of transmission* – fim da transmissão). Contudo, na prática, as mensagens enviadas por linhas telefônicas e redes são formatadas de modo muito diferente, de modo que os caracteres ASCII de controle de transmissão já não são muito usados.

Os caracteres de impressão ASCII são diretos. Incluem as letras maiúsculas e minúsculas, dígitos, sinais de pontuação e alguns símbolos matemáticos.

Unicode

A indústria do computador se desenvolveu em grande parte nos Estados Unidos, o que levou ao conjunto de caracteres ASCII. Esse código é bom para a língua inglesa, mas não tão bom para outros idiomas. O francês precisa de acentos (por exemplo, *systeme*); o alemão precisa de sinais diacríticos (por exemplo, *für*) e assim por diante. Algumas línguas europeias têm certas letras que não se encontram no ASCII, tais como a alemã ß e a dinamarquesa ø. Alguns idiomas têm alfabetos inteiramente diferentes (por exemplo, russo e árabe), e algumas poucas línguas não têm alfabeto algum (por exemplo, a chinesa). Como os computadores se espalharam pelos quatro cantos do mundo e como os fabricantes de software querem vender produtos em países onde a maioria dos usuários não fala inglês, é preciso um novo conjunto de caracteres.

A primeira tentativa de ampliar o ASCII foi o IS 646, que acrescentou mais 128 caracteres ao ASCII, transformando-o em um código de 8 bits denominado **Latin-1**. A maioria dos caracteres adicionais eram letras latinas com acentos e sinais diacríticos. A próxima tentativa foi o IS 8859, que introduziu o conceito de uma **página de código**, um conjunto de 256 caracteres para um idioma particular ou grupo de idiomas. O IS 8859-1 é Latin-1. O IS 8859-2 trata dos idiomas eslavos baseados no latim (por exemplo, tcheco, polonês e húngaro). O IS 8859-3 contém os caracteres necessários para os idiomas turco, maltês, esperanto, galego e assim por diante. O problema da abordagem da página de código é que o software tem de manter controle da página em que está; é impossível misturar idiomas nas páginas e o esquema não cobre a língua japonesa nem a chinesa.

Um grupo de empresas de computadores resolveu esse problema formando um consórcio para criar um novo sistema, denominado **Unicode**, e transformando-o em um Padrão Internacional (IS 10646). Agora, o Unicode é suportado por algumas linguagens de programação (por exemplo, Java), alguns sistemas operacionais (por exemplo, Windows) e muitas aplicações.

A ideia que fundamenta o Unicode é designar a cada caractere e símbolo um valor único de 16 bits, denominado **ponto de código**. Não são usados caracteres multibytes nem sequências de escape. Símbolos de 16 bits simplificam a escrita do software.

Com símbolos de 16 bits, o Unicode tem 65.536 pontos de código. Visto que todos os idiomas do mundo usam cerca de 200 mil símbolos, os pontos de código são um recurso escasso que deve ser alocado com grande cuidado. Para acelerar a aceitação do Unicode, o consórcio teve a brilhante ideia de usar Latin-1 como pontos de código 0 a 255, o que facilita a conversão entre ASCII e Unicode. Para evitar desperdiçar pontos de código, cada sinal diacrítico tem seu próprio ponto de código. Cabe ao software combinar sinais diacríticos com seus vizinhos para formar novos caracteres. Embora isso aumente o trabalho do software, economiza preciosos pontos de código.

O espaço do ponto de código é dividido em blocos, cada qual um múltiplo de 16 pontos de código. Todo alfabeto importante em Unicode tem uma sequência de zonas consecutivas. Alguns exemplos (e o número de pontos de código alocados) são latim (336), grego (144), cirílico (256), armênio (96), hebraico (112), devanágari (128), gurmuqui (128), oríá (128), telugo (128) e canará (128). Note que cada um desses idiomas recebeu um número maior de pontos de código do que número de letras que possui. Essa opção foi escolhida em parte porque muitas línguas têm várias formas para cada letra. Por exemplo, cada letra em português tem duas formas – minúscula e MAIÚSCULA. Alguns idiomas têm três ou mais formas, possivelmente dependendo de a letra estar no início, no meio ou no final de uma palavra.

Além desses alfabetos, foram designados pontos de código para sinais diacríticos (112), sinais de pontuação (112), subscritos e sobrescritos (48), símbolos monetários (48), símbolos matemáticos (256), formas geométricas (96) e sinais variados (*dingbats*) (192).

Depois desses, vêm os símbolos necessários para as línguas chinesa, japonesa e coreana. Primeiro, há 1.024 símbolos fonéticos (por exemplo, *katakana* e *bopomofo*) e, em seguida, os ideogramas han unificados (20.992) usados em chinês e japonês, e as sílabas hangul do idioma coreano (11.156).

Para permitir que os usuários inventem caracteres especiais para finalidades especiais, 6.400 pontos de código foram designados para uso local.

Embora o Unicode solucione muitas dificuldades associadas com a internacionalização, ele não resolve (nem tenta resolver) todos os problemas do mundo. Por exemplo, enquanto o alfabeto latino está em ordem alfabética, os ideogramas han não estão na ordem do dicionário. Por conseguinte, um programa em inglês pode procurar *cat* e *dog* em ordem alfabética simplesmente comparando o valor Unicode de seu primeiro caractere. Um programa em japonês precisa de tabelas externas para interpretar qual dos dois símbolos vem antes do outro no dicionário.

Outra questão é que surgem novas palavras o tempo todo. Há 50 anos ninguém falava de *applets*, ciberespaço, gigabytes, lasers, *modems*, *smileys* ou videoteipes. Acrescentar novas palavras em inglês não requer novos pontos de código, mas adicioná-las em japonês, sim. Além de novas palavras técnicas, há uma demanda para adicionar no mínimo 20 mil novos nomes de pessoas e lugares (a maioria chineses). Os cegos acham que o braille deveria estar presente e grupos de interesse especial de todos os tipos querem o que entendem como pontos de código a que têm direito. O consórcio Unicode estuda e decide todas as novas propostas.

O Unicode usa o mesmo ponto de código para caracteres que parecem quase idênticos mas têm significados diferentes ou são escritos de maneira ligeiramente diferente em japonês e chinês (como se processadores de texto em inglês sempre escrevessem *blue* como *blew*, porque têm o mesmo som). Há quem considere isso uma otimização para economizar pontos de código escassos; outros o veem como imperialismo cultural anglo-saxão (e você acha que designar 16 bits para caracteres não foi uma decisão muito política?). Para piorar as coisas, um dicionário japonês completo tem 50 mil *kanji* (excluindo nomes), portanto, com apenas 20.992 pontos de código disponíveis para os ideogramas han, escolhas tiveram de ser feitas. Nem todos os japoneses acham que um consórcio de fabricantes de computadores – mesmo que alguns deles sejam japoneses – é o fórum ideal para fazer essas escolhas.

Adivinha só: 65.536 pontos de código não foram suficientes para satisfazer a todos, de modo que, em 1996, 16 planos adicionais de 16 bits cada foram acrescentados, expandindo o número total de caracteres para 1.114.112.

● UTF-8

Embora melhor que o ASCII, o Unicode por fim esgotou os pontos de código e também requer 16 bits por caractere para representar o texto ASCII puro, o que é um desperdício. Por conseguinte, outro esquema de codificação foi desenvolvido para resolver essas questões. Ele é denominado **Formato de Transformação UTF-8 UCS**, em que UCS significa **Universal Character Set** (**conjunto de caracteres universal**), que é Unicode na essência. Códigos UTF-8 têm tamanho variável, de 1 a 4 bytes, e podem codificar cerca de dois bilhões de caracteres. Ele é o conjunto de caracteres dominante em uso na Web.

Uma das propriedades interessantes do UTF-8 é que os códigos de 0 a 127 são os caracteres ASCII, permitindo que sejam expressos em 1 byte (contra os 2 bytes do Unicode). Para caracteres que não são ASCII, o bit de alta ordem do primeiro byte é definido como 1, indicando que virão 1 ou mais bytes adicionais. No fim, seis formatos diferentes são usados, conforme ilustra a Figura 2.45. Os bits marcados com “d” são bits de dados.

Figura 2.45 O esquema de codificação UTF-8.

Bits	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6
7	0ddddddd					
11	110dddddd	10ddddddd				
16	1110dddd	10ddddddd	10ddddddd			
21	11110ddd	10ddddddd	10ddddddd	10ddddddd		
26	111110dd	10ddddddd	10ddddddd	10ddddddd	10ddddddd	
31	1111110d	10ddddddd	10ddddddd	10ddddddd	10ddddddd	10ddddddd

O UTF-8 tem uma série de vantagens em relação ao Unicode e outros esquemas. Primeiro, se um programa ou documento utiliza apenas caracteres que estão no conjunto ASCII, cada um pode ser representado em 8 bits. Segundo, o primeiro byte de cada caractere UTF-8 determina exclusivamente o número de bytes deste. Terceiro, os bytes de continuação em um caractere UTF-8 sempre começam com 10, enquanto o byte inicial nunca começa assim, tornando o código autossincronizável. Em particular, no caso de um erro de comunicação ou memória, sempre é possível prosseguir e achar o início do próximo caractere (supondo que ele não tenha sido danificado).

Em geral, o UTF-8 é usado para codificar apenas os 17 planos Unicode, embora o esquema tenha muito mais de 1.114.112 pontos de código. Porém, se os antropólogos descobrirem novas tribos em Nova Guiné (ou em outro lugar) cujos idiomas ainda não sejam conhecidos (ou se, no futuro, fizermos contato com extraterrestres), o UTF-8 conseguirá acrescentar seus alfabetos ou ideogramas.

2.5 Resumo

Sistemas de computadores são compostos por três tipos de componentes: processadores, memórias e dispositivos de E/S. A tarefa de um processador é buscar instruções, uma por vez, em uma memória, decodificá-las e executá-las. O ciclo busca-decodificação-execução pode ser descrito como um algoritmo e, na verdade, às vezes ele é executado por um interpretador de software que roda em um nível mais baixo. Para ganhar velocidade, muitos computadores agora têm um ou mais *pipelines* (paralelismo) ou têm um projeto superescalar com múltiplas unidades funcionais que funcionam em paralelo. Um *pipeline* permite que uma instrução seja dividida em etapas e as etapas para diferentes instruções sejam executadas ao mesmo tempo. Múltiplas unidades funcionais é outra forma de obter paralelismo sem afetar o conjunto de instruções ou a arquitetura visível ao programador ou compilador.

Sistemas com vários processadores são cada vez mais comuns. Computadores paralelos incluem processadores matriciais, nos quais a mesma operação é efetuada sobre múltiplos conjuntos de dados ao mesmo tempo; multiprocessadores, nos quais várias CPUs compartilham uma memória; e multicomputadores, nos quais cada um dos vários computadores tem sua própria memória, mas se comunicam passando mensagens.

Memórias podem ser categorizadas como primárias ou secundárias. A memória primária é usada para conter o programa que está sendo executado no momento. Seu tempo de acesso é curto – algumas poucas dezenas de nanossegundos, no máximo – e independe do endereço que está sendo acessado. *Caches* reduzem ainda mais esse tempo de acesso. Eles são necessários porque as velocidades do processador são muito maiores do que as velocidades da memória, o que significa que ter de esperar pelos acessos à memória o tempo todo atrasa bastante a execução do processador. Algumas memórias são equipadas com códigos de correção de erros para aumentar a confiabilidade.

Memórias secundárias, ao contrário, têm tempos de acesso muito mais longos (milissegundos ou mais) e dependem da localização dos dados que estão sendo lidos ou escritos. Fitras, discos magnéticos e discos ópticos são as memórias secundárias mais comuns. Há muitas variedades de discos magnéticos, incluindo discos IDE, discos SCSI e RAIDs. Entre os discos ópticos figuram CD-ROMs, CD-Rs, DVDs e Blu-rays.

Dispositivos de E/S são usados para transferir informações para dentro e para fora do computador. Então, são conectados ao processador e à memória por um ou mais barramentos. Alguns exemplos são terminais, mouses, impressoras e *modems*. A maioria dos dispositivos de E/S usa o código de caracteres ASCII, embora o Unicode também seja usado e o UTF-8 esteja ganhando rápida aceitação à medida que a indústria de computadores se volta mais para a Web.

Problemas

1. Considere a operação de uma máquina que tenha o caminho de dados da Figura 2.2. Suponha que carregar os registradores de entrada da ULA leve 5 ns, executar a ULA demore 10 ns e armazenar o resultado de volta no registrador de rascunho tome 5 ns. Qual é o número máximo de MIPS de que essa máquina é capaz na ausência de paralelismo (*pipelining*)?
2. Qual é a finalidade da etapa 2 na lista da Seção 2.1.2? O que aconteceria se essa etapa fosse omitida?
3. No computador 1, o tempo de execução de todas as instruções é 10 ns. No computador 2, o tempo de execução é de 5 ns. Você pode afirmar com certeza que o computador 2 é mais rápido? Discuta sua resposta.
4. Imagine que você está projetando um computador de um só chip para um sistema embutido. O chip conterá toda sua memória e executará à mesma velocidade da CPU sem penalidade de acesso. Examine cada um dos princípios discutidos na Seção 2.1.4 e diga por que são tão importantes (admitindo que ainda se deseje alto desempenho).
5. Para competir com a prensa impressora recentemente inventada, um mosteiro medieval decidiu produzir em massa livros escritos em papel, reunindo um vasto número de escribas em uma grande sala. O superior do mosteiro então ditaria a primeira palavra do livro a ser produzido e todos os escribas a escreveriam. Em seguida, ele ditaria a segunda palavra e todos os escribas a escreveriam. Esse processo seria repetido até que o livro inteiro fosse lido e copiado. Com qual dos sistemas de processador paralelo discutidos na Seção 2.1.6 esse sistema é mais parecido?
6. À medida que descemos na hierarquia de memória de cinco níveis discutida no texto, o tempo de acesso aumenta. Faça uma estimativa razoável da razão entre o tempo de acesso por disco óptico e o tempo de acesso ao registrador da memória. Suponha que o disco já esteja on-line.
7. Sociólogos podem obter três respostas possíveis para uma típica pergunta de levantamento como “Você acredita em Papai Noel?” – ou seja: sim, não, nenhuma opinião. Tendo isso em mente, a Sociomagnetic Computer Company decidiu construir um computador para processar os dados do levantamento. Esse computador tem uma memória ternária, isto é, cada byte (tryte?) consiste em 8 trits, sendo que um trit contém um 0, um 1 ou um 2. Quantos trits são necessários para conter um número de 6 bits? Escreva uma expressão para o número de trits necessário para conter n bits.
8. Calcule a taxa de dados do olho humano usando as seguintes informações. O campo visual consiste em cerca de 10^6 elementos (*pixels*). Cada *pixel* pode ser reduzido a uma sobreposição das três cores primárias, cada uma com 64 intensidades. A resolução temporal é de 100 ms.
9. Calcule a taxa de dados do ouvido humano usando as seguintes informações. As pessoas podem ouvir frequências de até 22 kHz. Para capturar toda a informação em um sinal sonoro a 22 kHz, é preciso amostrar o som a duas vezes aquela frequência, isto é, a 44 kHz. Uma amostra de 16 bits provavelmente basta para capturar a maioria das informações auditivas (isto é, o ouvido não pode distinguir mais do que 65.535 níveis de intensidade).
10. As informações genéticas de todos os seres vivos estão codificadas como moléculas de DNA. Uma molécula de DNA é uma sequência linear dos quatro nucleotídeos básicos: A, C, G e T. O genoma humano contém cerca de 3×10^9 nucleotídeos na forma de mais ou menos 30 mil genes. Qual é a capacidade total de informações (em bits) do genoma humano? Qual é a capacidade máxima de informações (em bits) do gene médio?
11. Certo computador pode ser equipado com 1.073.741.824 bytes de memória. Por que um fabricante escolheria tal número peculiar, em vez de um número fácil de lembrar, como 1 milhão?
12. Invente um código de Hamming de paridade par de 7 bits para os dígitos 0 a 9.
13. Invente um código para os dígitos 0 a 9 cuja distância de Hamming seja 2.
14. Em um código de Hamming, alguns bits são “desperdiçados” no sentido de que são usados para verificação, e não para informação. Qual é a porcentagem de bits desperdiçados para mensagens cujo