

consideráveis recursos (uma parcela substancial vinda de verbas governamentais) para formar alianças com as empresas japonesas e norte-americanas que representam, cada vez mais, a fonte de seu *know-how* de tecnologia avançada no setor da informação.<sup>61</sup>

Mesmo nos EUA, sabe-se que os contratos militares e as iniciativas tecnológicas do Departamento de Defesa desempenharam papéis decisivos no estágio de formação da Revolução da Tecnologia da Informação, ou seja, entre as décadas de 40 e 60. Até mesmo a principal fonte de descobertas em eletrônica, a Bell Laboratories, desempenhou, de fato, o papel de um laboratório nacional: sua controladora (ATT) desfrutou de um monopólio de telecomunicações mantido pelo governo; parte significativa de suas verbas de pesquisa vinha do governo dos EUA; e, na verdade, desde 1956, a ATT era forçada pelo governo norte-americano a difundir as descobertas tecnológicas em domínio público em troca da manutenção do monopólio das telecomunicações públicas.<sup>62</sup> Instituições como o MIT, Harvard, Stanford, Berkeley, UCLA, Chicago, Johns Hopkins, e laboratórios nacionais de armamentos tais como Livermore, Los Alamos, Sandia e Lincoln trabalharam com e para os órgãos do Departamento de Defesa em programas que conduziram a avanços fundamentais, desde os computadores da década de 40 até a optoeletrônica e as tecnologias de inteligência artificial do programa "Guerra nas Estrelas" dos anos 80. A DARPA (Agência de Projetos de Pesquisa Avançada do Departamento de Defesa) desempenhou, nos EUA, um papel não muito diferente do MITI no desenvolvimento tecnológico do Japão, incluindo o projeto e a verba inicial da Internet.<sup>63</sup> Na verdade, na década de 80, quando a administração Reagan, extremamente adepta do *laissez-faire*, sentiu a ferroada da concorrência japonesa, o Departamento de Defesa liberou uma verba para a SEMATECH, um consórcio de empresas norte-americanas de eletrônica, para patrocinar os onerosos custos de programas de P&D na indústria eletrônica, por razões de segurança nacional. E o governo federal também ajudou no esforço cooperativo das grandes empresas no campo da microeletrônica, criando a MCC e ficando tanto a SEMATECH como a MCC localizadas em Austin, Texas.<sup>64</sup> Também, durante os decisivos anos 50 e 60, os contratos militares e o programa espacial representaram mercados essenciais para a indústria eletrônica, tanto para as grandes empresas contratadas no setor bélico, localizadas ao sul da Califórnia, quanto para as inovadoras recém-estabelecidas no Vale do Silício e na Nova Inglaterra.<sup>65</sup> Talvez elas não tivessem sobrevivido sem os financiamentos generosos e o mercado protegido de um governo norte-americano ansioso por recuperar a supremacia tecnológica sobre a União Soviética, estratégia que no final valeu a pena. A engenharia genética originou-se nos principais centros de pesquisa de universidades e hospitais, bem como nos institutos de pesquisa sobre saúde, contando, em grande parte, com financiamentos e pa-

trocínio do governo.<sup>66</sup> Portanto, foi o Estado, e não o empreendedor de inovações em garagens, que iniciou a Revolução da Tecnologia da Informação tanto nos Estados Unidos como em todo o mundo.<sup>67</sup>

Porém, sem esses empresários inovadores, como os que deram início ao Vale do Silício ou aos clones de PCs em Taiwan, a Revolução da Tecnologia da Informação teria adquirido características muito diferentes e é improvável que tivesse evoluído para a forma de dispositivos tecnológicos flexíveis e descentralizados que se estão difundindo por todas as esferas da atividade humana. Sem dúvida, desde o início dos anos 70, a inovação tecnológica tem sido essencialmente conduzida pelo mercado.<sup>68</sup> e os inovadores, enquanto ainda muitas vezes empregados por grandes empresas, em particular no Japão e na Europa, continuam a montar seus negócios nos Estados Unidos e, cada vez mais, em todo o mundo. Com isso, há um aumento da velocidade da inovação tecnológica e uma difusão mais rápida dessa inovação à medida que mentes talentosas, impulsionadas por paixão e ambição, vão fazendo pesquisas constantes no setor em busca de nichos de mercado em produtos e processos. *Na realidade, é mediante essa interface entre os programas de macropesquisa e grandes mercados desenvolvidos pelos governos, por um lado, e a inovação descentralizada estimulada por uma cultura de criatividade tecnológica e por modelos de sucessos pessoais rápidos, por outro, que as novas tecnologias da informação prosperam.* No processo, essas tecnologias agruparam-se em torno de redes de empresas, organizações e instituições para formar um novo paradigma sociotécnico.

## O paradigma da tecnologia da informação

Nas palavras de Christopher Freeman :

Um paradigma econômico e tecnológico é um agrupamento de inovações técnicas, organizacionais e administrativas inter-relacionadas cujas vantagens devem ser descobertas não apenas em uma nova gama de produtos e sistemas, mas também e sobretudo na dinâmica da estrutura dos custos relativos de todos os possíveis insumos para a produção. *Em cada novo paradigma, um insumo específico ou conjunto de insumos pode ser descrito como o "fator-chave" desse paradigma caracterizado pela queda dos custos relativos e pela disponibilidade universal.* A mudança contemporânea de paradigma pode ser vista como uma transferência de uma tecnologia baseada principalmente em insumos baratos de energia para uma outra que se baseia predominantemente em insumos baratos de informação derivados do avanço da tecnologia em microeletrônica e telecomunicações.<sup>69</sup>

consideráveis recursos (uma parcela substancial vinda de verbas governamentais) para formar alianças com as empresas japonesas e norte-americanas que representam, cada vez mais, a fonte de seu *know-how* de tecnologia avançada no setor da informação.<sup>61</sup>

Mesmo nos EUA, sabe-se que os contratos militares e as iniciativas tecnológicas do Departamento de Defesa desempenharam papéis decisivos no estágio de formação da Revolução da Tecnologia da Informação, ou seja, entre as décadas de 40 e 60. Até mesmo a principal fonte de descobertas em eletrônica, a Bell Laboratories, desempenhou, de fato, o papel de um laboratório nacional: sua controladora (ATT) desfrutou de um monopólio de telecomunicações mantido pelo governo; parte significativa de suas verbas de pesquisa vinha do governo dos EUA; e, na verdade, desde 1956, a ATT era forçada pelo governo norte-americano a difundir as descobertas tecnológicas em domínio público em troca da manutenção do monopólio das telecomunicações públicas.<sup>62</sup> Instituições como o MIT, Harvard, Stanford, Berkeley, UCLA, Chicago, Johns Hopkins, e laboratórios nacionais de armamentos tais como Livermore, Los Alamos, Sandia e Lincoln trabalharam com e para os órgãos do Departamento de Defesa em programas que conduziram a avanços fundamentais, desde os computadores da década de 40 até a optoeletrônica e as tecnologias de inteligência artificial do programa "Guerra nas Estrelas" dos anos 80. A DARPA (Agência de Projetos de Pesquisa Avançada do Departamento de Defesa) desempenhou, nos EUA, um papel não muito diferente do MITI no desenvolvimento tecnológico do Japão, incluindo o projeto e a verba inicial da Internet.<sup>63</sup> Na verdade, na década de 80, quando a administração Reagan, extremamente adepta do *laissez-faire*, sentiu a ferroada da concorrência japonesa, o Departamento de Defesa liberou uma verba para a SEMATECH, um consórcio de empresas norte-americanas de eletrônica, para patrocinar os onerosos custos de programas de P&D na indústria eletrônica, por razões de segurança nacional. E o governo federal também ajudou no esforço cooperativo das grandes empresas no campo da microeletrônica, criando a MCC e ficando tanto a SEMATECH como a MCC localizadas em Austin, Texas.<sup>64</sup> Também, durante os decisivos anos 50 e 60, os contratos militares e o programa espacial representaram mercados essenciais para a indústria eletrônica, tanto para as grandes empresas contratadas no setor bélico, localizadas ao sul da Califórnia, quanto para as inovadoras recém-estabelecidas no Vale do Silício e na Nova Inglaterra.<sup>65</sup> Talvez elas não tivessem sobrevivido sem os financiamentos generosos e o mercado protegido de um governo norte-americano ansioso por recuperar a supremacia tecnológica sobre a União Soviética, estratégia que no final valeu a pena. A engenharia genética originou-se nos principais centros de pesquisa de universidades e hospitais, bem como nos institutos de pesquisa sobre saúde, contando, em grande parte, com financiamentos e pa-

trocínio do governo.<sup>66</sup> Portanto, foi o Estado, e não o empreendedor de inovações em garagens, que iniciou a Revolução da Tecnologia da Informação tanto nos Estados Unidos como em todo o mundo.<sup>67</sup>

Porém, sem esses empresários inovadores, como os que deram início ao Vale do Silício ou aos clones de PCs em Taiwan, a Revolução da Tecnologia da Informação teria adquirido características muito diferentes e é improvável que tivesse evoluído para a forma de dispositivos tecnológicos flexíveis e descentralizados que se estão difundindo por todas as esferas da atividade humana. Sem dúvida, desde o início dos anos 70, a inovação tecnológica tem sido essencialmente conduzida pelo mercado:<sup>68</sup> e os inovadores, enquanto ainda muitas vezes empregados por grandes empresas, em particular no Japão e na Europa, continuam a montar seus negócios nos Estados Unidos e, cada vez mais, em todo o mundo. Com isso, há um aumento da velocidade da inovação tecnológica e uma difusão mais rápida dessa inovação à medida que mentes talentosas, impulsionadas por paixão e ambição, vão fazendo pesquisas constantes no setor em busca de nichos de mercado em produtos e processos. *Na realidade, é mediante essa interface entre os programas de macropesquisa e grandes mercados desenvolvidos pelos governos, por um lado, e a inovação descentralizada estimulada por uma cultura de criatividade tecnológica e por modelos de sucessos pessoais rápidos, por outro, que as novas tecnologias da informação prosperam.* No processo, essas tecnologias agruparam-se em torno de redes de empresas, organizações e instituições para formar um novo paradigma sociotécnico.

## O paradigma da tecnologia da informação

Nas palavras de Christopher Freeman :

Um paradigma econômico e tecnológico é um agrupamento de inovações técnicas, organizacionais e administrativas inter-relacionadas cujas vantagens devem ser descobertas não apenas em uma nova gama de produtos e sistemas, mas também e sobretudo na dinâmica da estrutura dos custos relativos de todos os possíveis insumos para a produção. *Em cada novo paradigma, um insumo específico ou conjunto de insumos pode ser descrito como o "fator-chave" desse paradigma caracterizado pela queda dos custos relativos e pela disponibilidade universal.* A mudança contemporânea de paradigma pode ser vista como uma transferência de uma tecnologia baseada principalmente em insumos baratos de energia para *uma outra que se baseia predominantemente em insumos baratos de informação derivados do avanço da tecnologia em microeletrônica e telecomunicações.*<sup>69</sup>

O conceito de paradigma tecnológico, elaborado por Carlota Perez, Christopher Freeman e Giovanni Dosi, com a adaptação da análise clássica das revoluções científicas feita por Kuhn, ajuda a organizar a essência da transformação tecnológica atual à medida que ela interage com a economia e a sociedade.<sup>70</sup> Em vez de apenas aperfeiçoar a definição de modo a incluir os processos sociais além da economia, penso que seria útil destacar os aspectos centrais do paradigma da tecnologia da informação para que sirvam de guia em nossa futura jornada pelos caminhos da transformação social. No conjunto, esses aspectos representam a base material da sociedade da informação.

A primeira característica do novo paradigma é que a informação é sua matéria-prima: são tecnologias para agir sobre a informação, não apenas informação para agir sobre a tecnologia, como foi o caso das revoluções tecnológicas anteriores.

O segundo aspecto refere-se à *penetrabilidade dos efeitos das novas tecnologias*. Como a informação é uma parte integral de toda atividade humana, todos os processos de nossa existência individual e coletiva são diretamente moldados (embora, com certeza, não determinados) pelo novo meio tecnológico.

A terceira característica refere-se à *lógica de redes* em qualquer sistema ou conjunto de relações, usando essas novas tecnologias da informação. A morfologia da rede parece estar bem-adaptada à crescente complexidade de interação e aos modelos imprevisíveis do desenvolvimento derivado do poder criativo dessa interação.<sup>71</sup> Essa configuração topológica, a rede, agora pode ser implementada materialmente em todos os tipos de processos e organizações graças a recentes tecnologias da informação. Sem elas, tal implementação seria bastante complicada. E essa lógica de redes, contudo, é necessária para estruturar o não-estruturado, porém preservando a flexibilidade, pois o não-estruturado é a força motriz da inovação na atividade humana.

Em quarto lugar, referente ao sistema de redes, mas sendo um aspecto claramente distinto, o paradigma da tecnologia da informação é baseado na *flexibilidade*. Não apenas os processos são reversíveis, mas organizações e instituições podem ser modificadas, e até mesmo fundamentalmente alteradas, pela reorganização de seus componentes. O que distingue a configuração do novo paradigma tecnológico é sua capacidade de reconfiguração, um aspecto decisivo em uma sociedade caracterizada por constante mudança e fluidez organizacional. Tornou-se possível inverter as regras sem destruir a organização, porque a base material da organização pode ser reprogramada e reaparelhada. Porém, não devemos evitar um precipitado julgamento de valores ligado a essa característica tecnológica. Isso porque a flexibilidade tanto pode ser uma força libertadora como também uma tendência repressiva, se os redefinidores das regras sempre forem os poderes constituídos. De acordo com Mulgan: "As redes são criadas

não apenas para comunicar, mas para ganhar posições, para melhorar a comunicação.<sup>72</sup> Portanto, é essencial manter uma distância entre a avaliação do surgimento de novas formas e processos sociais, induzidos e facilitados por novas tecnologias, e a extrapolação das conseqüências potenciais desses avanços para a sociedade e as pessoas: só análises específicas e observação empírica conseguirão determinar as conseqüências da interação entre as novas tecnologias e as formas sociais emergentes. Mas também é essencial identificar a lógica embutida no novo paradigma tecnológico.

Então, uma quinta característica dessa revolução tecnológica é a crescente *convergência de tecnologias específicas para um sistema altamente integrado*, no qual trajetórias tecnológicas antigas ficam literalmente impossíveis de se distinguir em separado. Assim, a microeletrônica, as telecomunicações, a optoeletrônica e os computadores são todos integrados nos sistemas de informação. Ainda existe, e existirá por algum tempo, uma distinção comercial entre fabricantes de *chips* e desenvolvedores de *software*, por exemplo. Mas até mesmo essa diferenciação fica indefinida com a crescente integração de empresas em alianças estratégicas e projetos de cooperação, bem como pela incorporação de *software* também nos componentes dos *chips*. Além disso, em termos de sistemas tecnológicos, um elemento não pode ser imaginado sem o outro: os microcomputadores são em grande parte determinados pela capacidade dos *chips*, e tanto o projeto quanto o processamento paralelo dos microcomputadores dependem da arquitetura do computador. As telecomunicações agora são apenas uma forma de processamento da informação; as tecnologias de transmissão e conexão estão, simultaneamente, cada vez mais diversificadas e integradas na mesma rede operada por computadores.<sup>73</sup>

A convergência tecnológica transforma-se em uma interdependência crescente entre as revoluções em biologia e microeletrônica, tanto em relação a materiais quanto a métodos. Assim, avanços decisivos em pesquisas biológicas, como a identificação dos genes humanos e segmentos do DNA humano só conseguem seguir adiante por causa do grande poder da informática.<sup>74</sup> Por outro lado, o uso de materiais biológicos na microeletrônica, apesar de ainda muito distante de uma aplicação mais genérica, já estava em estágio experimental, em 1995. Leonard Adleman, um cientista da computação na Universidade do Sul da Califórnia, usou moléculas sintéticas de DNA e, com a ajuda de uma reação química, provocou seu funcionamento de acordo com a lógica combinatória do DNA, como um material básico para a computação.<sup>75</sup> Embora a pesquisa ainda tenha um longo caminho a percorrer rumo à integração material entre a biologia e a eletrônica, a lógica da biologia (a capacidade de autogerar seqüências coerentes não programadas) está cada vez mais sendo introduzida nas máquinas.<sup>76</sup> A área mais avançada da robótica refere-se a robôs com capacidade de aprendi-

não apenas para comunicar, mas para ganhar posições, para melhorar a comunicação.<sup>72</sup> Portanto, é essencial manter uma distância entre a avaliação do surgimento de novas formas e processos sociais, induzidos e facilitados por novas tecnologias, e a extrapolação das conseqüências potenciais desses avanços para a sociedade e as pessoas: só análises específicas e observação empírica conseguirão determinar as conseqüências da interação entre as novas tecnologias e as formas sociais emergentes. Mas também é essencial identificar a lógica embutida no novo paradigma tecnológico.

Então, uma quinta característica dessa revolução tecnológica é a crescente *convergência de tecnologias específicas para um sistema altamente integrado*, no qual trajetórias tecnológicas antigas ficam literalmente impossíveis de se distinguir em separado. Assim, a microeletrônica, as telecomunicações, a optoeletrônica e os computadores são todos integrados nos sistemas de informação. Ainda existe, e existirá por algum tempo, uma distinção comercial entre fabricantes de *chips* e desenvolvedores de *software*, por exemplo. Mas até mesmo essa diferenciação fica indefinida com a crescente integração de empresas em alianças estratégicas e projetos de cooperação, bem como pela incorporação de *software* também nos componentes dos *chips*. Além disso, em termos de sistemas tecnológicos, um elemento não pode ser imaginado sem o outro: os microcomputadores são em grande parte determinados pela capacidade dos *chips*, e tanto o projeto quanto o processamento paralelo dos microcomputadores dependem da arquitetura do computador. As telecomunicações agora são apenas uma forma de processamento da informação; as tecnologias de transmissão e conexão estão, simultaneamente, cada vez mais diversificadas e integradas na mesma rede operada por computadores.<sup>73</sup>

A convergência tecnológica transforma-se em uma interdependência crescente entre as revoluções em biologia e microeletrônica, tanto em relação a materiais quanto a métodos. Assim, avanços decisivos em pesquisas biológicas, como a identificação dos genes humanos e segmentos do DNA humano só conseguem seguir adiante por causa do grande poder da informática.<sup>74</sup> Por outro lado, o uso de materiais biológicos na microeletrônica, apesar de ainda muito distante de uma aplicação mais genérica, já estava em estágio experimental, em 1995. Leonard Adleman, um cientista da computação na Universidade do Sul da Califórnia, usou moléculas sintéticas de DNA e, com a ajuda de uma reação química, provocou seu funcionamento de acordo com a lógica combinatória do DNA, como um material básico para a computação.<sup>75</sup> Embora a pesquisa ainda tenha um longo caminho a percorrer rumo à integração material entre a biologia e a eletrônica, a lógica da biologia (a capacidade de autogerar seqüências coerentes não programadas) está cada vez mais sendo introduzida nas máquinas.<sup>76</sup> A área mais avançada da robótica refere-se a robôs com capacidade de aprendi-

zagem, usando a teoria da rede neural. Assim, no laboratório de rede neural do Centro de Pesquisa Conjunta da União Européia, localizado em Ispra, na Itália, um cientista da computação, Jose Millan, há anos, está ensinando pacientemente alguns robôs a aprenderem sozinhos com esperança de que, em um futuro próximo, eles sejam bem empregados em atividades como vigilância e manuseio de material em instalações nucleares.<sup>77</sup> O atual processo de convergência entre diferentes campos tecnológicos no paradigma da informação resulta de sua lógica compartilhada na geração da informação. Essa lógica é mais aparente no funcionamento do DNA e na evolução natural e é, cada vez mais, reproduzida nos sistemas de informação mais avançados à medida que os *chips*, computadores e *software* alcançam novas fronteiras de velocidade, de capacidade de armazenamento e de flexibilidade no tratamento da informação oriunda de fontes múltiplas. Embora a reprodução do cérebro humano com seus bilhões de circuitos e insuperável capacidade de recombinação, a rigor, seja ficção científica, os limites da capacidade de informação dos computadores de hoje em dia estão sendo superados a cada mês.<sup>78</sup>

A partir da observação dessas mudanças extraordinárias em nossas máquinas e conhecimentos sobre a vida e com a ajuda de tais máquinas e conhecimentos, está havendo uma transformação tecnológica mais profunda: a das categorias segundo as quais pensamos todos os processos. Segundo as idéias propostas pelo historiador de tecnologia, Bruce Mazlish:

É necessário reconhecer que a evolução biológica humana, agora mais bem-entendida em termos culturais, impõe à humanidade — a nós — a conscientização de que ferramentas e máquinas são inseparáveis da evolução da natureza humana. Também precisamos perceber que o desenvolvimento das máquinas, culminando com o computador, mostra-nos, de forma inevitável, que as mesmas teorias úteis na explicação do funcionamento de dispositivos mecânicos também têm utilidade no entendimento do animal humano — e vice-versa, pois a compreensão do cérebro humano elucidada a natureza da inteligência artificial.<sup>79</sup>

De uma perspectiva diferente, baseados nos discursos da moda nos anos 80 sobre a “teoria do caos”, na década de 90 uma rede de cientistas e pesquisadores convergiam para uma abordagem epistemológica comum, identificada pela palavra “complexidade”. Organizado em torno de seminários do Instituto Santa Fé, no Novo México, (originalmente um clube de físicos altamente capacitados da empresa Los Alamos Laboratory e, logo após, contando com a participação de um grupo seleto de ganhadores do Prêmio Nobel e amigos), esse círculo intelectual tem como objetivo a comunicação do pensamento científico (inclu-

sive ciências sociais) sob um novo paradigma. Seus membros procuram compreender o surgimento de estruturas auto-organizadas que criam complexidade a partir da simplicidade e ordem superior a partir do caos, mediante várias ordens de interatividade entre os elementos básicos na origem do processo.<sup>80</sup> Embora freqüentemente descartado pela ciência tradicional como sendo uma proposição não comprovável, esse projeto é um exemplo do esforço realizado em diferentes ambientes no sentido de encontrar um terreno comum para a troca de experiências intelectuais entre a ciência e a tecnologia na Era da Informação. Porém, essa abordagem parece impedir qualquer estrutura sistemática de integração. O pensamento da complexidade deve ser considerado mais como um método para entender a diversidade do que uma metateoria unificada. Seu valor epistemológico pode ter-se originado do reconhecimento de que a Natureza e a sociedade possuem a faculdade de fazer, acidentalmente, descobertas felizes e inesperadas. Não se pode afirmar que não haja regras, mas as regras são criadas e mudadas em um processo contínuo de ações deliberadas e interações exclusivas. O paradigma da tecnologia da informação não evolui para seu fechamento como um sistema, mas rumo a abertura como uma rede de acessos múltiplos. É forte e impositivo em sua materialidade, mas adaptável e aberto em seu desenvolvimento histórico. Abrangência, complexidade e disposição em forma de rede são seus principais atributos.

Assim, a dimensão social da Revolução da Tecnologia da Informação parece destinada a cumprir a lei sobre a relação entre a tecnologia e a sociedade proposta algum tempo atrás por Melvin Kranzberg: "*A primeira lei de Kranzberg diz : A tecnologia não é nem boa, nem ruim e também não é neutra.*"<sup>81</sup> É uma força que provavelmente está, mais do que nunca, sob o atual paradigma tecnológico que penetra no âmago da vida e da mente.<sup>82</sup> Mas seu verdadeiro uso na esfera da ação social consciente e a complexa matriz de interação entre as forças tecnológicas liberadas por nossa espécie e a espécie em si são questões mais de investigação que de destino. Portanto, prosseguirei agora com essa investigação.

## Notas

1. Gould (1980 : 226)
2. Melvin Kranzberg, um dos principais historiadores de tecnologia, escreveu "A Era da Informação, na realidade, revolucionou os elementos técnicos da sociedade industrial" (1985: 42). Em relação a seus efeitos sociais: "Embora possa ser evolucionária, no sentido de que nem todas as mudanças e benefícios aparecerão de uma hora para outra, seus efeitos sobre nossa sociedade serão revolucionários" (*ibid.* 52). Seguindo a mesma

- linha de raciocínio, ver também, por exemplo: Perez (1983); Forester (1985); Dizard (1982); Nora e Minc (1978); Stourdze (1987); Negroponte (1995); Ministério dos Correios e Telecomunicações (Japão) (1995); Bishop e Waldholz (1990); Darbon e Robin (1987); Salomon (1992); Dosi *et al.* (1988b); Petrella (1993).
3. Sobre a definição da tecnologia como “cultura material” que considero ser a perspectiva sociológica adequada, ver a discussão em Fischer (1992: 1-32, esp.): “Aqui, a tecnologia é semelhante ao conceito de cultura material.”
  4. Brooks (1971: 13), de texto não publicado, citado com ênfase acrescentada por Bell (1976: 29).
  5. Saxby (1990); Mulgan (1991).
  6. Marx (1989); Hall (1987).
  7. Para uma exposição estimulante e esclarecedora, embora deliberadamente controversa, da convergência entre a revolução biológica e a mais ampla Revolução da Tecnologia da Informação, ver Kelly (1995).
  8. Forester (1988); Herman (1990); Lyon e Gerner (1995); Lincoln e Essin (1993); Edquist e Jacobsson (1989); Drexler e Peterson (1991); Lovins e Lovins (1995); Dondero (1995).
  9. Negroponte (1995).
  10. Kranzberg e Pursell (1967).
  11. O total entendimento da revolução tecnológica atual exigiria a discussão da especificidade das novas tecnologias da informação *vis-à-vis* seus predecessores históricos também de caráter revolucionário, como a descoberta da imprensa, na China, provavelmente no final do século VII e, na Europa, no século XV, tema clássico da literatura das comunicações. Não podendo abordar a questão nos limites deste livro, focado na dimensão sociológica da transformação tecnológica, gostaria de sugerir que o leitor prestasse atenção em alguns tópicos. As tecnologias da informação com base na eletrônica (inclusive a imprensa eletrônica) apresentam uma capacidade de armazenamento de memória e velocidade de combinação e transmissão de *bits* incomparáveis. Os textos eletrônicos permitem flexibilidade de *feedback*, interação e reconfiguração de texto muito maiores — como qualquer autor de processador de texto pode confirmar — e, desse modo, alteram o próprio processo de comunicação. A comunicação *on-line*, aliada à flexibilidade do texto, propicia programação de espaço/tempo ubíqua e assíncrona. Em relação aos efeitos sociais das tecnologias da informação, minha hipótese é que a profundidade de seu impacto é uma função da penetrabilidade da informação por toda a estrutura social. Assim, embora a imprensa tenha afetado as sociedades européias de maneira substancial na Era Moderna, bem como, em menor medida, a China medieval, seus efeitos foram, de certa forma, limitados devido ao analfabetismo generalizado da população e por causa da pouca intensidade da informação na estrutura produtiva. Então, ao educar seus cidadãos e promover a organização gradual da economia em torno de conhecimentos e informação, a sociedade industrial preparou o terreno para a capacitação da mente humana para quando as novas tecnologias da informação fossem disponibilizadas. Ver comentários históricos sobre esse início de revolução das tecnologias da informação em Boureau *et al.* (1989). Para alguns elementos do debate sobre a especificidade tecnológica da comunicação eletrônica, inclusive a visão de McLuhan, ver capítulo 5.

12. M. Kranzberg, "Prerequisites for industrialization", in Kranzberg e Pursell (1967: I. cap. 13); Mokyr (1990).
13. Ashton (1948); Landes (1969); Mokyr (1990: 112); Clow e Clow (1952).
14. Hall e Preston (1988); Saxby (1990); Dizard (1982); Forester (1985).
15. Bar (1990).
16. Rosenberg (1982); Bar (1992).
17. Mazlish (1993).
18. Mokyr (1990: 293, 209 ss.).
19. Ver, por exemplo, Thomas (1993).
20. Mokyr (1990: 83).
21. Pool (1990); Mulgan (1991).
22. Singer *et al.* (1958); Mokyr (1985). Porém, como o próprio Mokyr ressalta, na primeira Revolução Industrial na Grã-Bretanha, também havia uma interface entre ciência e tecnologia. Portanto, o aperfeiçoamento decisivo promovido por Watts na máquina a vapor projetada por Newcomen ocorreu em interação com seu amigo e protetor Joseph Black, professor de química da Universidade de Glasgow, onde, em 1757, Watts foi nomeado o "Criador de Instrumentos Matemáticos da Universidade" e conduziu seus próprios experimentos em um modelo da máquina de Newcomen (ver Dickinson, 1958). De fato, Ubbelohde (1958: 673) relata que "o condensador desenvolvido por Watts para a máquina a vapor, separado do cilindro em que o pistão se movimentava, era intimamente associado e inspirado nas pesquisas científicas de Joseph Black (1728-99), professor de química da Universidade de Glasgow".
23. Mokyr (1990: 82).
24. David (1975); David e Bunn (1988); Arthur (1989).
25. Rosenberg e Birdzell (1986).
26. Singer *et al.* (1957).
27. Rostow (1975); ver Jewkes *et al.* (1969) para a discussão e Singer *et al.* (1958) para dados históricos.
28. Mokyr (1990).
29. Hall e Preston (1988: 123).
30. A origem do conceito de "meio de inovação" pode ser buscada em Aydalot (1985). Também estava implícito no trabalho de Anderson (1985) e no de Arthur (1985). Mais ou menos na mesma época, Peter Hall e eu, em Berkeley, Roberto Camagni, em Milão, e Denis Maillat, em Lausanne, juntamente com o finado Philippe Aydalot por um breve período, começamos a desenvolver análises empíricas sobre os meios de inovação, tema que, com justiça, se tornou objeto de muitas pesquisas nos anos 90.
31. A discussão específica das condições históricas para a concentração das inovações tecnológicas não pode ser feita nos limites deste capítulo. Reflexões úteis sobre o tema são encontradas em Mokyr (1990) e em Gille (1978). Ver também Mokyr (1990: 298).
32. Rosenberg (1976, 1982); Dosi (1988).
33. Mokyr (1990: 83).

34. Fontana (1988); Nadal e Carreras (1990).
35. Forbes (1958: 150).
36. Mokyr (1990: 84).
37. Hall e Preston (1988); Canby (1962); Jarvis (1958). Uma das primeiras especificações detalhadas de um telégrafo elétrico faz parte de uma carta assinada por C.M. e publicada na revista *Scots Magazine*, em 1753. Em 1795, o catalão Francisco de Salva propôs uma das primeiras experiências práticas com um sistema elétrico. Há relatos não confirmados de que, em 1798, foi construído um telégrafo monofilar entre Madri e Aranjuez (42 km), com base no esquema de Salva. No entanto, foi apenas entre 1830-40 que o telégrafo elétrico foi estabelecido (William Coke na Inglaterra, Samuel Morse nos Estados Unidos), e, em 1851, instalou-se o primeiro cabo submarino, entre Dover e Calais (Garraat 1958); ver também Mokyr (1990); Sharlin (1967).
38. Forbes (1958: 148).
39. Um bom relato sobre as origens da Revolução da Tecnologia da Informação, naturalmente suplantado pelos novos desenvolvimentos desde a década de 80, é o de Braun e Macdonald (1982). Tom Forester conduziu o esforço mais sistemático para resumir os progressos da Revolução da Tecnologia da Informação em uma série de livros (1980, 1985, 1987, 1989, 1993). Para bons relatos sobre as origens da engenharia genética, ver Russell (1988) e Elkington (1985).
40. Uma "lei" aceita no setor de eletrônica creditada a Gordon Moore, presidente da Intel, a nova empresa no legendário Vale do Silício, hoje a maior do mundo e uma das mais rentáveis do setor de microeletrônica.
41. As informações relatadas neste capítulo são facilmente encontradas em jornais e revistas, e a maior parte foi extraída de minhas leituras das revistas *Business Week*, *The Economist*, *Wired* e *Scientific American* e dos jornais *New York Times*, *El Pais* e *São Francisco Chronicle*, que constituem a base de minhas informações diárias/semanais. Também usei subsídios de conversas ocasionais sobre assuntos relacionados à tecnologia com colegas e amigos de Berkeley e Stanford, conhecedores de eletrônica e biologia e familiarizados com fontes industriais. Não acho necessário fornecer referências detalhadas sobre esses tipos gerais de informações, exceto quando determinado dado ou citação for de difícil localização.
42. Ver Hall e Preston (1988); Mazlish (1993).
43. Penso que, a exemplo das Revoluções Industriais, haverá várias Revoluções da Tecnologia da Informação, das quais a ocorrida na década de 70 é apenas a primeira. Provavelmente a segunda, no início do século XXI, dará um papel mais importante à revolução biológica, em estreita interação com as novas tecnologias computacionais.
44. Braun e Macdonald (1982).
45. Mokyr (1990: 111).
46. Hall e Preston (1988).
47. Ver a descrição feita por Forester (1987).
48. Egan (1995).
49. Hart *et al.* (1992).
50. Sobre o desenvolvimento da biotecnologia e da engenharia genética, ver, por exemplo, Teitelman (1989); Hall (1987); Congresso Norte-americano, Departamento de Avaliação de Tecnologias (1991); Bishop e Waldholz (1990).

34. Fontana (1988); Nadal e Carreras (1990).
35. Forbes (1958: 150).
36. Mokyr (1990: 84).
37. Hall e Preston (1988); Canby (1962); Jarvis (1958). Uma das primeiras especificações detalhadas de um telégrafo elétrico faz parte de uma carta assinada por C.M. e publicada na revista *Scots Magazine*, em 1753. Em 1795, o catalão Francisco de Salva propôs uma das primeiras experiências práticas com um sistema elétrico. Há relatos não confirmados de que, em 1798, foi construído um telégrafo monofilar entre Madri e Aranjuez (42 km), com base no esquema de Salva. No entanto, foi apenas entre 1830-40 que o telégrafo elétrico foi estabelecido (William Coke na Inglaterra, Samuel Morse nos Estados Unidos), e, em 1851, instalou-se o primeiro cabo submarino, entre Dover e Calais (Garrat 1958); ver também Mokyr (1990); Sharlin (1967).
38. Forbes (1958: 148).
39. Um bom relato sobre as origens da Revolução da Tecnologia da Informação, naturalmente suplantado pelos novos desenvolvimentos desde a década de 80, é o de Braun e Macdonald (1982). Tom Forester conduziu o esforço mais sistemático para resumir os progressos da Revolução da Tecnologia da Informação em uma série de livros (1980, 1985, 1987, 1989, 1993). Para bons relatos sobre as origens da engenharia genética, ver Russell (1988) e Elkington (1985).
40. Uma "lei" aceita no setor de eletrônica creditada a Gordon Moore, presidente da Intel, a nova empresa no legendário Vale do Silício, hoje a maior do mundo e uma das mais rentáveis do setor de microeletrônica.
41. As informações relatadas neste capítulo são facilmente encontradas em jornais e revistas, e a maior parte foi extraída de minhas leituras das revistas *Business Week*, *The Economist*, *Wired* e *Scientific American* e dos jornais *New York Times*, *El Pais* e *São Francisco Chronicle*, que constituem a base de minhas informações diárias/semanais. Também usei subsídios de conversas ocasionais sobre assuntos relacionados à tecnologia com colegas e amigos de Berkeley e Stanford, conhecedores de eletrônica e biologia e familiarizados com fontes industriais. Não acho necessário fornecer referências detalhadas sobre esses tipos gerais de informações, exceto quando determinado dado ou citação for de difícil localização.
42. Ver Hall e Preston (1988); Mazlish (1993).
43. Penso que, a exemplo das Revoluções Industriais, haverá várias Revoluções da Tecnologia da Informação, das quais a ocorrida na década de 70 é apenas a primeira. Provavelmente a segunda, no início do século XXI, dará um papel mais importante à revolução biológica, em estreita interação com as novas tecnologias computacionais.
44. Braun e Macdonald (1982).
45. Mokyr (1990: 111).
46. Hall e Preston (1988).
47. Ver a descrição feita por Forester (1987).
48. Egan (1995).
49. Hart *et al.* (1992).
50. Sobre o desenvolvimento da biotecnologia e da engenharia genética, ver, por exemplo, Teitelman (1989); Hall (1987); Congresso Norte-americano, Departamento de Avaliação de Tecnologias (1991); Bishop e Waldholz (1990).

76. Ver, para uma análise das tendências, Kelly (1995); para uma perspectiva histórica sobre a convergência entre a mente e as máquinas, Mazlish (1994); para uma reflexão teórica, Levy (1994).
77. Millan (1996); e Kaiser *et al.* (1995).
78. Ver a excelente análise em perspectiva de Gelernter (1991).
79. Mazlish (1993: 233).
80. A difusão da teoria do caos para uma grande audiência deveu-se, em grande parte, ao *best seller* de Gleick (1987); ver também Hall (1991). Para um relato claro e intrigante sobre a escola da “complexidade”, ver Waldrop (1992).
81. Kranzberg (1985: 50).
82. Para uma discussão fortuita informativa dos recentes grandes avanços científicos e relativos à mente humana, ver Baumgartner e Payr (1995). Para uma interpretação mais contundente, ainda que controversa, feita por um dos fundadores da revolução genética, ver Crick (1994).