

escala, quando pôde contar com a difusão da eletricidade. O uso difundido da eletricidade a partir de 1870 mudou os transportes, telégrafos, iluminação e, não menos importante, o trabalho nas fábricas mediante a difusão de energia na forma de motores elétricos. Na verdade, embora as fábricas sejam associadas à primeira Revolução Industrial, por quase um século elas não foram concomitantes com o uso da máquina a vapor, bastante utilizada em pequenas oficinas artesanais, enquanto muitas fábricas grandes continuavam a usar fontes melhoradas de energia hidráulica (daí a razão de, por muito tempo, terem sido conhecidas como moinhos). Foi o motor elétrico que tanto tornou possível quanto induziu a organização do trabalho em larga escala nas fábricas industriais.³⁷ Nas palavras de R. J. Forbes (em 1958):

Durante os últimos 250 anos, cinco novos motores primários importantes geraram aquilo que é freqüentemente chamado de a Era das Máquinas. No século XVIII foi a máquina a vapor; no séc. XIX a turbina hidráulica, o motor de combustão interna e a turbina a vapor; no séc. XX a turbina de combustão. Historiadores sempre inventaram lemas que denotassem movimentos ou correntes históricas. Assim é com a “Revolução Industrial” título para um processo de desenvolvimento freqüentemente descrito como tendo seu início no começo do século XVIII e estendendo-se por quase todo o século XIX. Foi um movimento lento, mas forjou mudanças tão profundas em sua combinação entre progresso material e deslocamento social que, no conjunto, talvez possam ser descritas como revolucionárias se consideradas no período de tempo abrangido por essas datas.³⁸

Portanto, atuando no processo central de todos os processos — ou seja, a energia necessária para produzir, distribuir e comunicar — as duas Revoluções Industriais difundiram-se por todo o sistema econômico e permearam todo o tecido social. Fontes móveis de energia barata e acessível expandiram e aumentaram a força do corpo humano, criando a base material para a continuação histórica de um movimento semelhante rumo à expansão da mente humana.

A seqüência histórica da revolução da tecnologia da informação

A breve, porém intensa, história da revolução da tecnologia da informação foi contada tantas vezes nos últimos anos, que é desnecessário dar ao leitor um outro relato completo.³⁹ Além disso, devido ao ritmo acelerado dessa revolução,

qualquer outro relato tornar-se-ia obsoleto, tanto que, entre o momento em que este livro está sendo escrito e o de sua leitura (digamos 18 meses), *microchips* terão dobrado seu desempenho a um determinado preço, de acordo com a geralmente aceita “lei de Moore”.⁴⁰ Todavia, considero útil para a análise nos lembrarmos dos principais eixos da transformação tecnológica em geração/processamento/transmissão da informação, colocando-os na sequência que se deslocou rumo à formação de um novo paradigma sociotécnico.⁴¹ Este breve resumo me autorizará, posteriormente, a omitir referências sobre aspectos técnicos ao discutir sua interação específica com a economia, cultura e sociedade por todo o itinerário intelectual deste livro, exceto quando novos elementos de informação forem necessários.

Macromudanças da microengenharia: eletrônica e informação

Apesar de os antecessores industriais e científicos das tecnologias da informação com base em microeletrônica já poderem ser observados anos antes da década de 1940⁴² (não menosprezando a invenção do telefone por Bell, em 1876, do rádio por Marconi, em 1898, e da válvula a vácuo por De Forest, em 1906), foi durante a Segunda Guerra Mundial e no período seguinte que se deram as principais descobertas tecnológicas em eletrônica: o primeiro computador programável e o transistor, fonte da microeletrônica, o verdadeiro cerne da revolução da tecnologia da informação no século XX.⁴³ Porém, defendo que, de fato, só na década de 1970 as novas tecnologias da informação difundiram-se amplamente, acelerando seu desenvolvimento sinérgico e convergindo em um novo paradigma. Vamos reconstituir os estágios da inovação em três principais campos da tecnologia que, intimamente inter-relacionados, constituíram a história das tecnologias baseadas em eletrônica: microeletrônica, computadores e telecomunicações.

O transistor, inventado em 1947 na empresa Bell Laboratories em Murray Hill, no estado de Nova Jersey, pelos físicos Bardeen, Brattain e Shockley (ganhadores do Prêmio Nobel pela descoberta), possibilitou o processamento de impulsos elétricos em velocidade rápida e em modo binário de interrupção e amplificação, permitindo a codificação da lógica e da comunicação com e entre as máquinas: esses dispositivos têm o nome de semicondutores, mas as pessoas costumam chamá-los de *chips* (na verdade, agora constituídos de milhões de transistores). O primeiro passo na difusão do transistor foi dado em 1951, com a invenção do transistor de junção por Shockley. Porém, sua fabricação e utilização em ampla escala exigiam novas tecnologias de produção e uso de material

apropriado. A mudança para o silício, construindo, literalmente, a nova revolução na areia, foi pioneiramente realizada pela Texas Instruments (em Dallas) em 1954 (um feito facilitado pela contratação de Gordon Teal, em 1953, outro importante cientista da Bell Laboratories). A invenção do processo plano em 1959 pela empresa Fairchild Semiconductors (localizada no Vale do Silício) abriu a possibilidade de integração de componentes miniaturizados com precisão de fabricação.

Contudo, o passo decisivo da microeletrônica foi dado em 1957: o circuito integrado (CI) foi inventado por Jack Kilby, engenheiro da Texas Instruments (que o patenteou) em parceria com Bob Noyce, um dos fundadores da Fairchild. Mas foi Noyce que fabricou CIs pela primeira vez, usando o processo plano. Essa iniciativa acionou uma explosão tecnológica: em apenas três anos, entre 1959 e 1962, os preços dos semicondutores caíram 85%, e nos dez anos seguintes a produção aumentou vinte vezes, sendo que 50% dela foi destinada a usos militares.⁴⁴ A título de comparação histórica, levou setenta anos (1780 — 1850) para que o preço do tecido de algodão caísse 85% na Inglaterra durante a Revolução Industrial.⁴⁵ Então, o movimento acelerou-se na década de 1960: à medida que a tecnologia de fabricação progredia e se conseguia melhorar o *design* dos *chips* com o auxílio de computadores, usando dispositivos microeletrônicos mais rápidos e mais avançados, o preço médio de um circuito integrado caiu de US\$ 50 em 1962 para US\$ 1 em 1971.

O avanço gigantesco na difusão da microeletrônica em todas as máquinas ocorreu em 1971 quando o engenheiro da Intel, Ted Hoff (também no Vale do Silício), inventou o microprocessador, que é o computador em um único *chip*. Assim, a capacidade de processar informações poderia ser instalada em todos os lugares. Começava a disputa pela capacidade de integração cada vez maior dos circuitos contidos em apenas um *chip*, e a tecnologia de produção e *design* sempre excedia os limites da integração antes considerada fisicamente impossível sem abandonar o uso do silício. Em meados dos anos 90, as avaliações técnicas ainda previam entre dez e vinte anos de emprego satisfatório para os circuitos à base de silício, embora já se tivessem intensificado as pesquisas sobre materiais alternativos. O nível de integração tem progredido em ritmo bastante rápido nos últimos vinte anos. Embora detalhes técnicos não tenham vez neste livro, é pertinente à análise indicar a velocidade e a extensão da transformação tecnológica.

Como se sabe, a capacidade dos *chips* pode ser avaliada por uma combinação de três características: sua capacidade de integração, indicada pela menor largura das linhas de condução no interior do *chip* medida em mícrons (1 mícron = a milionésima parte de uma polegada); sua capacidade de memória, medida em

bytes: milhares (*kbytes*) e milhões (*megabytes*); e a velocidade do microprocessador medida em megahertz. Assim, o primeiro processador de 1971 foi produzido com linhas de aproximadamente 6,5 mícrons; em 1980 alcançou 4 mícrons; em 1987, 1 mícron; em 1995, o Pentium da Intel tinha um tamanho na faixa de 0,35 mícron; e as projeções já estavam em 0,25 mícron em 1999. Assim, enquanto em 1971 cabiam 2.300 transistores em um *chip* do tamanho da cabeça de uma tachinha , em 1993 cabiam 35 milhões. Em 1971, a capacidade de memória, indicada como memória DRAM (memória dinâmica de acesso aleatório), era de 1.024 bytes; em 1980, 64.000; em 1987, 1.024.000; em 1993, 16.384.000; e, segundo as projeções, de 256.000.000 bytes em 1999. No tocante à velocidade, em meados da década de 1990 os microprocessadores de 64 *bits* eram 550 vezes mais rápidos que o primeiro *chip* da Intel em 1972; e o número de MPUs dobra a cada 18 meses. As projeções para 2002 prevêem uma aceleração da tecnologia de microeletrônica na integração (*chips* de 0,18 mícron), na capacidade da memória DRAM (1.024 *megabytes*) e na velocidade dos microprocessadores (até mais de 500 megahertz, comparados aos 150 de 1993). Ao combinar os surpreendentes desenvolvimentos em processamento paralelo, usando microprocessadores múltiplos (inclusive, no futuro, unindo-se microprocessadores múltiplos em apenas um *chip*), parece que o poder da microeletrônica ainda está sendo liberado, aumentando continuamente a capacidade da computação. Além disso, a miniaturização, a maior especialização e a queda dos preços dos *chips* de capacidade cada vez maior possibilitaram sua utilização em máquinas usadas em nossa rotina diária, de lava-louças e fornos de microondas a automóveis, cujos instrumentos eletrônicos, nos modelos básicos dos anos 90, alcançaram um valor mais alto que o próprio aço utilizado em sua fabricação.

Os computadores também foram concebidos pela mãe de todas as tecnologias, a Segunda Guerra Mundial, mas nasceram somente em 1946 na Filadélfia, se não considerarmos as ferramentas desenvolvidas com objetivos bélicos, como o Colossus britânico (1943) para decifrar códigos inimigos e o Z-3 alemão que, como dizem, foi criado em 1941 para auxiliar os cálculos das aeronaves.⁴⁶ Todavia, os Aliados concentravam a maior parte de seus esforços em eletrônica nos programas de pesquisa do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts), e a verdadeira experiência da capacidade das calculadoras ocorreu na universidade da Pensilvânia com o patrocínio do exército norte-americano, onde Mauchly e Eckert desenvolveram o primeiro computador para uso geral, em 1946, o ENIAC (calculadora e integrador numérico eletrônico). Os historiadores lembram que o primeiro computador eletrônico pesava 30 toneladas, foi construído sobre estruturas metálicas com 2,75 m de altura, tinha 70 mil resistores e 18 mil válvulas a

vácuo e ocupava a área de um ginásio esportivo. Quando ele foi acionado, seu consumo de energia foi tão alto que as luzes de Filadélfia piscaram.⁴⁷

Porém, a primeira versão comercial dessa máquina primitiva, o UNIVAC1, desenvolvido em 1951 pela mesma equipe e depois com a marca Remington Rand, alcançou tremendo sucesso no processamento dos dados do Censo norte-americano de 1950. A IBM, também patrocinada por contratos militares e, em parte, contando com as pesquisas do MIT, superou suas restrições iniciais em relação à era do computador e entrou na disputa em 1953 com uma máquina de 701 válvulas. Em 1958, quando Sperry Rand introduziu um computador de grande porte (*mainframe*) de segunda geração, a IBM logo deu seqüência com seu modelo 7090. Mas foi apenas em 1964 que a IBM, com seu *mainframe* 360/370, conseguiu dominar a indústria de computadores, povoada por novas (Control Data, Digital) e antigas (Sperry, Honeywell, Burroughs, NCR) empresas fabricantes de máquinas comerciais. A maior parte dessas empresas estava decadente ou desaparecera na década de 1990: esta é a velocidade da “destruição criativa” schumpeteriana na indústria eletrônica. Na era antiga, ou seja, trinta anos antes da elaboração deste livro, a indústria se organizava em uma hierarquia bem-definida de *mainframes*, minicomputadores (na verdade, aparelhos ainda um tanto desajeitados) e terminais, com parte da informática especializada deixada para o mundo esotérico dos supercomputadores (uma troca de experiências sobre previsão do tempo e jogos de guerra), no qual o extraordinário talento de Seymour Cray reinou por certo tempo, apesar de sua falta de visão tecnológica.

A microeletrônica mudou tudo isso, causando uma “revolução dentro da revolução”. O advento do microprocessador em 1971, com a capacidade de incluir um computador em um *chip*, pôs o mundo da eletrônica e, sem dúvida, o próprio mundo, de pernas para o ar. Em 1975, Ed Roberts, um engenheiro que criou uma pequena empresa fabricante calculadoras, a MITS, em Albuquerque, Novo México, construiu uma “caixa de computação” com o inacreditável nome de Altair, inspirado em um personagem da série de TV, Jornada nas Estrelas, que era admirado pela filha do inventor. A máquina era um objeto primitivo, mas foi construída como um computador de pequena escala com um microprocessador. O Altair foi a base para o *design* do Apple I e, posteriormente, do Apple II. Este último foi o primeiro microcomputador de sucesso comercial, idealizado pelos jovens Steve Wozniak e Steve Jobs (após abandonarem os estudos regulares), na garagem da casa de seus pais, em Menlo Park, Vale do Silício. Uma saga verdadeiramente extraordinária que acabou se tornando uma lenda sobre o começo da Era da Informação. Lançada em 1976, com três sócios e um capital de US\$ 91 mil, a Apple Computers alcançou em 1982 a marca de

US\$ 583 milhões em vendas, anunciando a era da difusão do computador. A reação da IBM foi rápida: em 1981 ela introduziu sua versão do microcomputador com um nome brilhante: Computador Pessoal (PC) que, na verdade, se tornou o nome genérico dos microcomputadores. Todavia por não ter sido criado com base na tecnologia de propriedade da IBM, mas na tecnologia desenvolvida para a IBM por terceiros, ele ficou vulnerável à clonagem, que logo foi praticada em escala maciça, em especial, na Ásia. No entanto, embora acabasse determinando o fim do predomínio da IBM no negócio de PCs, o fato também difundiu o uso dos clones da IBM ao redor do mundo, disseminando um padrão comum, apesar da superioridade das máquinas da Apple. O Macintosh da Apple, lançado em 1984, foi o primeiro passo rumo aos computadores de fácil utilização, com a introdução da tecnologia baseada em ícones e interfaces com o usuário, desenvolvida originalmente pelo Centro de Pesquisas Palo Alto da Xerox.

Uma condição fundamental para a difusão dos microcomputadores foi preenchida com o desenvolvimento de um novo *software* adaptado a suas operações.⁴⁵ O *software* para PCs surgiu em meados dos anos 70 a partir do entusiasmo gerado pelo Altair: dois jovens desistentes de Harvard, Bill Gates e Paul Allen, adaptaram o BASIC para operar a máquina Altair em 1976. Ao perceber o potencial, eles prosseguiram e fundaram a Microsoft (primeiro em Albuquerque e, dois anos depois, mudaram para Seattle onde moravam os pais de Bill Gates), o atual gigante em *software*, que transformou seu predomínio em *software* de sistemas operacionais no predomínio em *software* para o mercado de microcomputadores como um todo, que estava em crescimento exponencial.

Nos últimos vinte anos do século XX, o aumento da capacidade dos *chips* resultou em um aumento impressionante da capacidade dos microcomputadores. No início dos anos 90, computadores de um só *chip* tinham a capacidade de processamento de um computador IBM de cinco anos antes. Além disso, desde meados da década de 1980, os microcomputadores não podem ser concebidos isoladamente: eles atuam em rede, com mobilidade cada vez maior, com base em computadores portáteis. Essa versatilidade extraordinária e a possibilidade de aumentar a memória e os recursos de processamento, ao compartilhar a capacidade computacional de uma rede eletrônica, mudaram decisivamente a era dos computadores nos anos 90, ao transformar o processamento e armazenamento de dados centralizados em um sistema compartilhado e interativo de computadores em rede. Não foi apenas todo o sistema de tecnologia que mudou, mas também suas interações sociais e organizacionais. Assim, o custo médio do processamento da informação caiu de aproximadamente US\$ 75 por cada milhão de operações, em 1960, para menos de um centésimo de centavo de dólar em 1990.

É claro que essa capacidade de desenvolvimento de redes só se tornou possível graças aos importantes avanços tanto das telecomunicações quanto das tecnologias de integração de computadores em rede, ocorridos durante os anos 70. Mas, ao mesmo tempo, tais mudanças somente foram possíveis após o surgimento de novos dispositivos microeletrônicos e o aumento da capacidade de computação, em uma impressionante ilustração das relações sinérgicas da revolução da tecnologia da informação.

As telecomunicações também foram revolucionadas pela combinação das tecnologias de “nós” (roteadores e comutadores eletrônicos) e novas conexões (tecnologias de transmissão). O primeiro comutador eletrônico produzido industrialmente, o ESS-1, foi introduzido pela Bell Laboratories, em 1969. Em meados dos anos 70, os avanços da tecnologia em circuitos integrados possibilitaram a criação do comutador digital, aumentando a velocidade, potência e flexibilidade com economia de espaço, energia e trabalho, em comparação com os dispositivos analógicos. Embora, no início, a American Telephone and Telegraph (ATT), matriz da Bell Laboratories, estivesse relutante contra sua introdução devido à necessidade de amortização do investimento já feito em equipamentos analógicos, quando, em 1977, a Northern Telecom do Canadá obteve uma fatia do mercado norte-americano por meio de sua liderança em comutadores digitais, as empresas da Bell entraram na concorrência e desencadearam um movimento semelhante ao redor do mundo.

Avanços importantes em optoeletrônica (transmissão por fibra ótica e laser) e a tecnologia de transmissão por pacotes digitais promoveram um aumento surpreendente da capacidade das linhas de transmissão. As IBNs (Redes de Banda Larga Integradas) vislumbradas na década de 1990 poderiam ultrapassar substancialmente as propostas revolucionárias dos anos 70 de uma ISDN (rede digital de serviços integrados): enquanto a capacidade transportadora da ISDN através de fios de cobre ficava em torno de 144 mil *bits*, nos anos 90, a da IBN, por fibras óticas, embora o preço mais alto, ficaria em torno de um quatrilhão de *bits*, se e quando pudesse ser operacionalizada. Para medir a velocidade da mudança, vamos recordar que, em 1956, os primeiros cabos telefônicos transatlânticos podiam transportar cinqüenta circuitos de voz compactada; em 1995, os cabos de fibra ótica podiam transportar 85 mil desses circuitos. Essa capacidade de transmissão com base em optoeletrônica, combinada com arquiteturas avançadas de comutação e roteamento, como ATM (modo de transmissão assíncrono) e TCP/IP (protocolo de controle de transmissão/protocolo de interconexão), é a base da Internet.

Formas diferentes de utilização do espectro de radiodifusão (transmissão tradicional, transmissão direta via satélite, microondas, telefonia celular digital),

assim como cabos coaxiais e fibras óticas, oferecem uma diversidade e versatilidade de tecnologias de transmissão, que estão sendo adaptadas a uma série de usos e possibilitam a comunicação ubíqua entre usuários de unidades móveis. Assim, a telefonia celular difundiu-se com grande força por todo o mundo nos anos 90, literalmente invadindo a Ásia com *pgers* não sofisticados e a América Latina com telefones celulares, usados como símbolos de *status*. No ano 2000, já existiam tecnologias acessíveis para um aparelho pessoal de comunicação de cobertura universal, aguardando apenas a resolução de inúmeras questões técnicas, jurídicas e administrativas para chegar ao mercado. Cada grande avanço em um campo tecnológico específico amplifica os efeitos das tecnologias da informação conexas. A convergência de todas essas tecnologias eletrônicas no campo da comunicação interativa levou à *criação da Internet*, talvez o mais revolucionário meio tecnológico da Era da Informação.

A criação da Internet

A criação e o desenvolvimento da Internet nas três últimas décadas do século XX foram consequência de uma fusão singular de estratégia militar, grande cooperação científica, iniciativa tecnológica e inovação contracultural.⁴⁹ A Internet teve origem no trabalho de uma das mais inovadoras instituições de pesquisa do mundo: a Agência de Projetos de Pesquisa Avançada (ARPA) do Departamento de Defesa dos EUA. Quando o lançamento do primeiro Sputnik, em fins da década de 1950, assustou os centros de alta tecnologia estadunidenses, a ARPA empreendeu inúmeras iniciativas ousadas, algumas das quais mudaram a história da tecnologia e anunciaram a chegada da Era da Informação em grande escala. Uma dessas estratégias, que desenvolvia um conceito criado por Paul Baran na Rand Corporation em 1960-4, foi criar um sistema de comunicação invulnerável a ataques nucleares. Com base na tecnologia de comunicação da troca de pacotes, o sistema tornava a rede independente de centros de comando e controle, para que a mensagem procurasse suas próprias rotas ao longo da rede, sendo remontada para voltar a ter sentido coerente em qualquer ponto da rede.

Quando, mais tarde, a tecnologia digital permitiu o empacotamento de todos os tipos de mensagens, inclusive de som, imagens e dados, criou-se uma rede que era capaz de comunicar seus nós sem usar centros de controles. A universalidade da linguagem digital e a pura lógica das redes do sistema de comunicação geraram as condições tecnológicas para a comunicação global horizontal.

A primeira rede de computadores, que se chamava ARPANET — em homenagem a seu poderoso patrocinador — entrou em funcionamento em 1º de setem-

bro de 1969, com seus quatro primeiros nós na Universidade da Califórnia em Los Angeles, no Stanford Research Institute, na Universidade da Califórnia em Santa Bárbara e na Universidade de Utah. Estava aberta aos centros de pesquisa que colaboravam com o Departamento de Defesa dos EUA, mas os cientistas começaram a usá-la para suas próprias comunicações, chegando a criar uma rede de mensagens entre entusiastas de ficção científica.

A certa altura tornou-se difícil separar a pesquisa voltada para fins militares das comunicações científicas e das conversas pessoais. Assim, permitiu-se o acesso à rede de cientistas de todas as disciplinas e, em 1983, houve a divisão entre ARPANET, dedicada a fins científicos, e a MILNET, orientada diretamente às aplicações militares. A *National Science Foundation* também se envolveu na década de 1980 na criação de outra rede científica, a CSNET, e — em colaboração com a IBM — de mais uma rede para acadêmicos não-científicos, a BITNET. Contudo, todas as redes usavam a ARPANET como espinha dorsal do sistema de comunicação. A rede das redes que se formou durante a década de 1980 chama-se ARPA-INTERNET, depois passou a chamar-se INTERNET, ainda sustentada pelo Departamento de Defesa e operada pela National Science Foundation.

Tendo-se tornado tecnologicamente obsoleta depois de mais de vinte anos de serviços, a ARPANET encerrou as atividades em 28 de fevereiro de 1990. Em seguida, a NSFNET, operada pela *National Science Foundation*, assumiu o posto de espinha dorsal da Internet. Contudo, as pressões comerciais, o crescimento de redes de empresas privadas e de redes cooperativas sem fins lucrativos levaram ao encerramento dessa última espinha dorsal operada pelo governo em abril de 1995, prenunciando a privatização total da Internet, quando inúmeras ramificações comerciais das redes regionais da NSF uniram forças para formar acordos colaborativos entre redes privadas.

Uma vez privatizada, a Internet não contava com nenhuma autoridade supervisora. Diversas instituições e mecanismos improvisados, criados durante todo o desenvolvimento da Internet, assumiram alguma responsabilidade informal pela coordenação das configurações técnicas e pela corretagem de contratos de atribuição de endereços da Internet.

Em janeiro de 1992, numa iniciativa da *National Science Foundation*, foi outorgada à Internet Society, instituição sem fins lucrativos, a responsabilidade sobre as organizações coordenadoras já existentes, a Internet Activities Board e a Internet Engineering Task Force. Internacionalmente, a função principal de coordenação continuam sendo os acordos multilaterais de atribuição de endereços de domínios no mundo inteiro, assunto bem polêmico.⁵⁰ Apesar da criação, em 1998, de um novo órgão regulador com sede nos EUA (IANA/ICANN), em 1999 não

existia nenhuma autoridade clara e indiscutível sobre a Internet, tanto nos EUA quanto no resto do mundo — sinal das características anarquistas do novo meio de comunicação, tanto tecnológica quanto culturalmente.

Para que a rede pudesse sustentar o crescimento exponencial no volume de comunicações, era preciso aprimorar a tecnologia de transmissão. Na década de 1970, a ARPANET usava links de 56.000 bits por segundo. Em 1987, as linhas da rede transmitiam 1,5 milhão de bits por segundo. Por volta de 1992, a NSFNET, espinha dorsal da Internet, operava com a velocidade de transmissão de 45 milhões de bits por segundo, capacidade suficiente para enviar 5.000 mensagens por segundo. Em 1995, a tecnologia de transmissão em gigabits estava no estágio prototípico, com capacidade equivalente à transmissão da Biblioteca do Congresso dos EUA em um minuto.

Contudo, a capacidade de transmissão não era suficiente para instituir uma teia mundial de comunicação. Era preciso que os computadores estivessem capacitados a conversar uns com os outros. O primeiro passo nessa direção foi a criação de um protocolo de comunicação que todos os tipos de redes pudessem usar — tarefa praticamente impossível no início da década de 1970.

Em meados de 1973, Vinton Cerf e Robert Kahn, cientistas da computação que faziam pesquisa na ARPA, criaram a arquitetura fundamental da Internet, desenvolvendo um trabalho com o fim de criar um protocolo de comunicação realizado por Kahn em sua empresa de pesquisas, a BBN. Convocaram uma reunião em Stanford, à qual compareceram pesquisadores da ARPA e de diversas universidades e centros de pesquisa — entre eles o PARC/Xerox, onde Robert Metcalfe estava trabalhando na tecnologia da comunicação de pacotes que levaria à criação das redes de área local (LAN). A cooperação tecnológica também contava com vários grupos europeus, em especial os dos pesquisadores franceses associados ao programa Cyclades.

Fundamentando-se no seminário de Stanford, Cerf, Metcalfe e Gerard Lelann (da Cyclades) especificaram um protocolo de transmissão que seria compatível com os pedidos de vários pesquisadores e das diversas redes existentes.

Em 1978, Cerf, Postel (da UCLA) e Cohen (da USC) dividiram o protocolo em duas partes: servidor-a-servidor (TCP) e protocolo inter-redes (IP). O protocolo TCP/IP resultante tornou-se o padrão de comunicação entre computadores nos EUA em 1980. Sua flexibilidade permitia a adoção de uma estrutura de camadas múltiplas de *links* entre redes de computadores, o que demonstrou sua capacidade de adaptar-se a vários sistemas de comunicação e a uma diversidade de códigos.

Em 1980, quando as concessionárias de telecomunicações, em especial as da Europa, impuseram outro protocolo de comunicação (o x.25) como padrão inter-

nacional, o mundo aproximou-se bastante de se dividir em redes não-comunicáveis. Não obstante, a capacidade do TCP/IP de adaptar-se à diversidade acabou por prevalecer.

Com algumas adaptações (atribuir x.25 e TCP/IP a diversas camadas da rede de comunicações e, depois, definir *links* entre as camadas, e tornar complementares os dois protocolos), o TCP/IP conseguiu conquistar aceitação como padrão mais comum de protocolos de comunicação entre computadores. Desde então, os computadores estavam capacitados a decodificar entre si os pacotes de dados que trafegavam em alta velocidade pela Internet.

Ainda era necessário mais uma convergência tecnológica para que os computadores se comunicassem: a adaptação do TCP/IP ao UNIX, um sistema operacional que viabilizava o acesso de um computador a outro.

O sistema UNIX foi inventado por Bell Laboratories em 1969, mas só passou a ser amplamente usado depois de 1983, quando os pesquisadores de Berkeley (também financiados pela ARPA) adaptaram o protocolo TCP/IP ao UNIX.

Já que a nova versão do UNIX foi financiada por verba pública, o *software* tornou-se disponível só pelo preço de distribuição. O sistema de comunicação em rede nasceu em ampla escala na forma de redes de área local e redes regionais ligadas umas às outras, e começou a espalhar-se por toda parte onde houvesse linhas telefônicas e os computadores estivessem equipados com *modems*, equipamento de preço bastante baixo.

Por trás do desenvolvimento da Internet havia redes científicas, institucionais e pessoais que transcendiam o Departamento de Defesa, a National Science Foundation, grandes universidades de pesquisa (em especial MIT, UCLA, Stanford, University of Southern California, Harvard, Universidade da Califórnia em Santa Bárbara e Universidade da Califórnia em Berkeley), e grupos de pesquisa especializados em tecnologia, tais como o Lincoln Laboratory do MIT, o SRI (antigo Stanford Research Institute), Palo Alto Research Corporation (financiado pela Xerox), Bell Laboratories da ATT, Rand Corporation e BBN (Bolt, Beranek & Newman).

Os principais agentes tecnológicos nas décadas de 1960 e 1970 eram, entre outros, J. C. R. Licklider, Paul Baran, Douglas Engelbart (o inventor do *mouse*), Robert Taylor, Ivan Sutherland, Lawrence Roberts, Alex McKenzie, Robert Kahn, Alan Kay, Robert Thomas, Robert Metcalfe e um brilhante teórico da ciência da computação, Leonard Kleinrock, e seu séquito de alunos excelentes da pós-graduação da UCLA, que se tornariam algumas das cabeças fundamentais no projeto e no desenvolvimento da Internet: Vinton Cerf, Stephen Crocker, Jon Postel, entre outros.

Muitos desses cientistas da computação movimentavam-se entre essas instituições, criando um ambiente de inovações, cujas metas e cuja dinâmica se tornaram praticamente autônomas com relação à estratégia militar ou às conexões com supercomputadores. Eram cruzados tecnológicos, convictos de que estavam modificando o mundo, como acabaram mesmo fazendo.

Muitas das aplicações da Internet tiveram origem em invenções inesperadas de seus usuários pioneiros, e levaram a costumes e a uma trajetória tecnológica que se tornariam características essenciais da Internet. Assim, nos primeiros estágios da ARPANET, a argumentação em defesa das conexões entre computadores era a possibilidade da partilha de tempo por meio da computação remota, pois assim os recursos esparsos dos computadores poderiam ser totalmente utilizados em rede. Não obstante, a maioria dos usuários não precisava de tanta potência computacional, ou não estava disposta a reprogramar seus sistemas segundo os requisitos de comunicações. Porém o que realmente provocou muito entusiasmo foi a comunicação via correio eletrônico entre os participantes da rede — aplicativo criado por Ray Tomlinson na BBN que continua sendo o uso mais popular da comunicação entre computadores em todo o mundo.

Mas esse é apenas um lado da história. Em paralelo com o trabalho do Pentágono e dos grandes cientistas de criar uma rede universal de computadores com acesso público, dentro de normas de “uso aceitável”, surgiu nos Estados Unidos uma contracultura de crescimento descontrolado, quase sempre de associação intelectual com os efeitos secundários dos movimentos da década de 1960 em sua versão mais libertária/utópica. O *modem*, elemento importante do sistema, foi uma das descobertas tecnológicas que surgiu dos pioneiros dessa contracultura, originalmente batizada de “the hackers”, antes da conotação maligna que o termo veio a assumir. O modem para PCs foi inventado por dois estudantes de Chicago, Ward Christensen e Randy Suess, em 1978, quando estavam tentando descobrir um sistema para transferir programas entre microcomputadores via telefone para não serem obrigados a percorrer longos trajetos no inverno de Chicago.

Em 1979, divulgaram o protocolo *XModem*, que permitia a transferência direta de arquivos entre computadores, sem passar por um sistema principal. E divulgaram a tecnologia gratuitamente, pois sua finalidade era espalhar o máximo possível a capacidade de comunicação. As redes de computadores que não pertenciam à ARPANET (em seus primeiros estágios reservada às universidades científicas de elite) descobriram um meio de começar a se comunicar entre si por conta própria. Em 1979, três alunos da Duke University e da Universidade de Carolina do Norte, não inclusas na ARPANET, criaram uma versão modificada

do protocolo UNIX que possibilitava a interligação de computadores via linha telefônica comum. Usaram-na para criar um fórum *on-line* de conversas sobre informática, a Usenet, que logo se tornou um dos primeiros sistemas de conversas eletrônicas em larga escala. Os inventores da Usenet News também divulgavam gratuitamente seu *software* num folheto distribuído nos congressos de usuários de UNIX.

Em 1983, Tom Jennings criou um sistema para a publicação de quadros de avisos em PCs, por intermédio da instalação de um *modem* e de um *software* especial que permitia aos computadores se comunicarem com um PC equipado com essa tecnologia de interface. Essa foi a origem de uma das redes mais originais, de base, a Fidonet, que em 1990 já conectava 2.500 computadores nos EUA. Por ser barata, aberta e cooperativa, a Fidonet teve êxito principalmente nos países pobres, como a Rússia, em especial entre grupos da contracultura,⁵¹ até que suas limitações tecnológicas e a expansão da Internet levaram a maioria de seus usuários para a teia mundial compartilhada. Os sistemas de conferências, como o Well da área da baía de San Francisco, reuniram os usuários de computador em redes de afinidades.

Ironicamente, esse método da contracultura de usar a tecnologia teve consequências semelhantes na estratégia de inspiração militar das redes horizontais: viabilizou os meios tecnológicos para qualquer pessoa com conhecimentos tecnológicos e um PC, o que logo iniciou uma progressão espetacular de força cada vez maior e preços cada vez mais baixos ao mesmo tempo. O advento da computação pessoal e a comunicabilidade das redes incentivou a criação dos sistemas de quadros de avisos (*bulletin board systems* — BBS), primeiro nos Estados Unidos e depois no mundo inteiro. Os BBS não precisavam das redes sofisticadas de computadores, só de PCs, *modems* e linha telefônica. Assim, tornaram-se os fóruns eletrônicos de todos os tipos de interesses e afinidades, criando o que Howard Rheingold chamava de “comunidades virtuais”.⁵² Em fins da década de 1980, alguns milhões de usuários de computador já estavam usando as comunicações computadorizadas em redes cooperativas ou comerciais que não faziam parte da Internet. Em geral, essas redes usavam protocolos que não eram compatíveis entre si, portanto adotaram os protocolos da Internet, mudança que, na década de 1990, garantiu sua integração com a Internet e, assim, a expansão da própria Internet.

Contudo, por volta de 1990 os não-iniciados ainda tinham dificuldade para usar a Internet. A capacidade de transmissão de gráficos era muito limitada, e era difícil localizar e receber informações. Um novo salto tecnológico permitiu a difusão da Internet na sociedade em geral: a criação de um novo aplicativo, a teia

mundial (world wide web — WWW), que organizava o teor dos sítios da Internet por informação, e não por localização, oferecendo aos usuários um sistema fácil de pesquisa para procurar as informações desejadas. A invenção da WWW deu-se na Europa, em 1990, no Centre Européen pour Recherche Nucléaire (CERN) em Genebra, um dos principais centros de pesquisas físicas do mundo. Foi inventada por um grupo de pesquisadores do CERN chefiado por Tim Berners Lee e Robert Cailliau. Não montaram a pesquisa segundo a tradição da ARPANET, mas com a contribuição da cultura dos *hackers* da década de 1970. Basearam-se parcialmente no trabalho de Ted Nelson que, em seu panfleto de 1974, “Computer Lib”, convocava o povo a usar o poder dos computadores em benefício próprio. Nelson imaginou um novo sistema de organizar informações que batizou de “hipertexto”, fundamentado em remissões horizontais. A essa idéia pioneira, Berners Lee e seus colegas acrescentaram novas tecnologias adaptadas do mundo da multimídia para oferecer uma linguagem audiovisual ao aplicativo.

A equipe do CERN criou um formato para os documentos em hipertexto ao qual deram o nome de linguagem de marcação de hipertexto (*hypertext markup language* — HTML), dentro da tradição de flexibilidade da Internet, para que os computadores pudesse adaptar suas linguagens específicas dentro desse formato compartilhado, acrescentando essa formatação ao protocolo TCP/IP. Também configuraram um protocolo de transferência de hipertexto (*hypertext transfer protocol* — HTTP) para orientar a comunicação entre programas navegadores e servidores de WWW; e criaram um formato padronizado de endereços, o localizador uniforme de recursos (*uniform resource locator* — URL), que combina informações sobre o protocolo do aplicativo e sobre o endereço do computador que contém as informações solicitadas. O URL também podia relacionar-se com uma série de protocolos de transferência, e não só o HTTP, o que facilitava a interface geral.

O CERN distribuiu o *software* WWW gratuitamente pela Internet, e os primeiros sítios da *web* foram criados por grandes centros de pesquisa científica espalhados pelo mundo. Um desses centros foi o *National Center for Supercomputer Applications* (NCSA), na Universidade de Illinois, um dos mais antigos centros de supercomputadores. Devido ao declínio dos usos para essas máquinas, os pesquisadores do NCSA, assim como os da maioria dos outros centros de supercomputadores, estavam à procura de novas tarefas. Alguns membros das equipes também estavam à procura de tarefas, entre eles Marc Andreessen, estudante universitário que trabalhava no centro em meio expediente e recebia US\$6,85 por hora. “Em fins de 1992, Marc, tecnicamente capacitado e ‘morto de tédio’, resolveu que era divertido tentar dar à *Web* a face gráfica, rica em meios de comunicação que lhe faltava”.⁵³ O resultado foi o navegador da *Web* chamado *Mosaic*,

criado para funcionar em computadores pessoais. Marc Andreessen e seu colaborador Eric Bina disponibilizaram o *Mosaic* gratuitamente na *Web* do NCSA em novembro de 1993, e em abril de 1994 já havia alguns milhões de cópias em uso. Andreessen e sua equipe foram, então, procurados por um lendário empresário do Vale do Silício, Jim Clark, que estava entediado com a empresa que criara com tanto êxito, a Silicon Graphics. Juntos, fundaram outra empresa, a Netscape, que produziu e comercializou o primeiro navegador da Internet digno de confiança, o Netscape Navigator, lançado em outubro de 1994.⁵⁴

Logo surgiram novos navegadores, ou mecanismos de pesquisa, e o mundo inteiro abraçou a Internet, criando uma verdadeira teia mundial.

Tecnologias de rede e a difusão da computação

Em fins da década de 1990, o poder de comunicação da Internet, juntamente com os novos progressos em telecomunicações e computação provocaram mais uma grande mudança tecnológica, dos microcomputadores e dos *mainframes* descentralizados e autônomos à computação universal por meio da interconexão de dispositivos de processamento de dados, existentes em diversos formatos. Nesse novo sistema tecnológico o poder de computação é distribuído numa rede montada ao redor de servidores da *web* que usam os mesmos protocolos da Internet, e equipados com capacidade de acesso a servidores em megacomputadores, em geral diferenciados entre servidores de bases de dados e servidores de aplicativos.

Embora o novo sistema ainda estivesse em processo de formação enquanto eu escrevia este livro, os usuários já tinham acesso à rede com uma série de aparelhos especializados, de finalidade única, distribuídos em todos os setores da vida e das atividades em casa, no trabalho, em centros de compras e de entretenimento, em veículos de transporte público e, por fim, em qualquer lugar. Esses dispositivos, muitos deles portáteis, comunicam-se entre si, sem necessidade de sistema operacional próprio. Assim, o poder de processamento, os aplicativos e os dados ficam armazenados nos servidores da rede, e a inteligência da computação fica na própria rede: os sítios da *web* se comunicam entre si e têm à disposição o *software* necessário para conectar qualquer aparelho a uma rede universal de computadores. Novos *softwares*, como o Java (1995) e o Jini (1999) criados por Bill Joy na Sun Microsystems, permitiram que a rede se tornasse o verdadeiro sistema de processamento de dados. A lógica do funcionamento de redes, cujo símbolo é a Internet, tornou-se aplicável a todos os tipos de atividades, a todos os contextos e a todos os locais que pudessem ser conectados eletronicamente.

A ascensão da telefonia móvel, liderada pela Nokia e pela Ericsson em 1997, conseguia enviar dados a 384 kilobits por segundo e receber a 2 megabits por segundo, em comparação com a capacidade das linhas de cobre de transportar 64 kilobits de dados por segundo. Além disso, o extraordinário aumento da capacidade de transmissão com a tecnologia de comunicação em banda larga proporcionou a oportunidade de se usar a Internet, ou tecnologias de comunicação semelhantes à Internet, para transmitir voz, além de dados, por meio da troca de pacotes, o que revolucionou as telecomunicações e sua respectiva indústria.

Segundo Vinton Cerf, "Hoje em dia é preciso passar por uma comutação de circuitos para obter uma troca de pacotes. No futuro, passaremos por uma troca de pacotes para obter uma comutação de circuitos".⁵⁵ Em outra previsão tecnológica, Cerf afirmou que "durante a segunda metade da próxima década — entre 2005 e 2010 — haverá um novo impulsor (tecnológico): bilhões de aparelhos ligados à Internet".⁵⁶ Por fim, então, a rede de comunicações será a troca de pacotes, com a transmissão de dados sendo a responsável pelo espantoso compartilhamento de tráfego, e a transmissão de voz será apenas um serviço especializado. Esse volume de tráfego de comunicações exigirá uma expansão gigantesca da capacidade, tanto transoceânica quanto local. A criação de uma nova infra-estrutura global de telecomunicações com fibra óptica e transmissão digital estava bem encaminhada em fins do século, com a capacidade de transmissão dos cabos de fibra óptica aproximando-se dos 100 gigabits por segundo no ano 2000, em comparação com cerca de 5 gigabits em 1993.

O limite da tecnologia da informação na virada do milênio parecia ser a aplicação de métodos nanotecnológicos químicos ou biológicos à criação de *chips*. Assim, em julho de 1999, o periódico *Science* publicou os resultados do trabalho experimental do cientista da computação Phil Kuekes do laboratório da Hewlett-Packard em Palo Alto e do químico James Heath da UCLA. Eles descobriram um modo de fazer transferências eletrônicas por meio de processos químicos, em vez de luz, encolhendo dessa forma, os comutadores para o tamanho de uma molécula. Enquanto esses ultraminúsculos componentes ainda estão um pouco distantes do estágio operacional (pelo menos uma década), esse e outros programas experimentais parecem indicar que a eletrônica molecular é um caminho possível para a superação dos limites físicos do aumento de densidade dos *chips* de silício e, ao mesmo tempo, prenunciam uma era de computadores cem bilhões de vezes mais velozes do que o microprocessador Pentium: isso viabilizaria a compactação do poder de processamento de cem computadores de 1999 num espaço do tamanho de um grão de sal. Com base nessas tecnologias, os cientistas da computação prevêem a possibilidade de ambientes de processamento nos quais

bilhões de microscópicos aparelhos de processamento de dados se espalharão por toda parte “como os pigmentos da tinta de paredes”. Se isso acontecer mesmo, então as redes de computadores serão, materialmente falando, a trama da nossa vida.⁵⁷

O divisor tecnológico dos anos 70

Esse sistema tecnológico, em que estamos totalmente imersos na aurora do século XXI, surgiu nos anos 70. Devido à importância de contextos históricos específicos das trajetórias tecnológicas e do modo particular de interação entre a tecnologia e a sociedade, convém recordarmos algumas datas associadas a descobertas básicas nas tecnologias da informação. Todas têm algo de essencial em comum: embora baseadas principalmente nos conhecimentos já existentes e desenvolvidas como uma extensão das tecnologias mais importantes, essas tecnologias representaram um salto qualitativo na difusão maciça da tecnologia em aplicações comerciais e civis, devido a sua acessibilidade e custo cada vez menor, com qualidade cada vez maior. Assim, o microprocessador, o principal dispositivo de difusão da microeletrônica, foi inventado em 1971 e começou a ser difundido em meados dos anos 70. O microcomputador foi inventado em 1975, e o primeiro produto comercial de sucesso, o Apple II, foi introduzido em abril de 1977, por volta da mesma época em que a Microsoft começava a produzir sistemas operacionais para microcomputadores. A Xerox Alto, matriz de muitas tecnologias de *software* para os PCs dos anos 90, foi desenvolvida nos laboratórios PARC em Palo Alto, em 1973. O primeiro comutador eletrônico industrial apareceu em 1969, e o comutador digital foi desenvolvido em meados dos anos 70 e distribuído no comércio em 1977. A fibra ótica foi produzida em escala industrial pela primeira vez pela Corning Glass, no início da década de 1970. Além disso, em meados da mesma década, a Sony começou a produzir videocassetes comercialmente, com base em descobertas da década de 1960 nos EUA e na Inglaterra, que nunca alcançaram produção em massa. E, finalmente, mas não menos importante, foi em 1969 que a ARPA (Agência de Projetos de Pesquisa Avançada do Departamento de Defesa Norte-Americano) instalou uma nova e revolucionária rede eletrônica de comunicação que se desenvolveu durante os anos 70 e veio a se tornar a Internet. Ela foi extremamente favorecida pela invenção, por Cerf e Kahn em 1973, do TCP/IP, o protocolo de interconexão em rede que introduziu a tecnologia de “abertura”, permitindo a conexão de diferentes tipos de rede. Acho que podemos dizer, sem exagero, que a revolução da tecnologia da informação