

1.10

Perspectiva histórica e leitura adicional

Para cada capítulo no texto, existe uma seção dedicada à perspectiva histórica. Podemos acompanhar o desenvolvimento de uma ideia por meio de uma série de máquinas ou descrever alguns projetos importantes, e também oferecemos referências, caso você esteja interessado em investigar mais.

A perspectiva histórica para este capítulo oferece uma base para algumas das principais ideias apresentadas no capítulo de abertura. Sua finalidade é oferecer a história humana por trás dos avanços tecnológicos e colocar as realizações em seu contexto histórico. Compreendendo o passado, você poderá entender melhor as forças que modelarão a computação no futuro. Cada seção de perspectivas históricas termina com sugestões para leitura adicional.

Um campo ativo da ciência é como um imenso formigueiro; o indivíduo quase desaparece na massa de mentes caindo umas sobre as outras, transportando informações de um lugar para outro, passando-as na velocidade da luz.

Lewis Thomas,
“Natural Science”, in *The Lives of a Cell*, 1974

Os primeiros computadores eletrônicos

J. Presper Eckert e John Mauchly, na Moore School da Universidade da Pensilvânia, montaram aquilo que é considerado por muitos o primeiro computador eletrônico operacional e de uso geral do mundo. Essa máquina, chamada ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator), foi custeada pelo Exército dos Estados Unidos e tornou-se operacional durante a Segunda Guerra Mundial, mas não foi divulgada publicamente antes de 1946. O ENIAC era uma máquina de uso geral utilizada para calcular tabelas de disparo de artilharia. Esse computador em forma de U tinha 24 metros de comprimento por 2,5 metros de altura e vários metros de largura (Figura 1.10.1). Cada um dos 20 registradores de 10 dígitos tinha 60cm de extensão. No total, o ENIAC usava 18.000 válvulas.

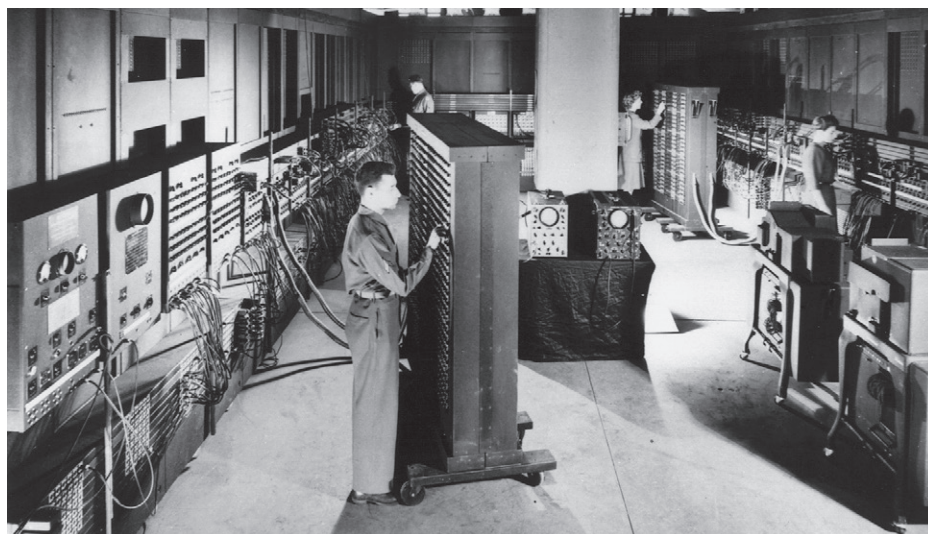


FIGURA 1.10.1 ENIAC, o primeiro computador eletrônico de uso geral do mundo. Observe a etiqueta no canto inferior direito; isso se deve ao caso de patente mencionado nesta seção 1.10.1.

Em tamanho, o ENIAC era duas ordens de grandeza maior do que as máquinas construídas hoje, embora fosse mais do que cinco ordens de grandeza mais lento, realizando 1.900 somas por segundo. O ENIAC fornecia desvios condicionais e era programável, claramente distinguindo-o das calculadoras mais antigas. A programação era feita manualmente, conectando cabos e virando chaves, e os dados eram inseridos em cartões perfurados. A programação para os cálculos típicos exigia de meia hora a um dia inteiro. O ENIAC era

uma máquina de uso geral, limitada principalmente por uma pequena quantidade de armazenamento e programação cansativa.

Em 1944, John von Neumann foi atraído ao projeto ENIAC. O grupo queria melhorar o modo como os programas eram inseridos e elaborou o armazenamento de programas como números; von Neumann ajudou a concretizar as ideias e escreveu um artigo científico propondo um computador de programa armazenado, chamado EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer). Herman Goldstine distribuiu o artigo científico e colocou nele o nome de von Neumann, para o espanto de Eckert e Mauchly, cujos nomes foram omitidos. Esse artigo científico serviu como base para o termo bastante utilizado *computador de von Neumann*. Vários dos pioneiros no campo de computação acreditavam que esse termo dava muito crédito a von Neumann, que escreveu as ideias, e muito pouco aos engenheiros, Eckert e Mauchly, que trabalharam nas máquinas. Por esse motivo, o termo não aparece em outros lugares neste livro.

Em 1946, Maurice Wilkes, da Universidade de Cambridge, visitou a Moore School para assistir à última parte de uma série de palestras sobre desenvolvimentos em computadores eletrônicos. Quando retornou a Cambridge, Wilkes decidiu embarcar em um projeto para construir um computador de programa armazenado, chamado EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator). EDSAC tornou-se operacional em 1949 e foi o primeiro computador de programa armazenado operacional e de grande escala do mundo [Wilkes, 1985]. (Um pequeno protótipo, chamado Mark-I, construído na Universidade de Manchester em 1948, poderia ser considerado a primeira máquina de programa armazenado operacional.) A Seção 2.5, no Capítulo 2, explica o conceito de programa armazenado.

Em 1947, Eckert e Mauchly pediram uma patente sobre computadores eletrônicos. O diretor da Moore School, exigindo que a patente fosse para a universidade, pode ter ajudado Eckert e Mauchly a concluírem que deveriam sair. Sua saída atrapalhou o projeto EDVAC, adiando o término até 1952.

Goldstine saiu para se juntar a von Neumann no Institute for Advanced Study (IAS), em Princeton, em 1946. Junto com Arthur Burks, eles criaram um relatório baseado no artigo científico escrito anteriormente [Burks, Goldstine e von Neumann, 1946]. O trabalho era incrível para a época; lendo-o hoje, você nunca imaginaria que esse documento marcante foi escrito há mais de 50 anos, pois discute a maioria dos conceitos arquitetônicos vistos nos computadores modernos. Esse documento levou à máquina IAS, construída por Julian Bigelow. Ela tinha um total de 1.024 words de 40 bits e era aproximadamente 10 vezes mais rápida do que o ENIAC. O grupo pensou a respeito dos usos para a máquina, publicou um conjunto de relatórios e incentivou visitantes. Esses relatórios e visitantes inspiraram o desenvolvimento de uma série de novos computadores.

Recentemente, tem havido alguma controvérsia sobre o trabalho de John Atanasoff, que construiu um computador eletrônico de pequena escala no início da década de 1940. Sua máquina, projetada na Universidade do Estado de Iowa, era um computador de uso especial que nunca se tornou completamente operacional. Mauchly visitou rapidamente Atanasoff antes de construir o ENIAC. A presença da máquina de Atanasoff, junto com os atrasos no arquivamento das patentes do ENIAC (o trabalho era confidencial, e as patentes não poderiam ser arquivadas antes do término da guerra) e a distribuição do artigo de von Neumann sobre o EDVAC foram usados para quebrar a patente de Eckert-Mauchly. Embora ainda haja controvérsia sobre o papel de Atanasoff, Eckert e Mauchly normalmente recebem crédito pela construção do primeiro computador eletrônico de uso geral funcionando [Stern, 1980].

Outra máquina antiga que merece algum crédito foi uma máquina de uso especial, construída por Konrad Zuse, na Alemanha, no final da década de 1930 e início da de 1940. Embora Zuse tivesse o projeto para um computador programável pronto, o governo alemão decidiu não patrocinar investigações científicas que levassem mais de dois anos, pois os burocratas esperavam que a guerra já estivesse ganha nesse prazo.

Do outro lado do Canal Inglês, durante a Segunda Guerra Mundial, computadores eletrônicos de uso especial foram construídos para decodificar as mensagens alemãs interceptadas. Uma equipe no Bletchley Park, incluindo Alan Turing, construiu o Colossus em

1943. As máquinas foram mantidas secretas até 1970; após a guerra, o grupo tinha pouco impacto sobre os computadores comerciais britânicos.

Enquanto o trabalho no ENIAC seguiu adiante, Howard Aiken estava construindo um computador eletromecânico chamado de Mark-I, em Harvard (um nome que Manchester mais tarde adotou para sua máquina). Ele sucedeu o Mark-I com uma máquina de relés, o Mark-II, e um par de máquinas com válvulas, o Mark-III e o Mark-IV. Ao contrário das máquinas anteriores, como EDSAC, que usavam uma única memória para instruções e dados, Mark-III e Mark-IV tinham memórias separadas para instruções e dados. As máquinas eram consideradas reacionárias pelos defensores dos computadores de programa armazenado; o termo *arquitetura de Harvard* foi criado para descrever as máquinas com memórias separadas. Respeitando a história, esse termo é usado hoje em um sentido diferente, para descrever máquinas com uma única memória principal, mas com caches separadas para instruções e dados.

O projeto Whirlwind foi iniciado no MIT em 1947 e visava a aplicações de processamento de sinais de radar em tempo real. Embora levando a várias invenções, sua inovação mais importante foi a memória de núcleo magnético. O Whirlwind tinha 2.048 words de 16 bits de núcleo magnético. Os núcleos magnéticos serviram como tecnologia de memória principal por quase 30 anos.

Desenvolvimentos comerciais

Em dezembro de 1947, Eckert e Mauchly formaram a Eckert-Mauchly Computer Corporation. Sua primeira máquina, o BINAC, foi construída para a Northrop e apresentada em agosto de 1949. Após algumas dificuldades financeiras, sua firma foi adquirida pela Remington-Rand, onde construíram o UNIVAC I (Universal Automatic Computer), projetado para ser vendido como um computador de uso geral (Figura 1.10.2). Entregue inicialmente em junho de 1951, o UNIVAC I foi vendido por cerca de US\$1 milhão e foi o primeiro computador comercial de sucesso – 48 sistemas foram construídos! Essa máquina inicial, junto com muitas outras partes fascinantes da tradição dos computadores, pode ser vista no Museu do Computador em Boston, Massachusetts, e no History Center in Mountain View, Califórnia.

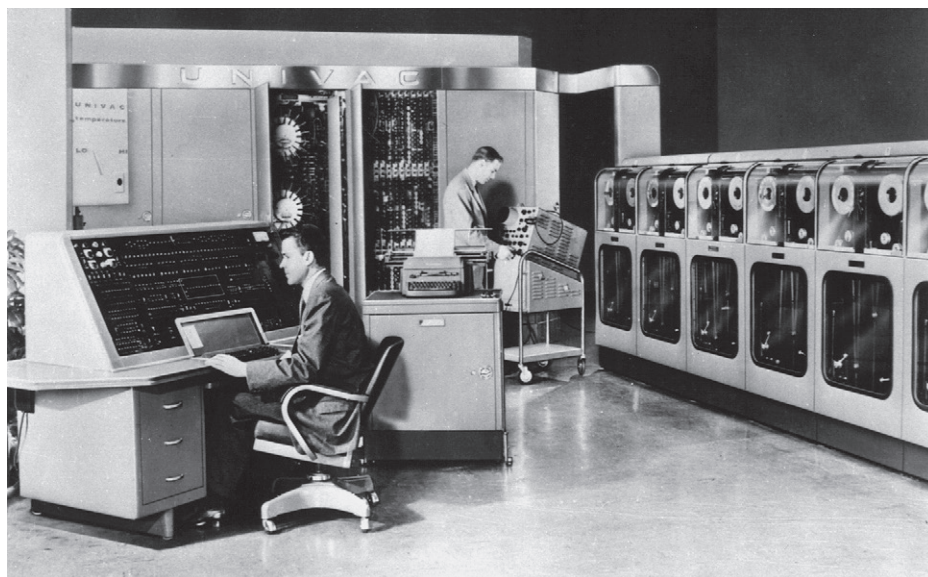


FIGURA 1.10.2 UNIVAC I, o primeiro computador comercial nos Estados Unidos. Ele previu corretamente o resultado da eleição presidencial de 1952, mas sua previsão inicial teve a divulgação retida porque os especialistas duvidaram do uso de tais resultados antecipados.

A IBM já estava no negócio de cartão perfurado e automação de escritórios, mas não começou a montar computadores antes de 1950. O primeiro computador IBM, o IBM 701, foi entregue em 1952, e 19 unidades foram vendidas. No início da década de 1950, muitas pessoas estavam pessimistas sobre o futuro dos computadores, acreditando que o mercado e as oportunidades para essas máquinas “altamente especializadas” eram bastante limitados.

Em 1964, depois de investir US\$5 bilhões, a IBM fez uma jogada corajosa com o anúncio do System/360. Na época, um porta-voz da IBM disse o seguinte:

Não somos de forma alguma modestos nesse anúncio. Esse é o anúncio do produto mais importante que essa empresa já fez em sua história. Não é um computador em qualquer outro sentido anterior. Não é um produto, mas uma linha de produtos... que se estende em desempenho do início ao fim da linha de computadores.



a.



c.



b.



d.

FIGURA 1.10.3 Computadores IBM System/360: os modelos 40, 50, 65 e 75 foram introduzidos em 1964. Esses quatro modelos variavam em custo e desempenho por um fator de quase dez vezes; ele aumenta para 25 vezes se incluirmos os modelos 20 e 30 (não mostrados). A taxa de clock, intervalo de tamanhos de memória e preço aproximado apenas para o processador e memória de tamanho médio: (a) Modelo 40, 1,6MHz, 32KB–256KB, US\$225.000; (b) Modelo 50, 2,0MHz, 128KB–256KB, US\$550.000; (c) Modelo 65, 5,0MHz, 256KB–1MB, US\$1.200.000; e (d) Modelo 75, 5,1MHz, 256KB–1MB, US\$1.900.000. O acréscimo de dispositivos de E/S normalmente aumentava o preço por fatores de 1,8 a 3,5 vezes, com fatores maiores para modelos mais baratos.

Adaptando a ideia da abstração da arquitetura para a realidade comercial, a IBM anunciou seis implementações da arquitetura System/360, que variavam em preço e desempenho por um fator de 25 vezes. A Figura 1.10.3 mostra quatro desses modelos. A IBM apostou sua empresa no sucesso da *família de computadores*, e a IBM venceu. O System/360 e seus sucessores dominaram o mercado de grandes computadores.

Quase um ano depois, a Digital Equipment Corporation (DEC) lançou o PDP-8, o primeiro *minicomputador* comercial. Essa pequena máquina foi uma inovação em projeto de baixo custo, permitindo que a DEC oferecesse um computador por menos de US\$20.000. Os minicomputadores foram os precursores dos microprocessadores, com a Intel inventando o primeiro microprocessador em 1971 – o Intel 4004.

Em 1963 veio o anúncio do primeiro *supercomputador*. Esse anúncio surgiu não das grandes empresas, nem mesmo dos centros de alta tecnologia. Seymour Cray liderou o projeto do Control Data Corporation CDC 6600 em Minnesota. Essa máquina incluiu muitas ideias que estão começando a ser encontradas nos microprocessadores mais recentes. Cray mais tarde deixou a CDC para formar a Cray Research, Inc., em Wisconsin. Em 1976, ele anunciou o Cray-1 (Figura 1.10.4). Essa máquina foi simultaneamente a mais rápida do mundo, a mais cara e o computador com o melhor custo/desempenho para programas científicos.



FIGURA 1.10.4 Cray-1, o primeiro supercomputador vetorial comercial, anunciado em 1976. Essa máquina tinha a distinção incomum de ser tanto o computador mais rápido para aplicações científicas quanto o computador com o melhor preço/desempenho para essas aplicações. Visto de cima, o computador se parece com uma letra C. Seymour Cray faleceu em 1996 em consequência de ferimentos sofridos em um acidente de automóvel. Na época de sua morte, esse pioneiro dos computadores de 70 anos estava trabalhando em sua visão da próxima geração de supercomputadores. (Veja mais detalhes em www.cray.com.)

Enquanto Seymour Cray estava criando o computador mais caro do mundo, outros projetistas no mundo inteiro estavam analisando o uso do microprocessador para criar um computador tão barato que você pudesse levá-lo para casa. Não existe um único inventor do *computador pessoal*, mas, em 1977, o Apple II (Figura 1.10.5) de Steve Jobs e Steve Wozniak definiu padrões para baixo custo, alto volume e alta confiabilidade que definiu o setor de computadores pessoais.



FIGURA 1.10.5 O Apple IIc Plus. Projetado por Steve Wozniak, o Apple IIc definiu padrões de custo e confiabilidade para o setor.

No entanto, mesmo com uma dianteira de quatro anos, os computadores pessoais da Apple acabaram ficando em segundo lugar em popularidade. O IBM Personal Computer, anunciado em 1981, tornou-se o computador mais vendido de qualquer espécie; seu sucesso deu à Intel o microprocessador mais popular e à Microsoft o sistema operacional mais popular. Hoje, o CD mais popular é o sistema operacional da Microsoft, embora ele custe muitas vezes mais do que um CD de música! Naturalmente, durante os mais de 20 anos que o computador pessoal compatível com o IBM existe, ele evoluiu bastante. Na verdade, os primeiros computadores pessoais tinham processadores de 16 bits e 64KB de memória, e um disquete lento de baixa densidade continha o único armazenamento não volátil! Os disquetes foram desenvolvidos originalmente pela IBM para carregar programas de diagnóstico nos mainframes, mas foram o principal dispositivo de E/S nos computadores pessoais por quase 20 anos, antes que o surgimento dos CDs e das redes os tornasse obsoletos como método de troca de dados. Naturalmente, os microprocessadores Intel também evoluíram desde o primeiro PC, que usava um processador de 16 bits com uma interface externa de 8 bits! No Capítulo 2, falaremos sobre a evolução da arquitetura Intel.



FIGURA 1.10.6 O Xerox Alto foi a principal inspiração para o computador desktop moderno. Ele incluía um mouse, um monitor com mapeado de bits, uma interface com o usuário baseada em janelas e uma conexão de rede local.

Os primeiros computadores pessoais eram muito simples, com pouca ou nenhuma capacidade gráfica, nenhum dispositivo apontador e sistemas operacionais primitivos em comparação com os de hoje. O computador que inspirou muitos dos conceitos arquitetônicos e de software que caracterizam as máquinas desktop modernas foi o Xerox Alto, mostrado na Figura 1.10.6. O Alto foi criado como um protótipo experimental de um computador do futuro; foram construídos centenas de Altos, incluindo uma quantidade significativa que foi doada para universidades. Entre as tecnologias incorporadas no Alto estavam:

- um monitor gráfico de mapa de bits integrado a um computador (as primeiras telas gráficas atuavam como terminais, normalmente conectadas a computadores maiores).
- um mouse, que foi inventado antes, mas incluído em cada Alto e usado extensivamente na interface com o usuário.
- uma rede local, que se tornou a precursora da rede Ethernet.
- uma interface com o usuário baseada em janelas e contendo um editor WYSIWYG (What You See Is What You Get) e programas de desenho interativos.

Além disso, servidores de arquivos e servidores de impressão foram desenvolvidos e interligados pela rede local, e as conexões entre a rede local e a ARPAnet remota produziram as primeiras versões da rede no estilo Internet. O Xerox Alto foi incrivelmente influente e afetou o projeto de uma grande variedade de computadores e sistemas de software, incluindo o Apple Macintosh, o PC compatível com o IBM, o MacOS e o Windows, além da Sun e outras estações de trabalho mais antigas.

O crescimento da computação embutida

Os processadores embutidos já existem há muito tempo; na verdade, os primeiros minicomputadores e os primeiros microprocessadores foram desenvolvidos originalmente para controlar funções em um laboratório ou aplicação industrial. Por muitos anos, o uso dominante de processadores embutidos foi para aplicações de controle industrial, e embora esse uso continuasse a crescer, os processadores tendiam a ser muito baratos e o desempenho relativamente baixo. Por exemplo, o processador mais vendido no mundo continua sendo um microcontrolador de 8 bits usado em carros, alguns eletrodomésticos e outras aplicações simples.

O final dos anos 80 e o início dos anos 90 viram o surgimento de novas oportunidades para processadores embutidos, variando desde videogames e receptores mais avançados até telefones celulares e assistentes digitais pessoais. O número cada vez maior de utensílios de informação e o crescimento das redes levaram a aumentos fantásticos no número de processadores embutidos, além dos requisitos de desempenho. Para avaliar o desempenho, a comunidade de computadores embutidos foi inspirada pelo SPEC para criar o *Embedded Microprocessor Benchmark Consortium (EEMBC)*. Iniciado em 1997, ele consiste em uma coleção de kernels organizados em conjuntos que focalizam diferentes partes do setor de embutidos. Eles anunciaram a segunda geração desses benchmarks em 2007.

Meio século de progresso

Desde 1951, têm surgido milhares de novos computadores usando uma grande variedade de tecnologias e com capacidades muito variáveis. A Figura 1.10.7 resume as principais características de algumas máquinas mencionadas nesta seção e mostra as mudanças fantásticas que ocorreram por um período de 50 anos. Depois de ajustar pela inflação, o fator preço/desempenho melhorou em cerca de 100 bilhões em 55 anos, ou cerca de 58% por ano. Outra forma de dizer isso é que vimos um fator de melhoria de 10.000 no custo e um fator de 10.000.000 de melhoria do desempenho.

Os leitores interessados na história do computador deverão consultar *Annals of the History of Computing*, um periódico dedicado à história da computação. Também apareceram vários livros descrevendo os primeiros dias da computação, muitos escritos pelos pioneiros, incluindo Goldstine, 1972; Metropolis, Howlett e Rota, 1980; e Wilkes, 1985.

Ano	Nome	Tamanho (pés cúbicos)	Potência (watts)	Desempenho (adds/seg)	Memória (KB)	Preço	Preço-desempenho vs. UNIVAC	Preço ajustado (2003 \$)	Preço-desempenho ajustado vs. UNIVAC
1951	UNIVAC I	1.000	125.000	2.000	48	US\$1.000.000	1	US\$ 6.107.600	1
1964	IBM S/360 modelo 50	60	10.000	500.000	64	US\$1.000.000	263	US\$ 4.792.300	318
1965	PDP-8	8	500	330.000	4	US\$16.000	10.855	US\$ 75.390	13.135
1976	Cray-1	58	60.000	166.000.000	32.000	US\$4.000.000	21.842	US\$ 10.756.800	51.604
1981	IBM PC	1	150	240.000	256	US\$3.000	42.105	US\$ 5.461	154.673
1991	HP 9000/ modelo 750	2	500	50.000.000	16.384	US\$7.400	3.556.188	US\$ 9.401	16.122.356
1996	Intel PPro PC (200 MHz)	2	500	400.000.000	16.384	US\$4.400	47.846.890	US\$ 4.945	239.078.908
2003	Intel Pentium 4 PC (3,0 GHz)	2	500	6.000.000.000	262.144	US\$1.600	1.875.000.000	US\$ 1.600	11.452.000.000
2007	AMD Barcelona PC (2,5 GHz)	2	250	20.000.000.000	2.097.152	US\$800	12.500.000.000	US\$800	95.884.051.042

FIGURA 1.10.7 Características dos principais computadores comerciais desde 1950, em dólares reais e em dólares de 2007 ajustados pela inflação.

A última linha considera que podemos utilizar totalmente o desempenho em potencial dos quatro cores no Barcelona. Ao contrário da Figura 1.10.3, aqui o preço do IBM S/360 modelo 50 inclui dispositivos de E/S. *Fonte:* The Computer Museum, Boston, e Producer Price Index for Industrial Commodities.

Leitura adicional

Barroso, L. e U. Hözlze [2007]. “The case for energy-proportional computing”, *IEEE Computer*, dezembro. *Um apelo à mudança da natureza dos componentes do computador de modo que usem menos energia quando pouco utilizados.*

Bell, C. G. [1996]. *Computer Pioneers and Pioneer Computers*, ACM and the Computer Museum, fitas de vídeo.

Duas fitas de vídeo sobre a história da computação, produzidas por Gordon e Gwen Bell, incluindo as seguintes máquinas e seus inventores: Harvard Mark-I, ENIAC, EDSAC, máquina IAS e muitas outras.

Burks, A. W., H. H. Goldstine e J. von Neumann [1946]. “Preliminary discussion of the logical design of an electronic computing instrument”. Relatório ao U.S. Army Ordnance Department, p. 1; também aparece em *Papers of John von Neumann*, W. Aspray e A. Burks, eds., MIT Press, Cambridge, MA., e Tomash Publishers, Los Angeles, 1987, 97–146.

Um documento clássico, explicando o hardware e software do computador antes da criação do primeiro computador de programa armazenado. Ele é bastante citado no Capítulo 3 e explica os computadores ao mundo e é uma fonte de controvérsia, pois o primeiro rascunho não deu crédito a Eckert e Mauchly.

Campbell-Kelly, M., e W. Aspray [1996]. *Computer: A History of the Information Machine*, Basic Books, Nova York.

Dois historiadores registram a história dramática. O New York Times o considera bem escrito e definitivo.

Ceruzzi, P. F. [1998] *A History of Modern Computing*. MIT Press, Cambridge, MA.

Contém uma boa descrição da história mais recente da computação: o circuito integrado e seu impacto, computadores pessoais, UNIX e a Internet.

Curnow, H. J. e B. A. Wichmann [1976]. “A synthetic benchmark,” *The Computer J.* 19 (1):80.

Descreve o primeiro benchmark sintético importante, o Whetstone, e como ele foi criado.

Flemming, P. J. e J. J. Wallace [1986]. “How not to lie with statistics: The correct way to summarize benchmark results,” *Comm. ACM* 29:3 (março), 218–21.

Descreve alguns dos princípios básicos no uso de diferentes meios para resumir os resultados de desempenho.

Goldstine, H. H. [1972]. *The Computer: From Pascal to von Neumann*, Princeton University Press, Princeton, NJ.

Uma visão pessoal da computação, por um dos pioneiros que trabalharam com von Neumann.

Hayes, B. [2007]. “Computing in a parallel universe,” *American Scientist*, Vol. 95 (novembro-dezembro), 476–480.

Uma visão geral do desafio da computação paralela, escrito para o leigo.

Hennessy, J. L., e D. A. Patterson [2003]. Seções 1.3 e 1.4 de *Arquitetura de Computadores: Uma abordagem quantitativa*, 3a. ed., Editora Campus, Rio de Janeiro.

Estas seções contêm muito mais detalhes sobre o custo dos circuitos integrados e explicam os motivos para a diferença entre preço e custo.

Lampson, B.W. [1986] “Personal distributed computing; The Alto and Ethernet software.” Em ACM Conference on the History of Personal Workstations, (janeiro).

Thacker, C. R. “Personal distributed computing; The Alto and Ethernet hardware.” Em ACM Conference on the History of Personal Workstations (janeiro).

Esses dois artigos descrevem o software e o hardware do Alto.

Metropolis, N., Howlett, J. e G-C Rota, eds. [1980] *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nova York.

Uma coleção de ensaios que descrevem as pessoas, software, computadores e laboratórios envolvidos nos primeiros computadores experimentais e comerciais. A maioria dos autores esteve envolvida pessoalmente nos projetos. Uma bibliografia excelente dos primeiros relatórios conclui esse interessante livro.

Public Broadcasting System [1992]. *The Machine that Changed the World*, fitas de vídeo.

Esses cinco programas de uma hora incluem uma cobertura rara e entrevistas com os pioneiros do setor de computação.

Slater, R. [1987]. *Portraits in Silicon*, MIT Press, Cambridge, MA.

Pequenas biografias de 31 pioneiros em computadores.

Stern, N. [1980]. "Who invented the first electronic digital computer?", *Annals of the History of Computing* 2:4 (outubro) 375–76.

O ponto de vista de um historiador sobre Atanasoff vs. Eckert e Mauchly.

Wilkes, M. V. [1985]. *Memoirs of a Computer Pioneer*, MIT Press, Cambridge, MA.

Uma visão pessoal da computação por um dos pioneiros.