

# Organização de Computadores

## Evolução e Desempenho de Computadores

Prof. José Paulo G. de Oliveira  
Engenharia da Computação, UPE

[jpgo@poli.upe.br](mailto:jpgo@poli.upe.br)





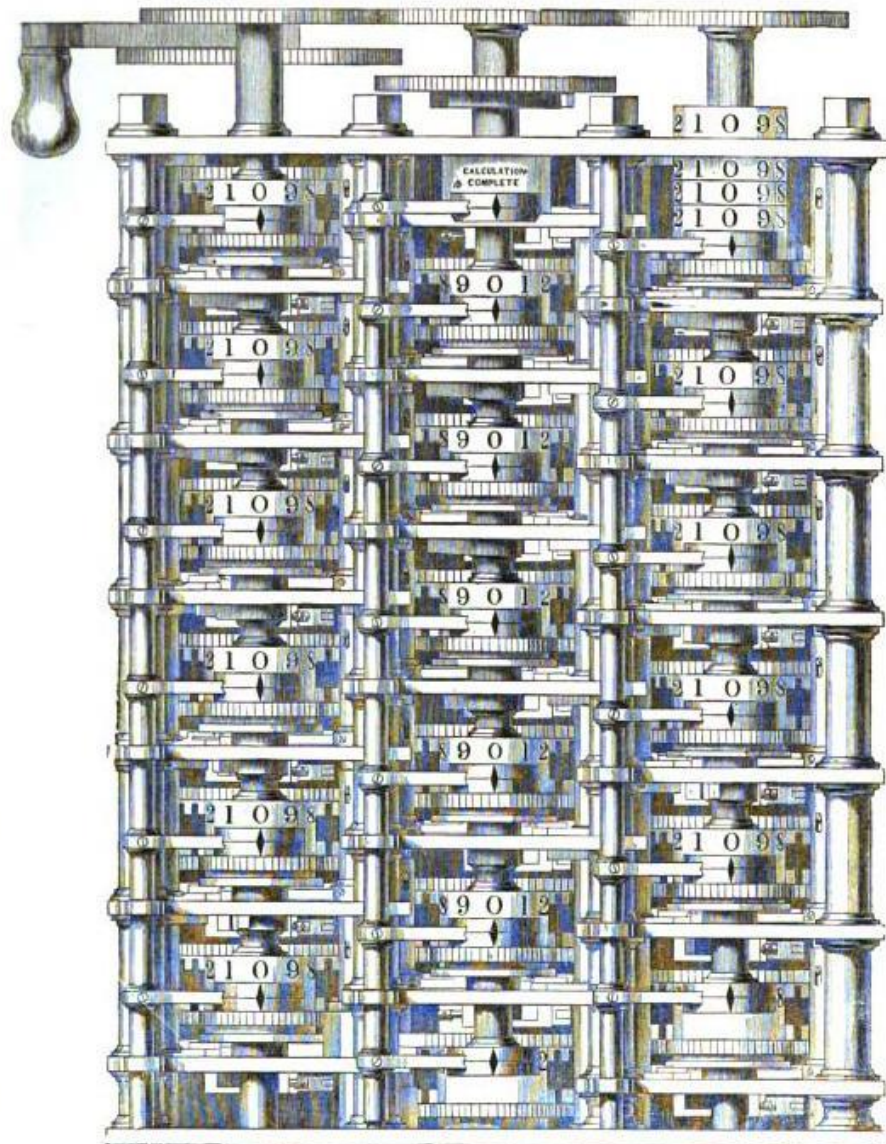
# Conteúdo

- Histórico dos Computadores
  - ENIAC
  - von Neumann e Turing
  - IAS - Institute for Advanced Study
- Computadores Comerciais
- Computadores Baseados em Transistores
  - Série IBM 360
  - DEC PDP-8
- Microeletrônica
  - Lei de Moore
  - Memórias de Semicondutores
  - Evolução das Características de RAM e de Processadores

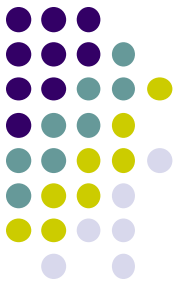


# História

# Difference Engine Charles Babbage ~1820



*B. H. Babbage, del.*



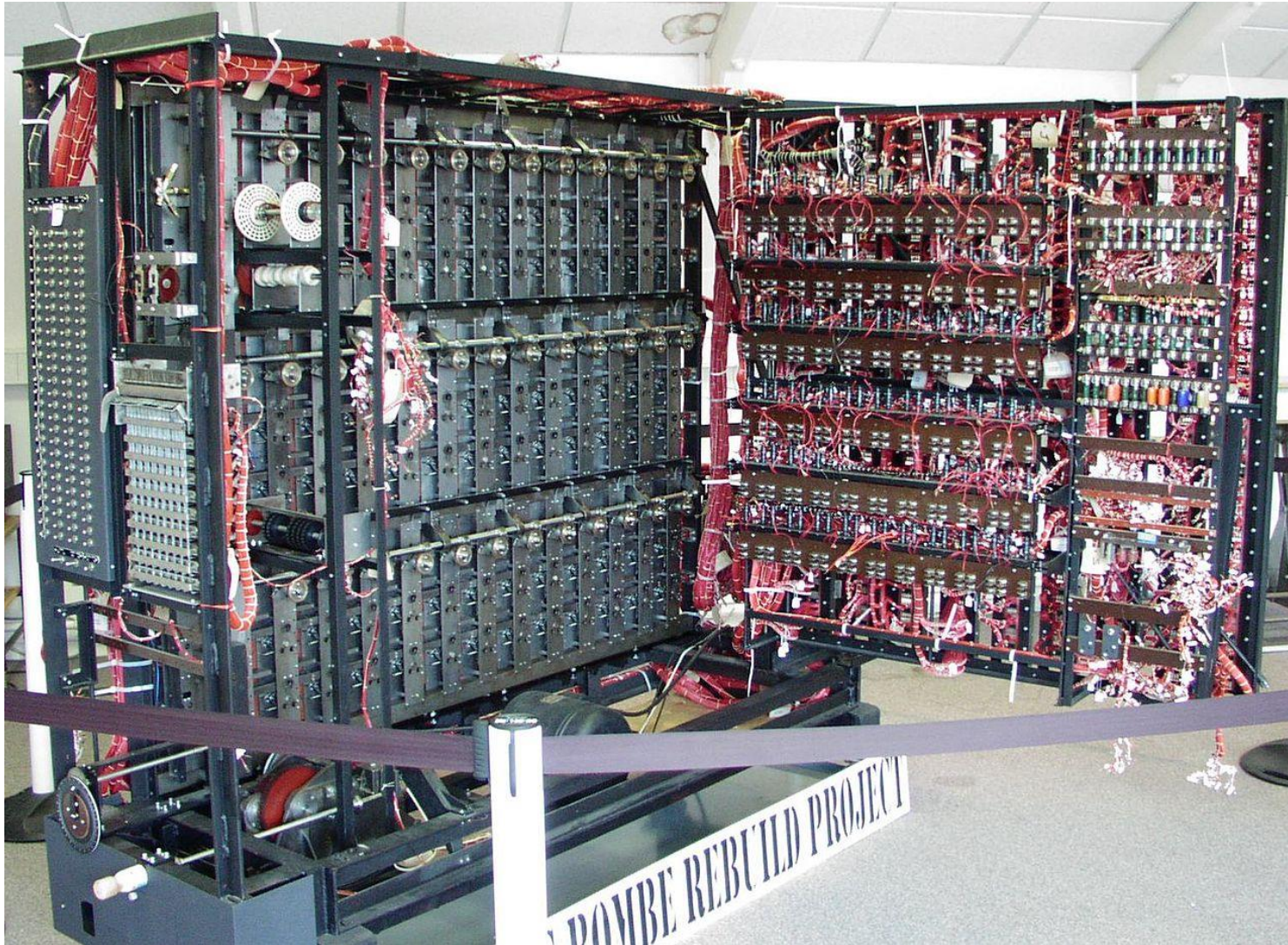


Tabulating Machine  
Herman Hollerith  $\Rightarrow$  IBM  
~1890





Bombe  
Alan Turing  
~1940





# Histórico dos Computadores

- Válvula - 1946-1957
- Transistor - 1958-1964
- *Small Scale Integration* – SSI - 1965
  - Até 100 dispositivos num único chip
- *Medium Scale Integration* – MSI - 1971
  - De 100 a 3000 dispositivos num único chip
- *Large Scale Integration* – LSI - 1971-1977
  - De 3000 a 100 000 dispositivos num único chip

# Histórico dos Computadores



- *Very Large Scale Integration – VLSI – 1978*
  - De 100 000 a 100 000 000 de dispositivos num único chip
- *Ultra Large Scale Integration - ULSI*
  - Mais de 100 000 000 de dispositivos num único chip
- ????



# Válvulas



# ENIAC



- *Electronic Numerical Integrator And Computer*
- Eckert e Mauchly
- University of Pennsylvania
- Cálculos balísticos
- Iniciado em 1943 e terminado em 1946
  - Tarde demais para o esforço de guerra
- Utilizado até 1955

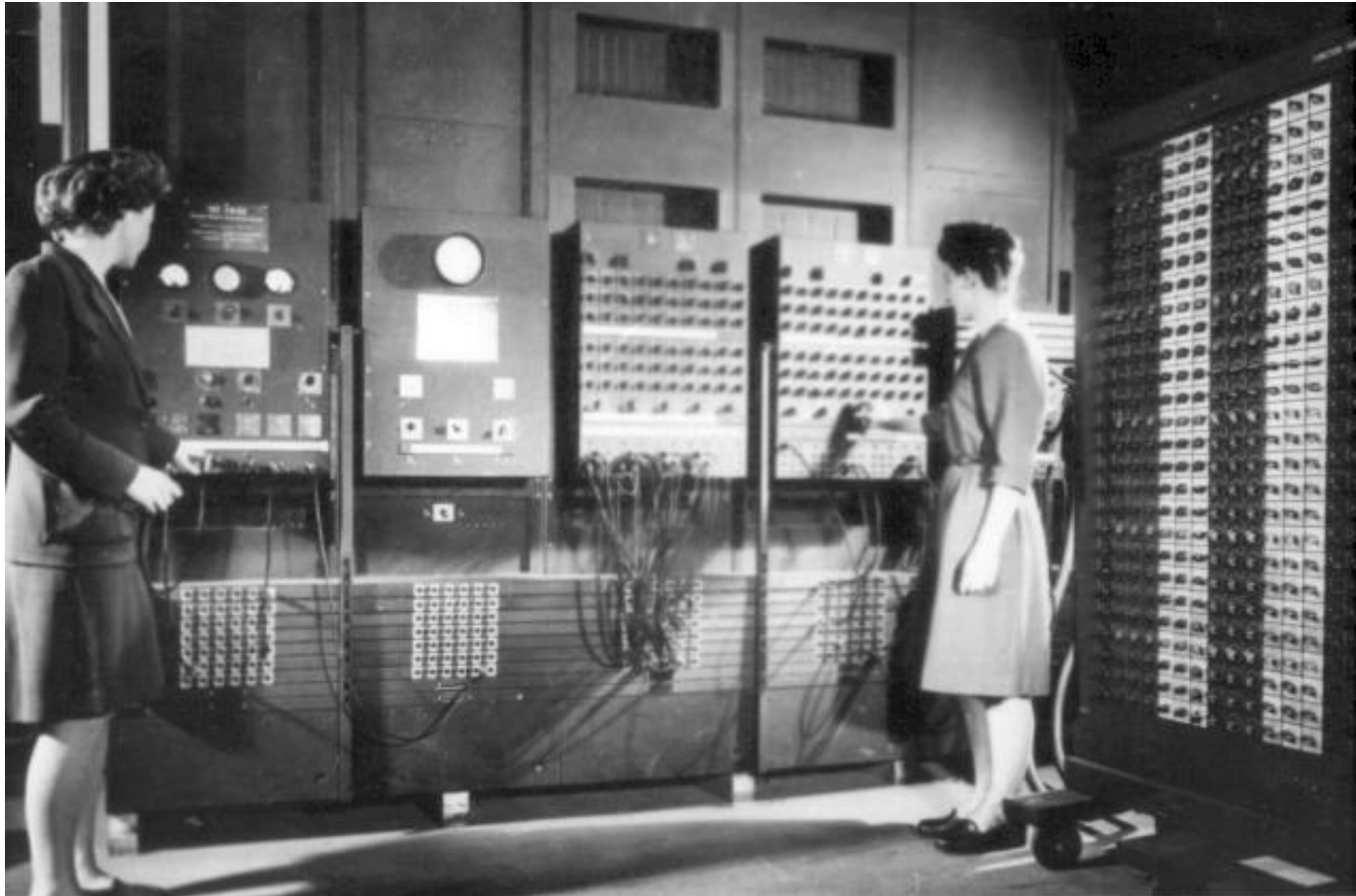


# ENIAC - Detalhes

- Decimal (não binário)
- 20 acumuladores de 10 dígitos
- Programado manualmente por chaves
- 18000 válvulas
- 30 toneladas
- 140 m<sup>2</sup>
- 140 kW de consumo
- 5000 somas/s



# ENIAC - Programação

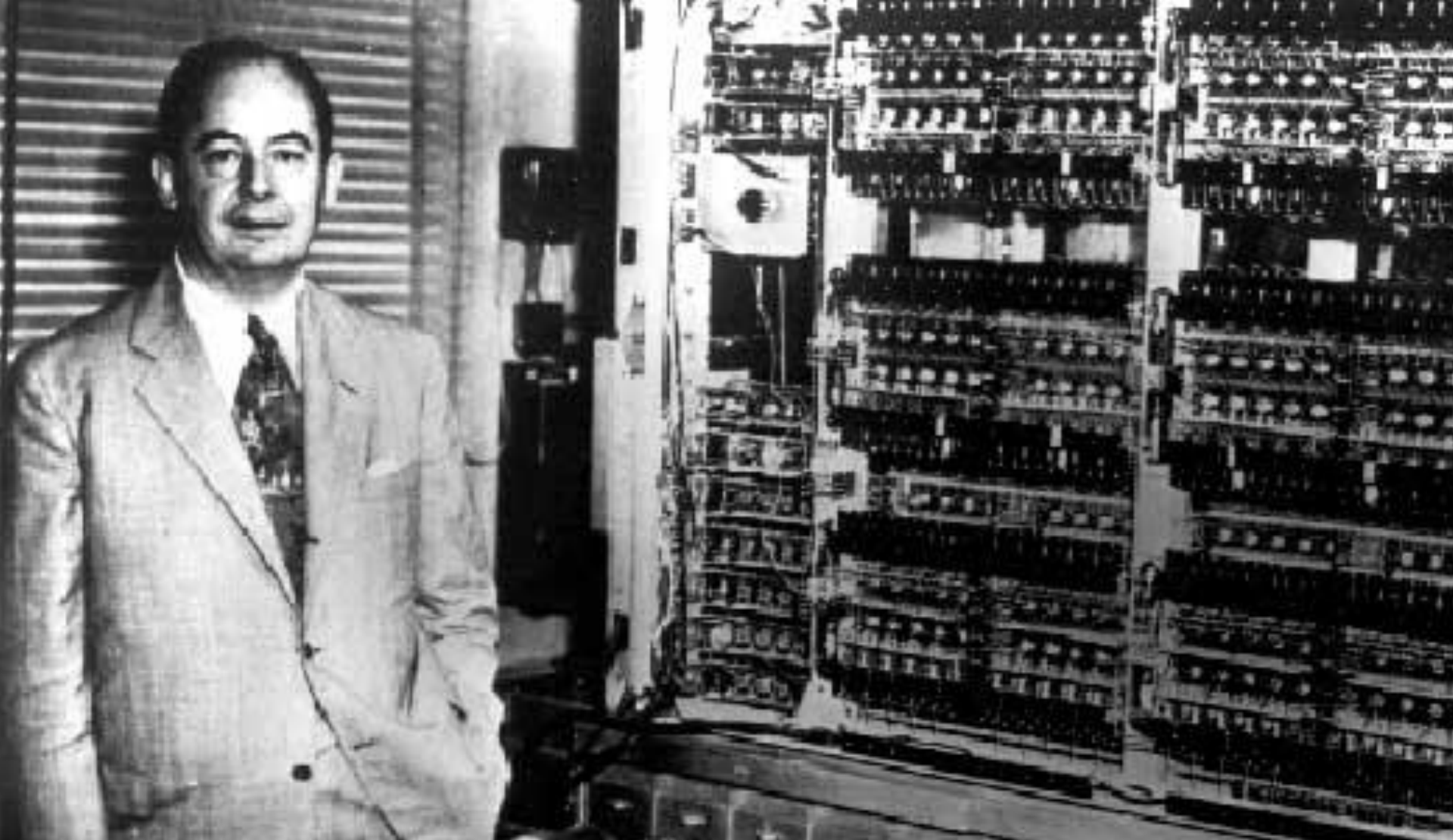




ENIAC

THE WORLD'S FIRST ELECTRONIC, LARGE SCALE,  
GENERAL-PURPOSE DIGITAL COMPUTER





**Von Neumann & Turing**

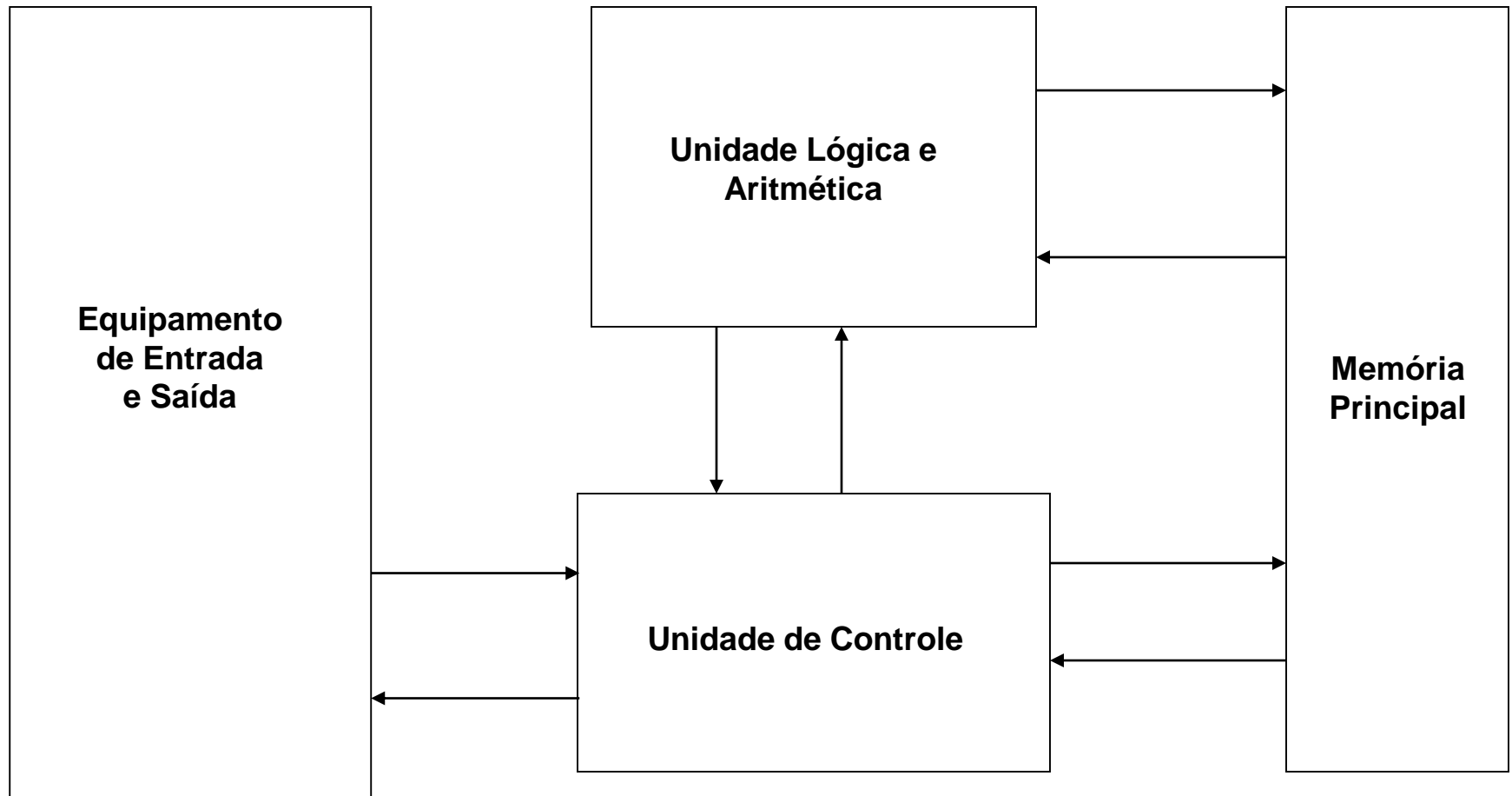


# János von Neumann (e Alan Turing)



- Conceito de **programa armazenado**
- **Memória principal** armazenando programas e dados
- Unidade lógica e aritmética (**ULA**) operando com dados binários
- **Unidade de controle** interpretando instruções da memória e as executando
- Dispositivos de entrada e saída (**E/S**) operados pela unidade de controle (**UC**)
- Princeton Institute for Advanced Studies (1946-1952)
  - IAS

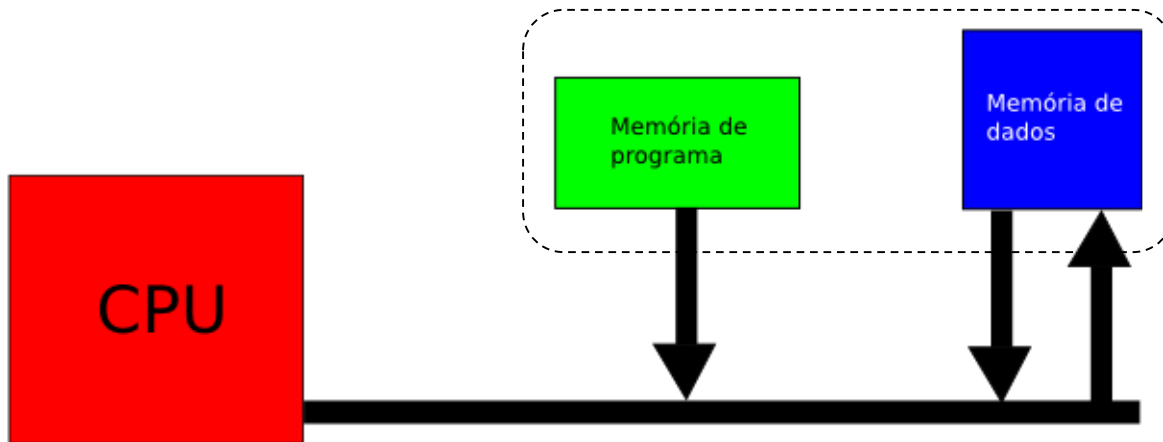
# Estrutura da Máquina de von Neumann



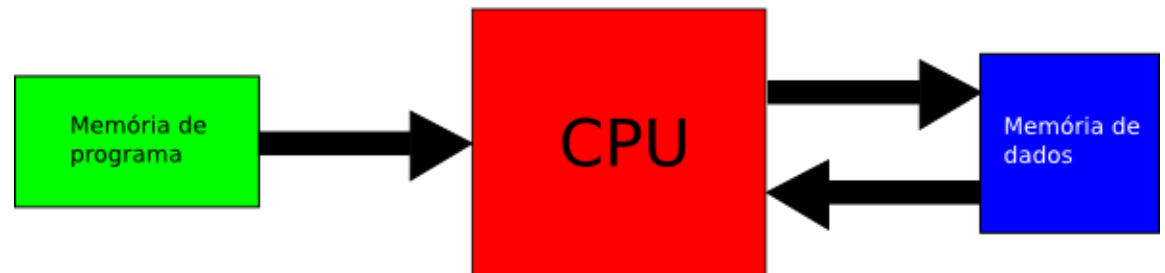
# Aquiteturas clássicas



Arquitetura Van Neuman

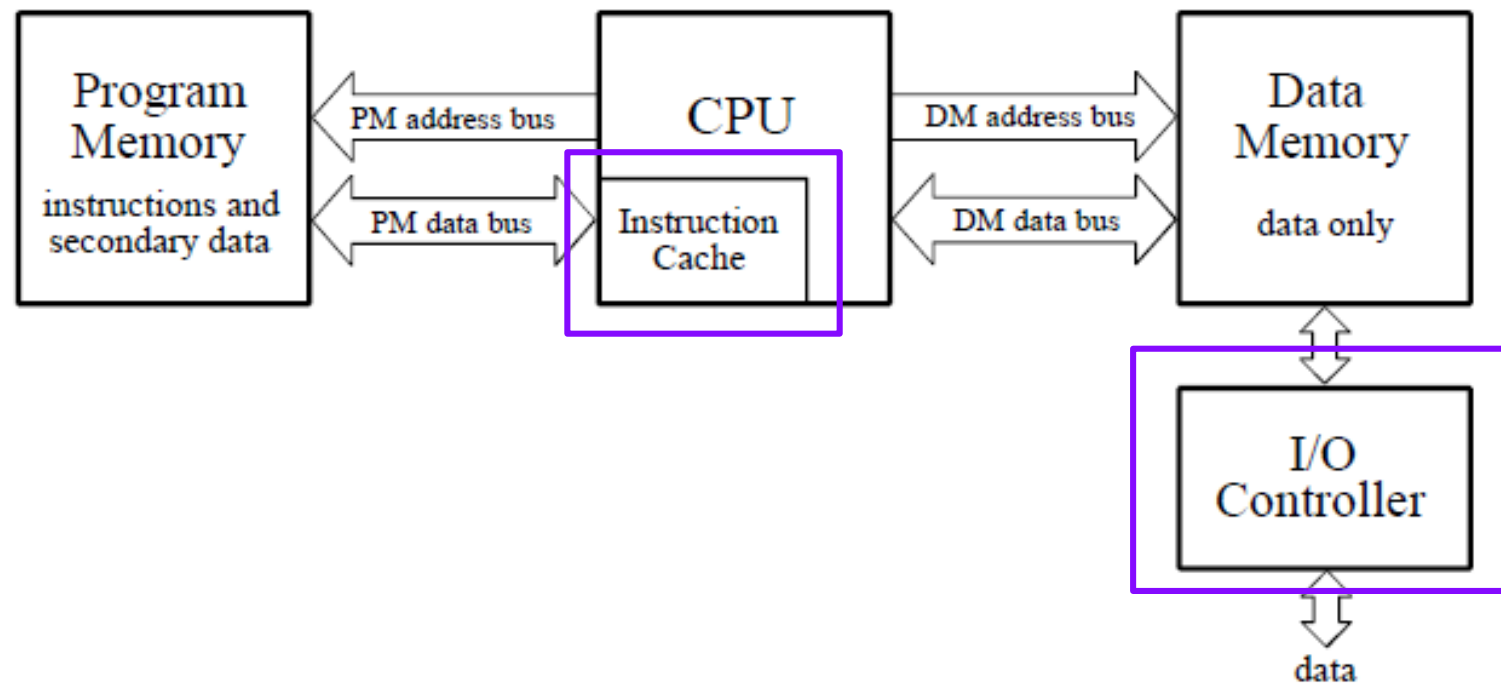


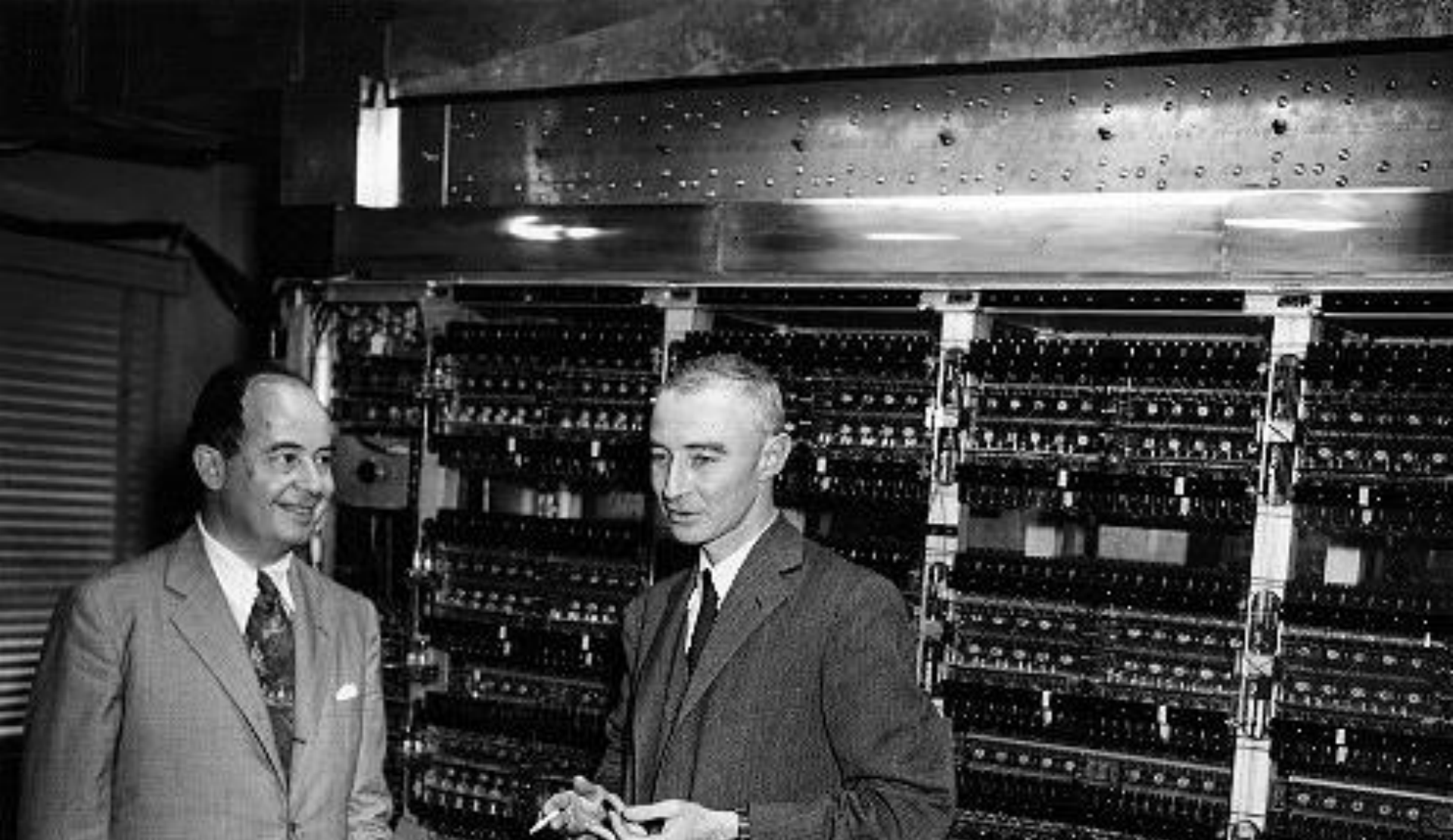
Arquitetura Harvard





# Arquitetura Super-Harvard





# IAS Machine

# IAS - Institute for Advanced Study



- 1000 x 40 bit words
  - Números binários
  - Instruções 2 x 20 bits
- Conjunto de registradores (armazenamento na CPU)
  - Registrador temporário de dados
    - *Memory Buffer Register - MBR*
  - Registrador de endereçamento à memória
    - *Memory Address Register - MAR*
  - Registrador de instruções
    - *Instruction Register - IR*

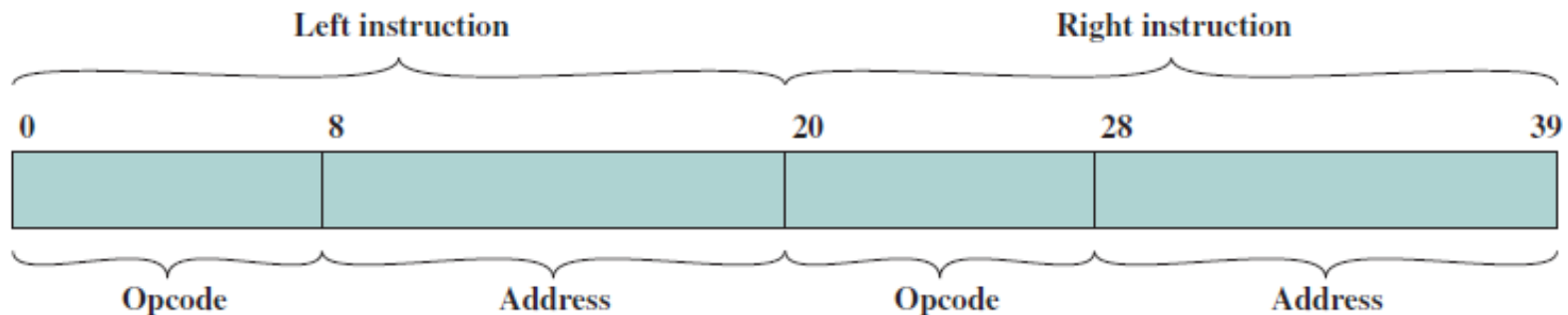
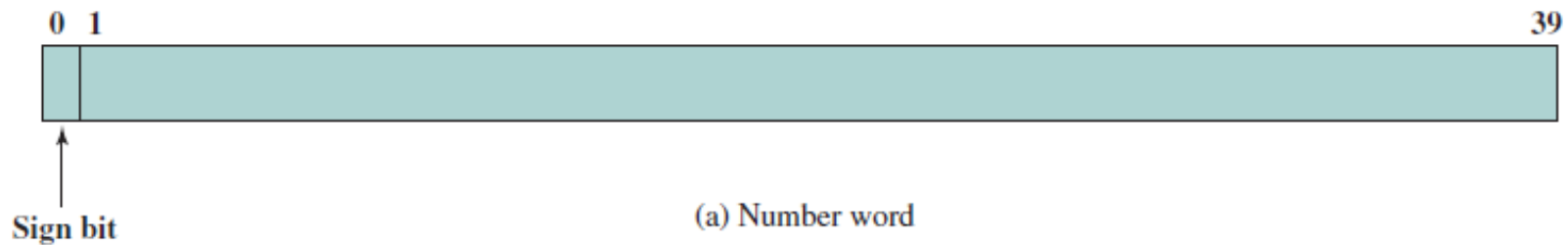
# IAS - Institute for Advanced Study

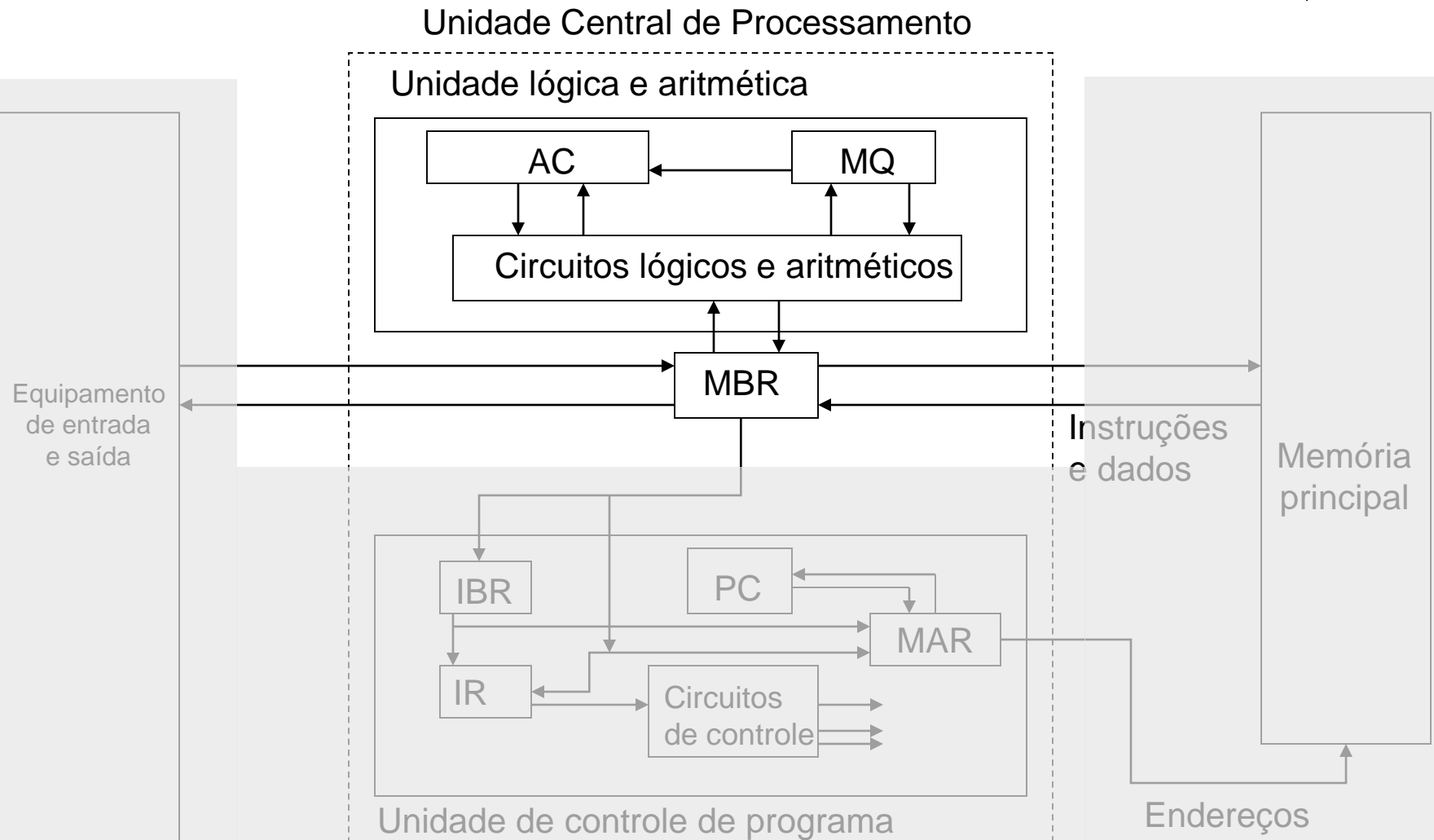


- ...Conjunto de registradores (armazenamento na CPU)
  - Registrador de armazenamento temporário de instruções
    - *Instruction Buffer Register - IBR*
  - Contador de programa
    - *Program Counter - PC*
  - Acumulador
    - *Accumulator - AC*
  - Quociente/Multiplicador
    - *Multiplier Quotient - MQ*

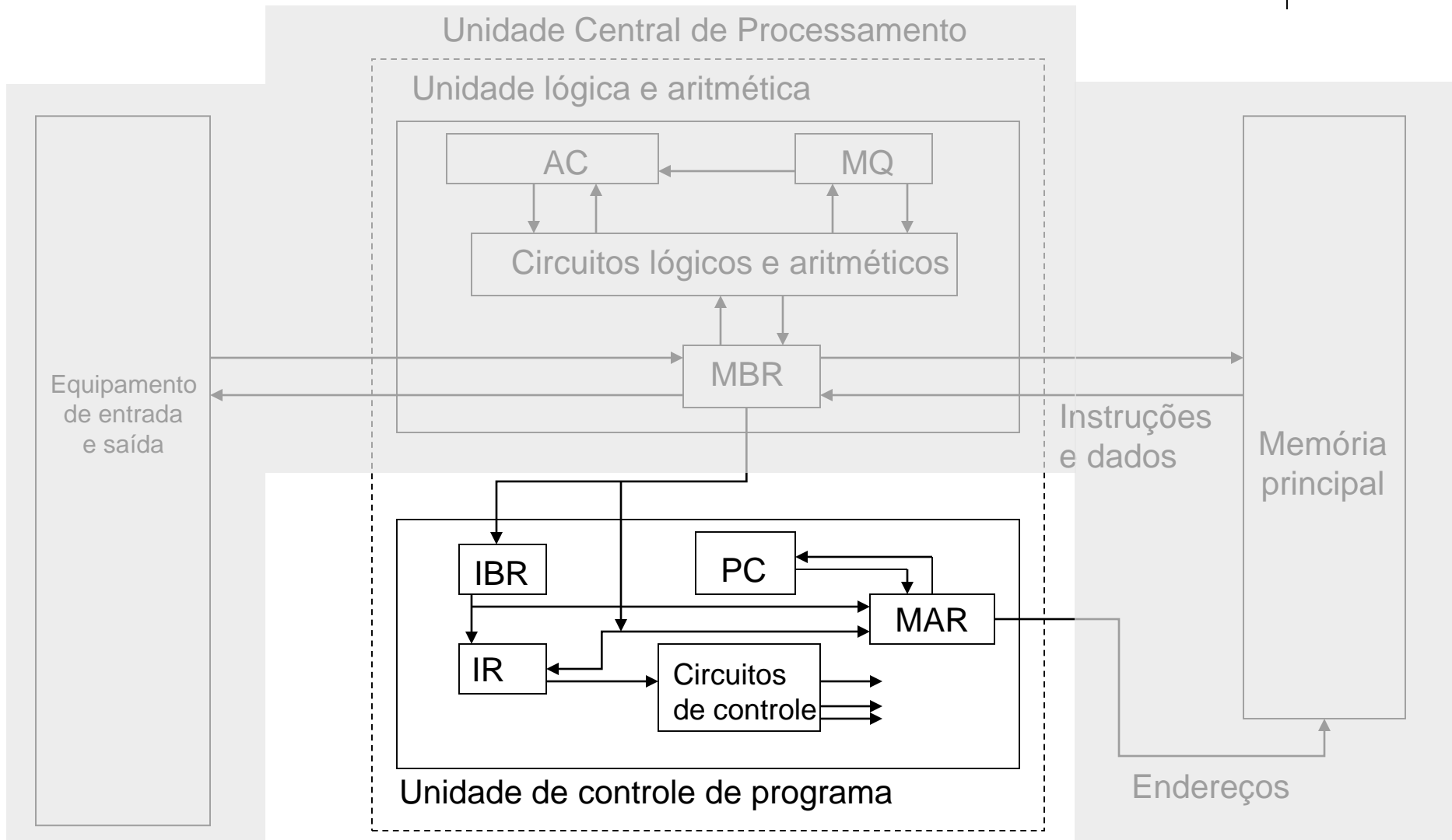


# IAS - Institute for Advanced Study

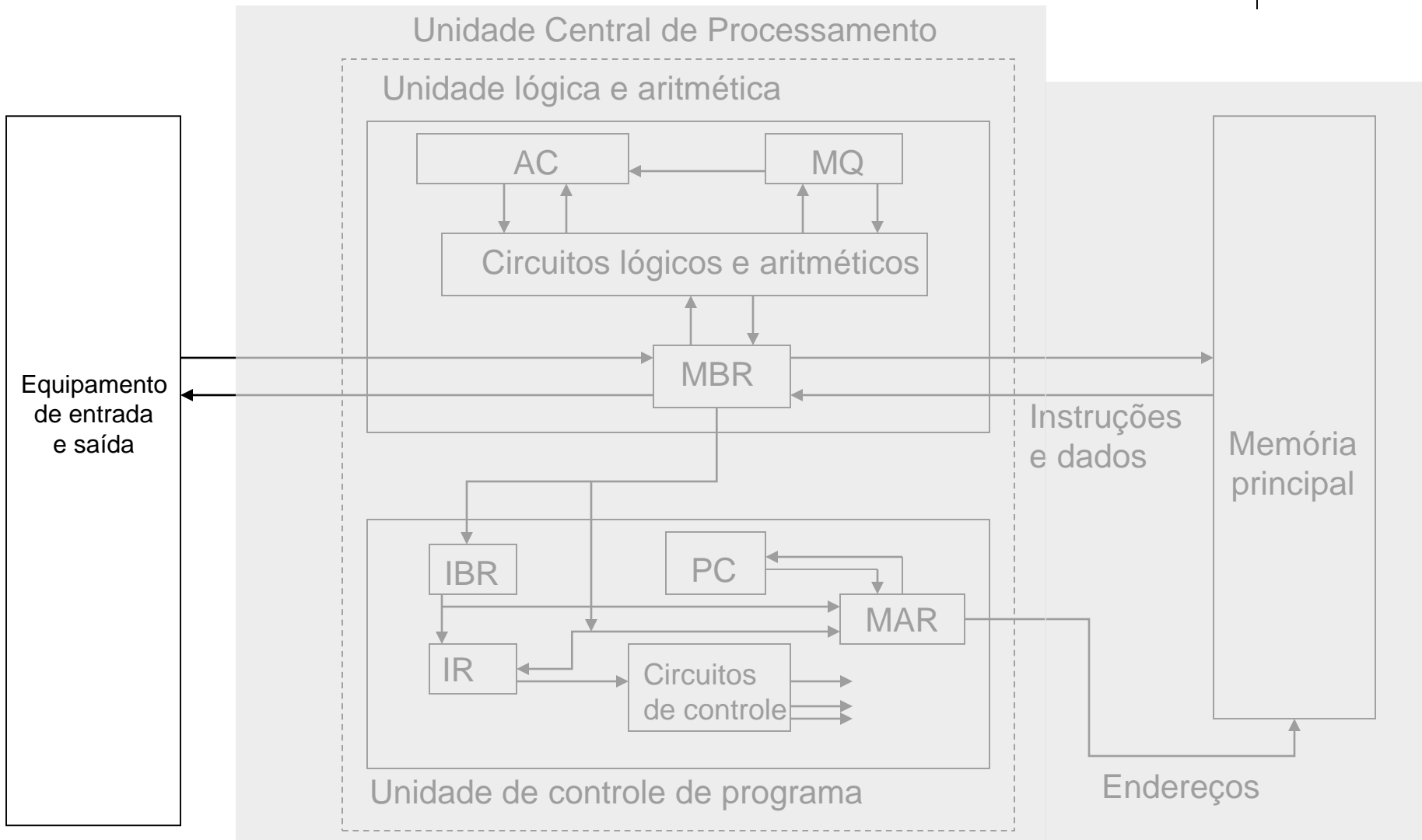




# Estrutura Detalhada do IAS

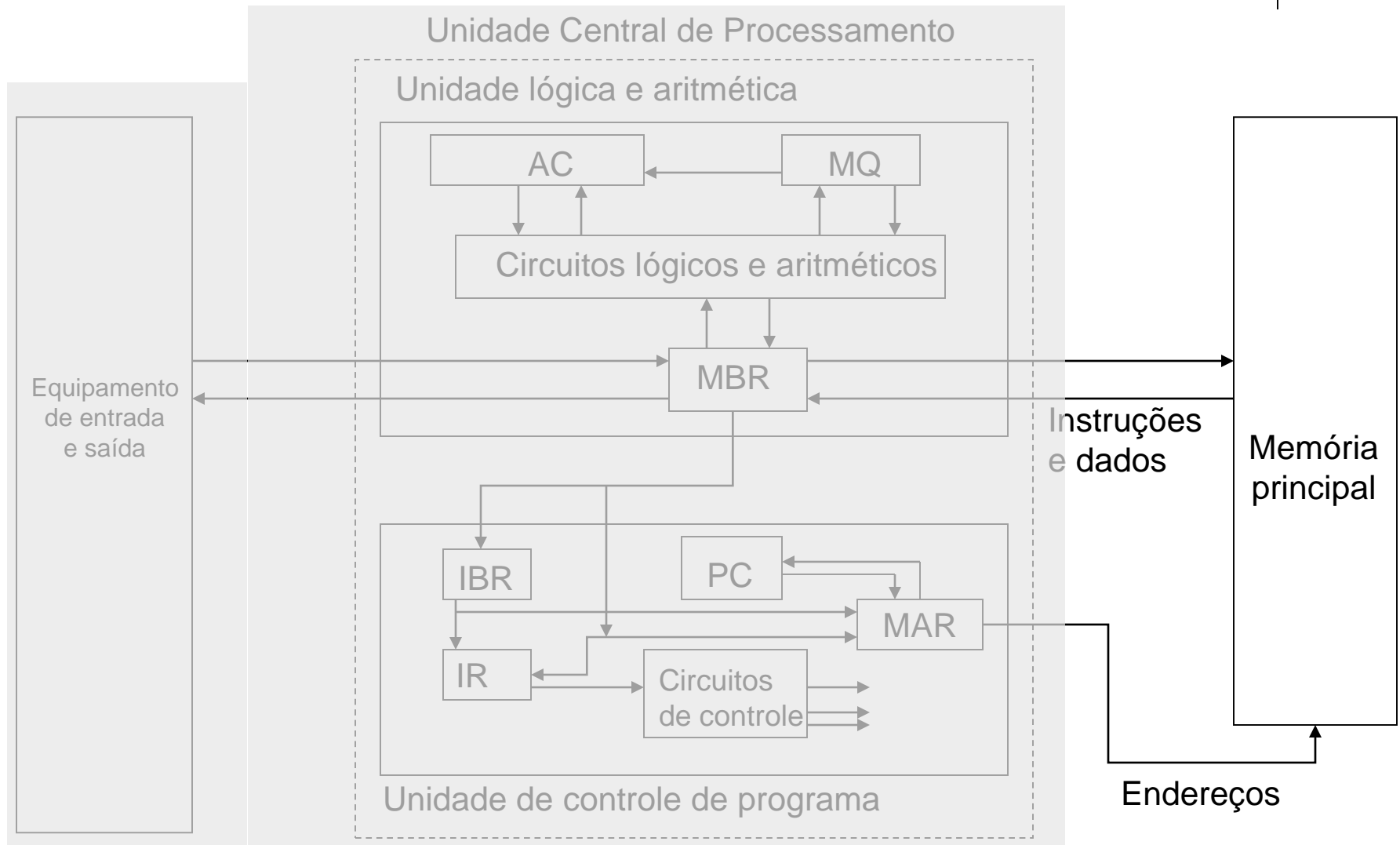


# Estrutura Detalhada do IAS

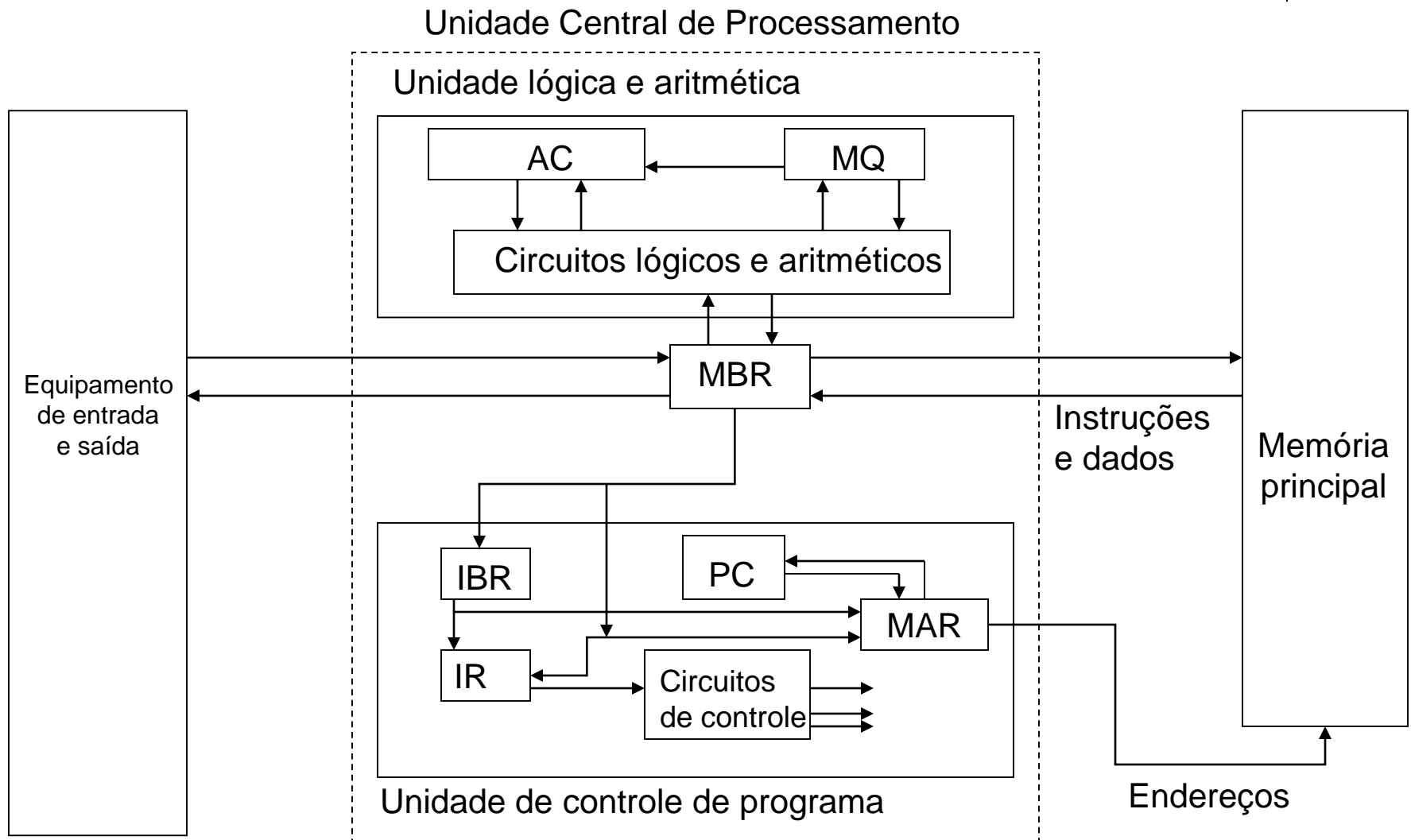




# Estrutura Detalhada do IAS



# Estrutura Detalhada do IAS



# Computadores comerciais (válvula)





# Computadores Comerciais

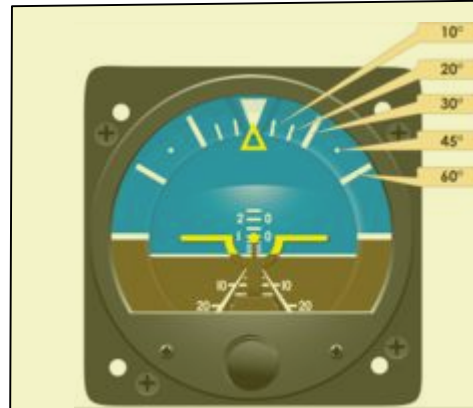
- 1947 - Eckert-Mauchly Computer Corporation
- UNIVAC I (Universal Automatic Computer)
- US Bureau of Census 1950
- Torna-se parte da Sperry-Rand Corporation
- Final dos anos 1950 - UNIVAC II
  - Mais rápido
  - Mais memória





# Computadores Comerciais

- 1947 - Eckert-Mauchly Computer Corporation
- UNIVAC I (Universal Automatic Computer)
- US Bureau of Census 1950
- Torna-se parte da Sperry-Rand Corporation
- Final dos anos 1950 - UNIVAC II
  - Mais rápido
  - Mais memória



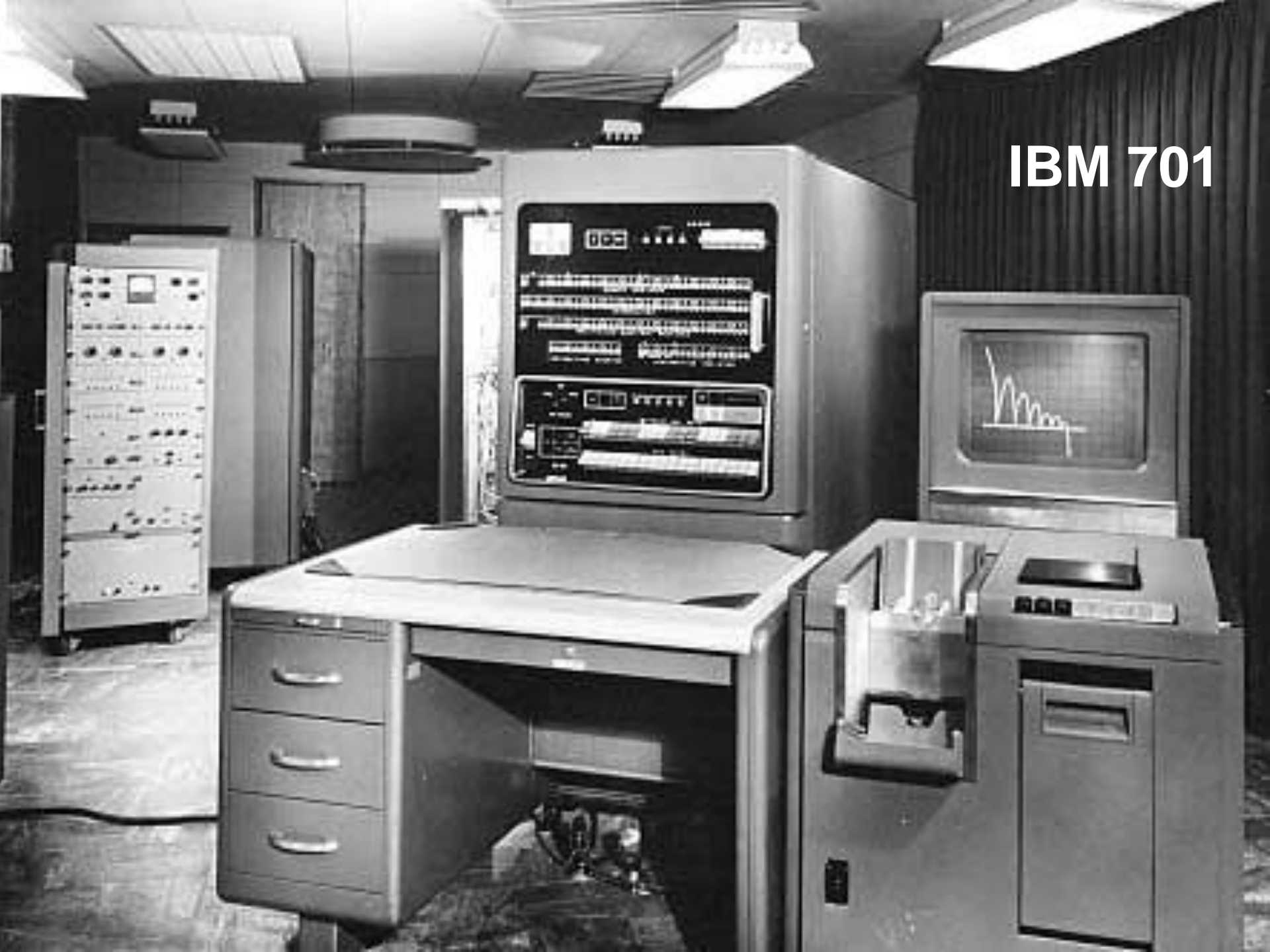
# IBM



- Equipamento de processamento de cartões perfurados ~1900
- 1953 - linha 701
  - Primeiro computador eletrônico programável da IBM
  - Computação científica
- 1955 - linha 702
  - Aplicações comerciais
- Início da série 700/7000
- PC



**IBM 701**



# Transistores



**IBM 7090**





# Transistores

- Substituição das válvulas
- Menores
- Mais baratos
- Menor dissipação de calor
- Dispositivos de estado sólido
- Silício (areia)
- Inventados em 1947 nos Bell Labs

# Computadores Baseados em Transistores



- Máquinas de segunda geração
- NCR & RCA produziram pequenas máquinas transistorizadas
- IBM 7090

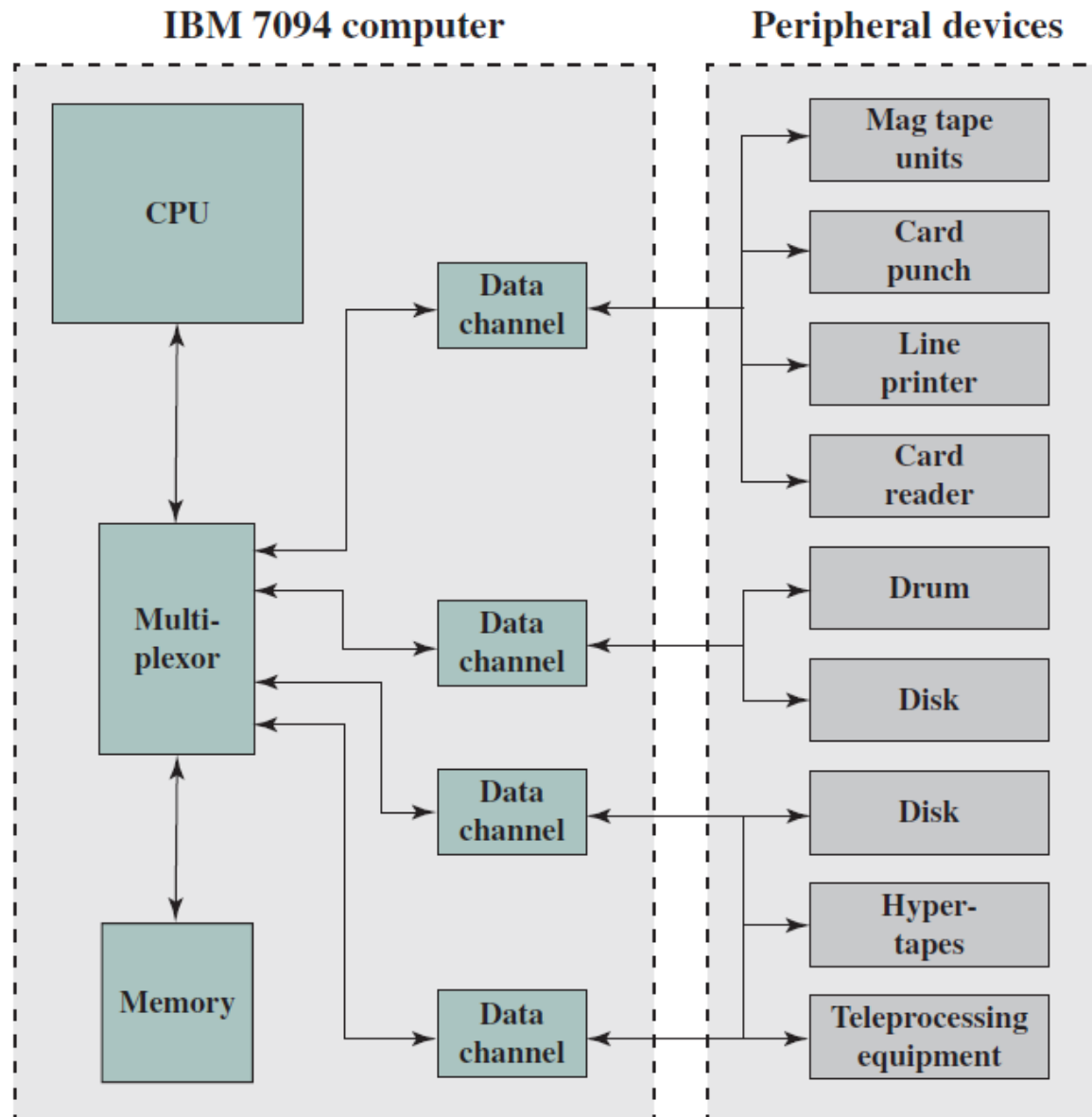


# Computadores Baseados em Transistores

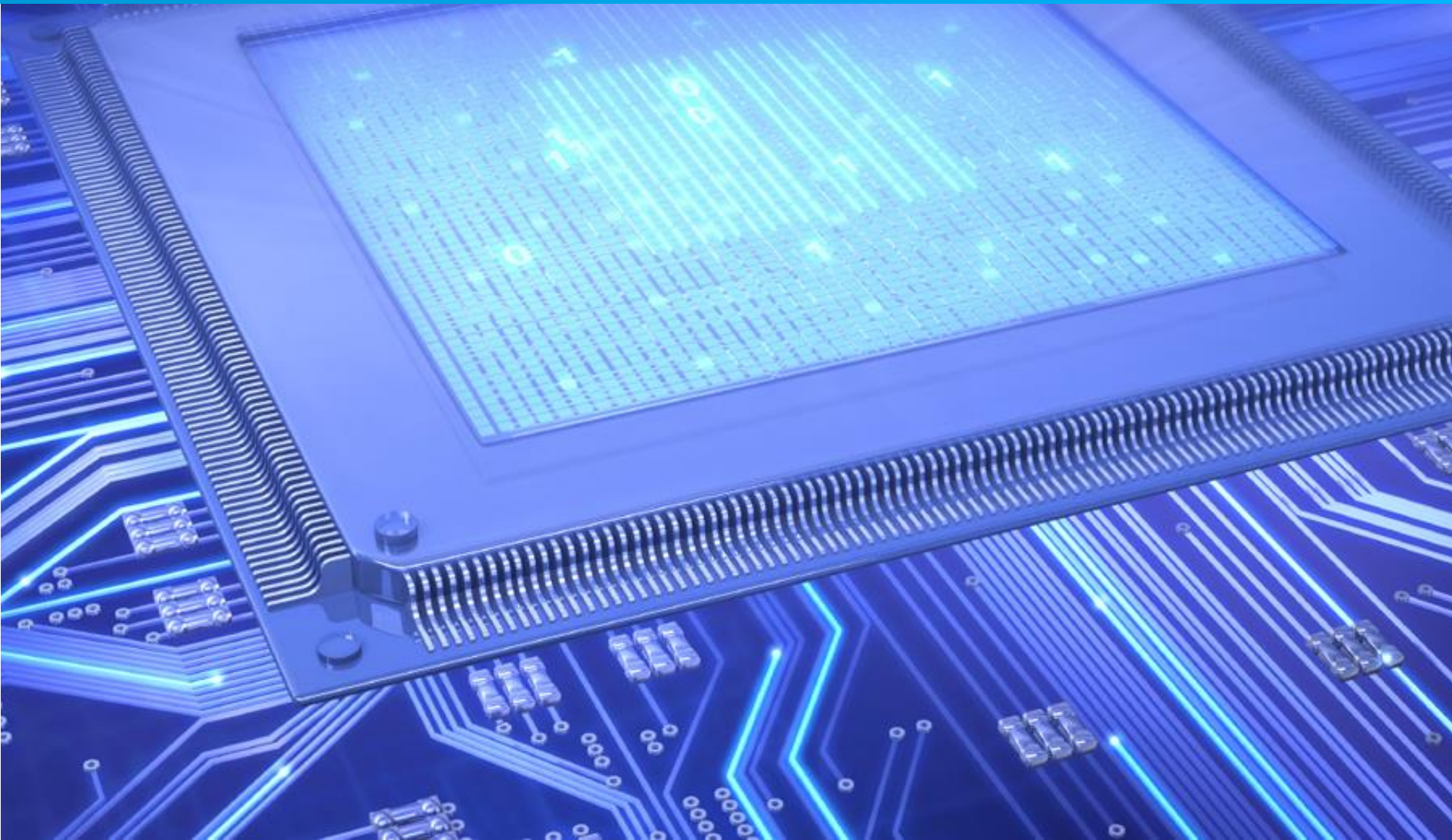


- Máquinas de segunda geração
- NCR & RCA produziram pequenas máquinas transistorizadas
- IBM 7090
- DEC- PDP 1

# Ex.: IBM 7094



# Microeletrônica







# Microeletrônica

- Literalmente - “eletrônica pequena”
- Um computador passa a ser composto por portas lógicas, células de memória e interconexões
- Tudo isso pode ser fabricado em um único semicondutor
- Ex: pastilha de silício

# IBM 360

- 1964
- Substituiu a série 7000, sem manter compatibilidade
- Primeira família planejada de computadores
  - Conjunto de instruções idêntico ou semelhante
  - Sistema operacional idêntico ou semelhante
  - Velocidade crescente
  - Número crescente de portas de E/S
  - Capacidade de memória crescente
  - Custo crescente
- Estrutura de comutação multiplexada







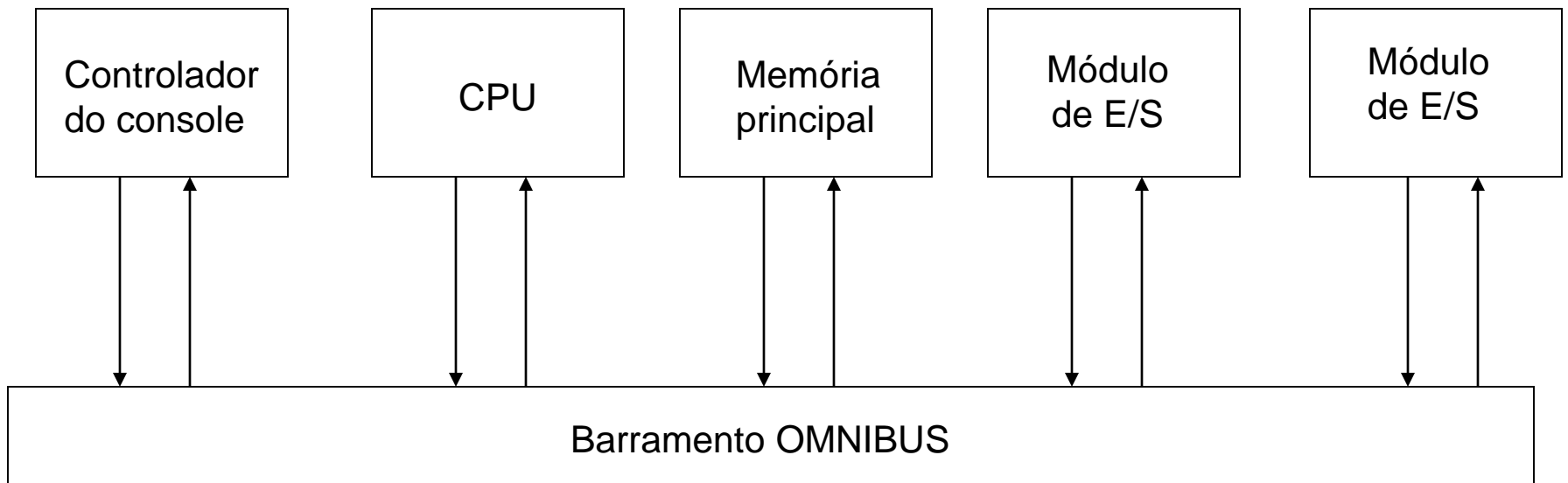
# DEC PDP-8

- 1965
- Primeiro minicomputador
- Não necessitava de uma sala de ar condicionado
- Pequeno o bastante para ser colocado sobre uma mesa (1º Desktop?)
- US\$ 16.000,00
  - Os IBM 360 custavam mais de US\$ 100.000,00
- Aplicações embarcadas e O&M
- Primeiro a utilizar **estrutura de barramento**





# Estrutura de Barramento do DEC PDP-8



# Lei de Moore

## Intel's Relentless Pursuit of Moore's Law

180 nm  
1999

130 nm  
2001

90 nm  
2003

65 nm  
2005

45 nm  
2007

32 nm  
2009

Top  
Secret

22 nm  
2011





# Lei de Moore

- Aumento da densidade de componentes por chip
- Gordon Moore – um dos fundadores da Intel
- *O número de transistores em um chip dobrará a cada ano*
- Desde os anos 1970 a taxa de crescimento tem diminuído um pouco
  - O número de transistores dobra a cada 18 meses
- O custo de um chip tem se mantido praticamente constante



# Lei de Moore



“Reduced cost is one of the big attractions of integrated electronics, and the cost advantage continues to increase as the technology evolves toward the production of larger and larger circuit functions on a single semiconductor substrate.”  
Electronics, Volume 38, Number 8, April 19, 1965.



# Lei de Moore

## ...consequências

- Maior densidade de dispositivos implica caminhos elétricos mais curtos e maior desempenho
- Menor tamanho aumenta a flexibilidade
- Menor potência e menos necessidade de sistemas de resfriamento
- Menos interconexões implicam maior confiabilidade



# Lei de Moore



**elena silenok**

@silenok

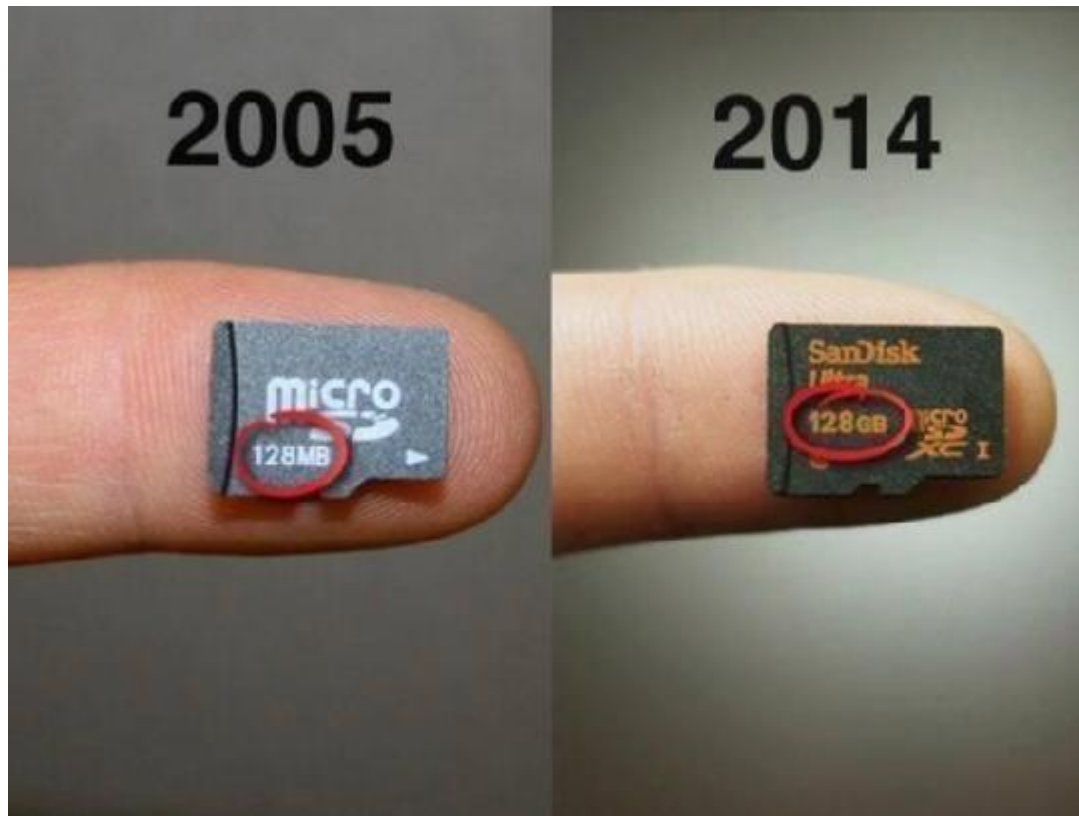


Moore's law visualized through the evolution of Lara Croft  
[pic.twitter.com/X2IJ4KH82A](https://pic.twitter.com/X2IJ4KH82A)

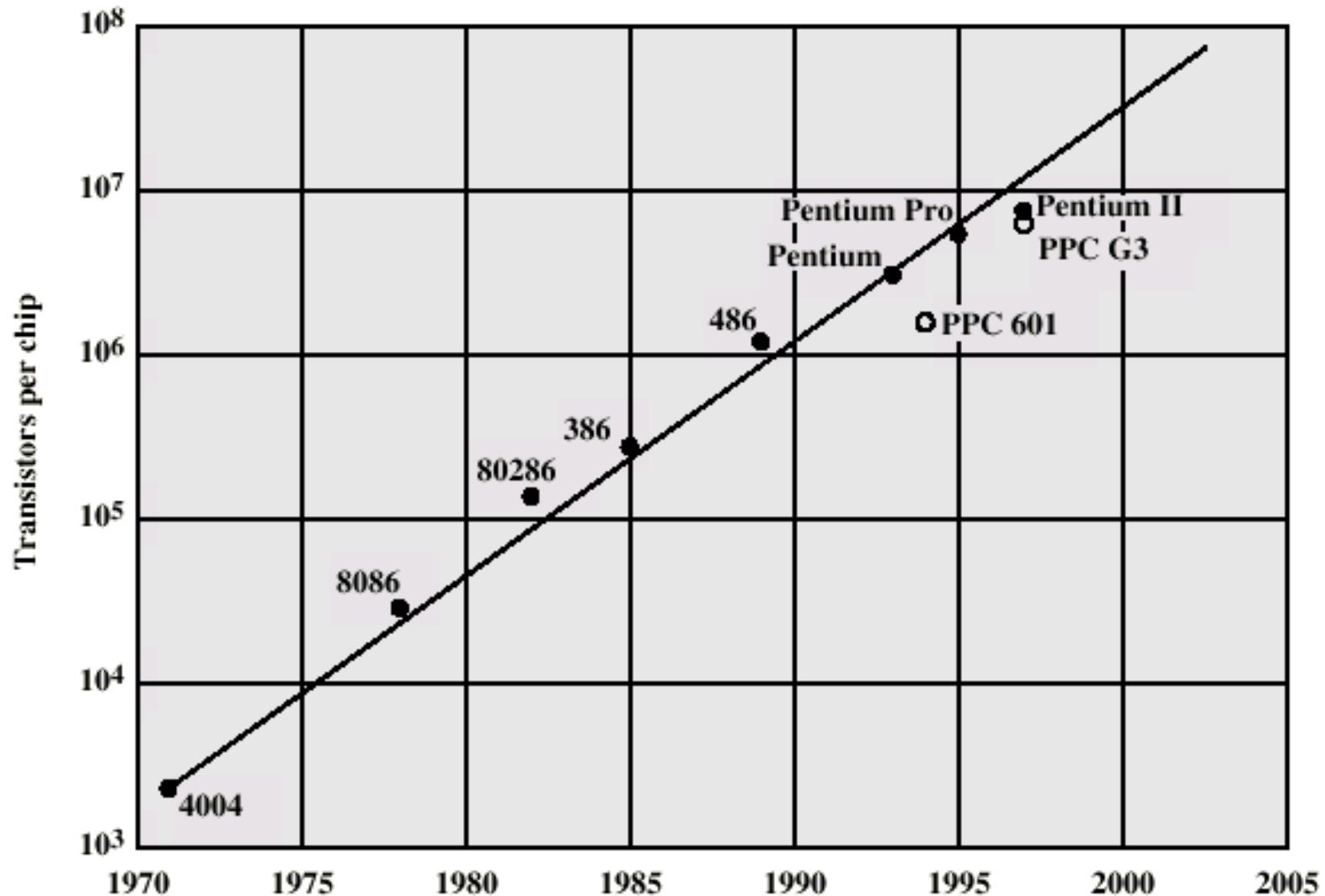
23:07 - 30 de jan de 2015



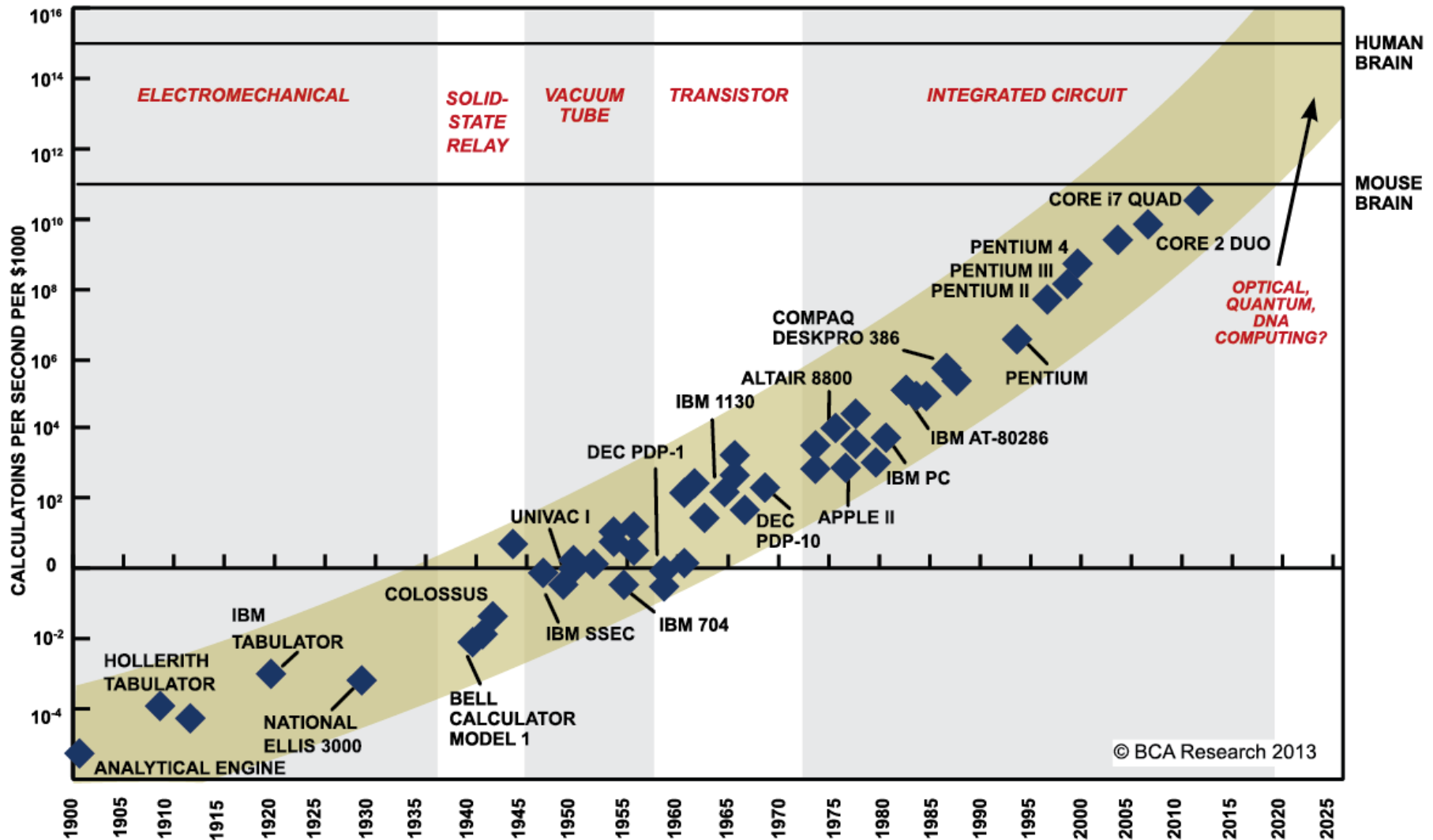
# Lei de Moore ...consequências



# Crescimento do Número de Transistores na CPU



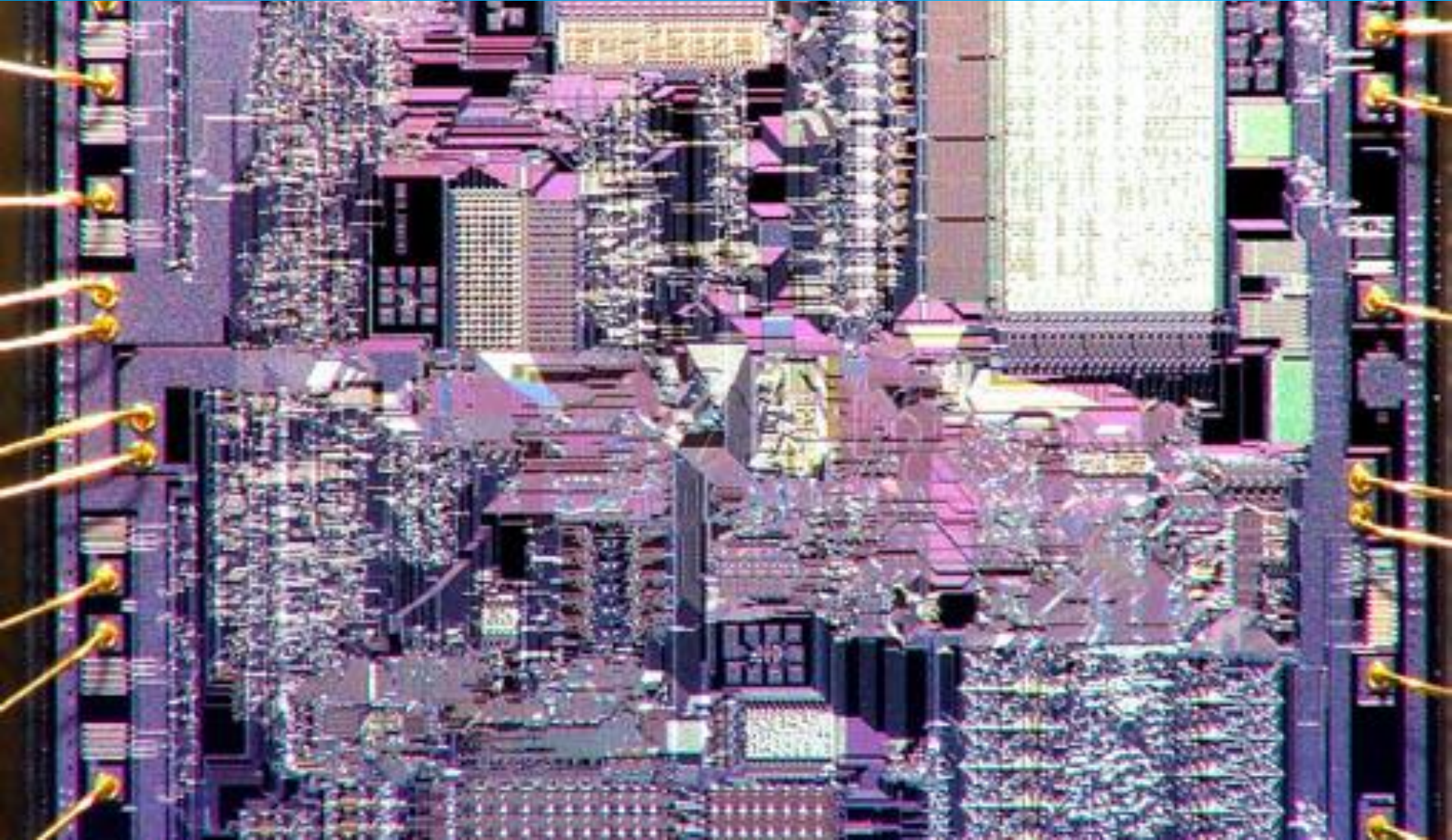
Our World  
in DataOur World  
in DataOur World  
in DataOur World  
in DataOur World  
in Data



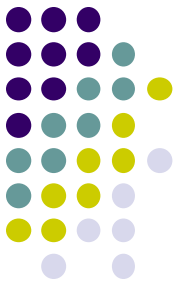
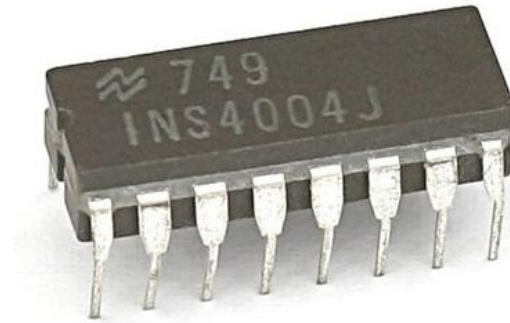
SOURCE: RAY KURZWEIL, "THE SINGULARITY IS NEAR: WHEN HUMANS TRANSCEND BIOLOGY", P.67, THE VIKING PRESS, 2006. DATAPOINTS BETWEEN 2000 AND 2012 REPRESENT BCA ESTIMATES.



# Microprocessadores



# Intel



- 1971 - 4004
  - Primeiro microprocessador
  - Todos os componentes da CPU num único chip
  - 4 bits
  - 40 kHz - até 92 mil instruções por segundo
- Seguido em 1972 pelo 8008
  - 8 bits
  - Ambos projetados para aplicações específicas
- 1974 - 8080
  - Primeiro microprocessador de uso geral da Intel

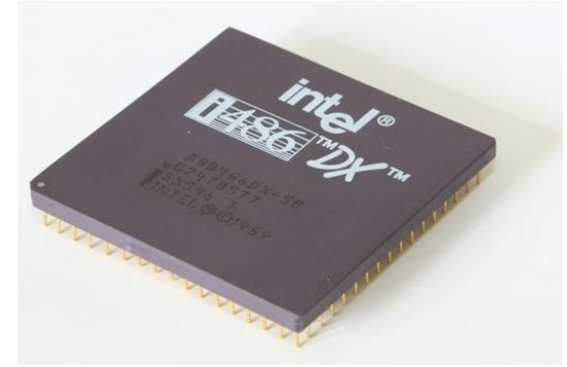
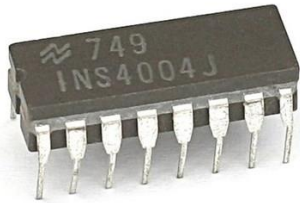
# Evolução Intel



Chip	Date	MHz	Transistors	Memory	Notes
4004	4/1971	0.108	2,300	640	First microprocessor on a chip
8008	4/1972	0.108	3,500	16 KB	First 8-bit microprocessor
8080	4/1974	2	6,000	64 KB	First general-purpose CPU on a chip
8086	6/1978	5-10	29,000	1 MB	First 16-bit CPU on a chip
8088	6/1979	5-8	29,000	1 MB	Used in IBM PC
80286	2/1982	8-12	134,000	16 MB	Memory protection present
80386	10/1985	16-33	275,000	4 GB	First 32-bit CPU
80486	4/1989	25-100	1.2M	4 GB	Built-in 8K cache memory
Pentium	3/1993	60-233	3.1M	4 GB	Two pipelines; later models had MMX
Pentium Pro	3/1995	150-200	5.5M	4 GB	Two levels of cache built in
Pentium II	5/1997	233-400	7.5M	4 GB	Pentium Pro plus MMX



# Evolução Intel

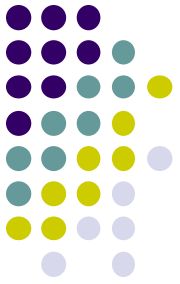




# Aumentando o Desempenho

- Pipelining
- On board cache
- On board L1 & L2 cache
- Predição de desvios
- Análise de fluxo de dados
- Execução especulativa



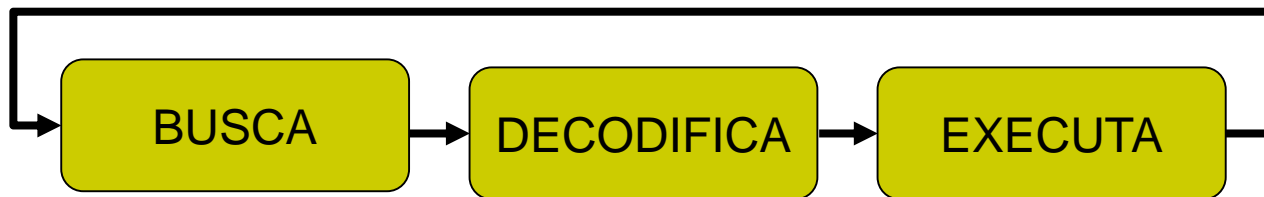


# Pipelining

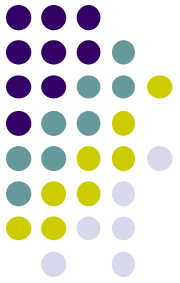


# Ciclo de instrução básico

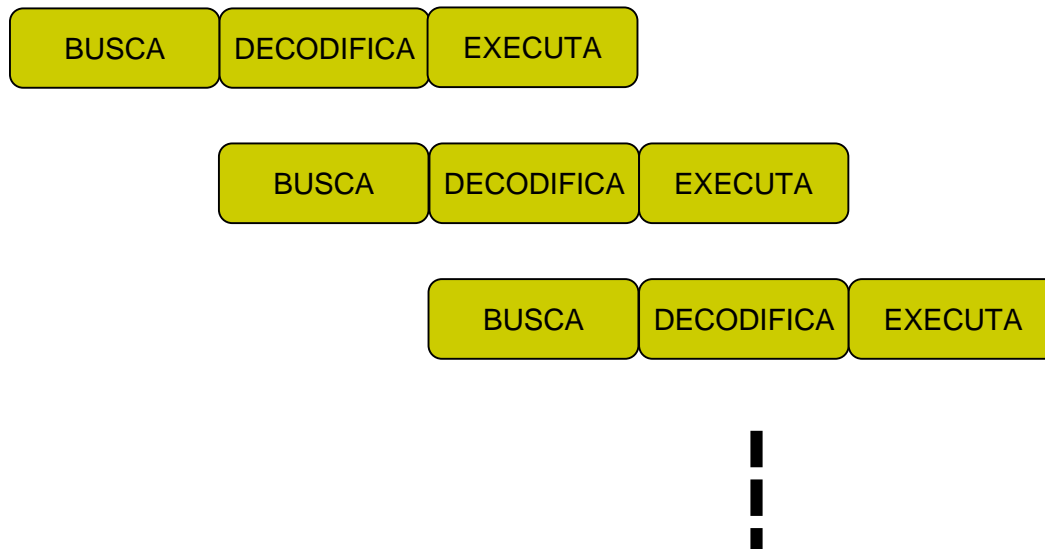
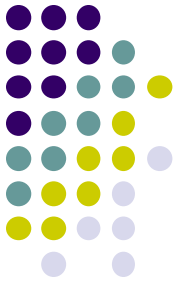
- Três passos:
  - Busca
  - Decodificação
  - Execução



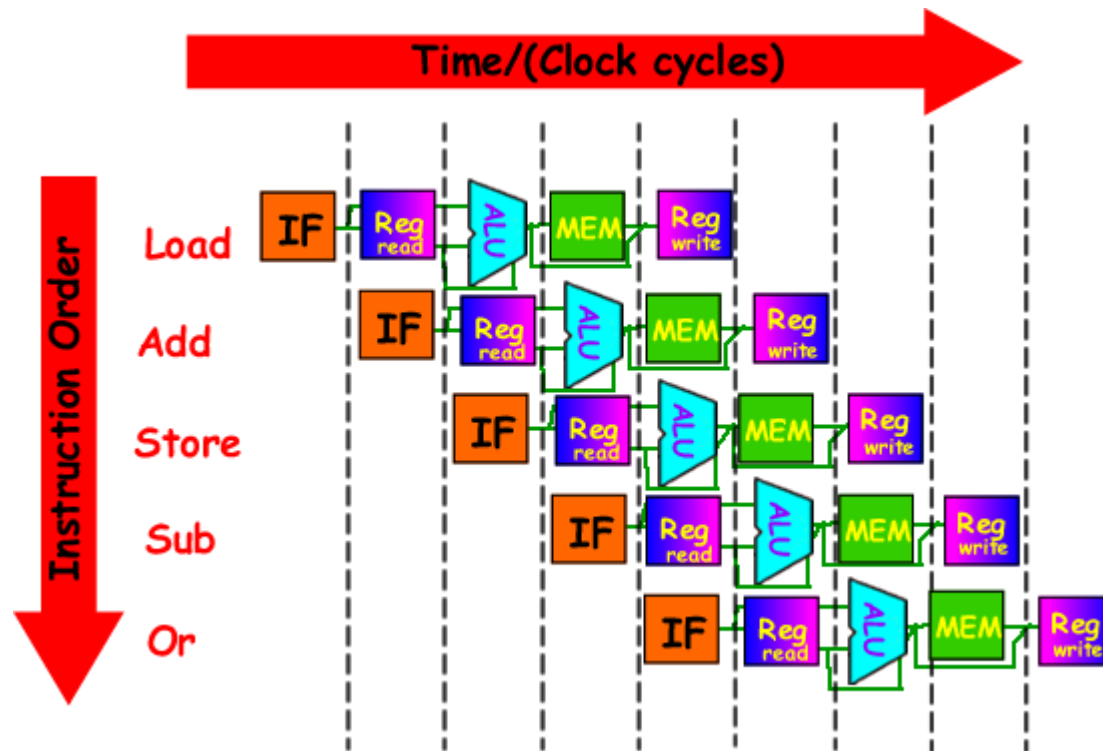
# Sem *Pipelining*



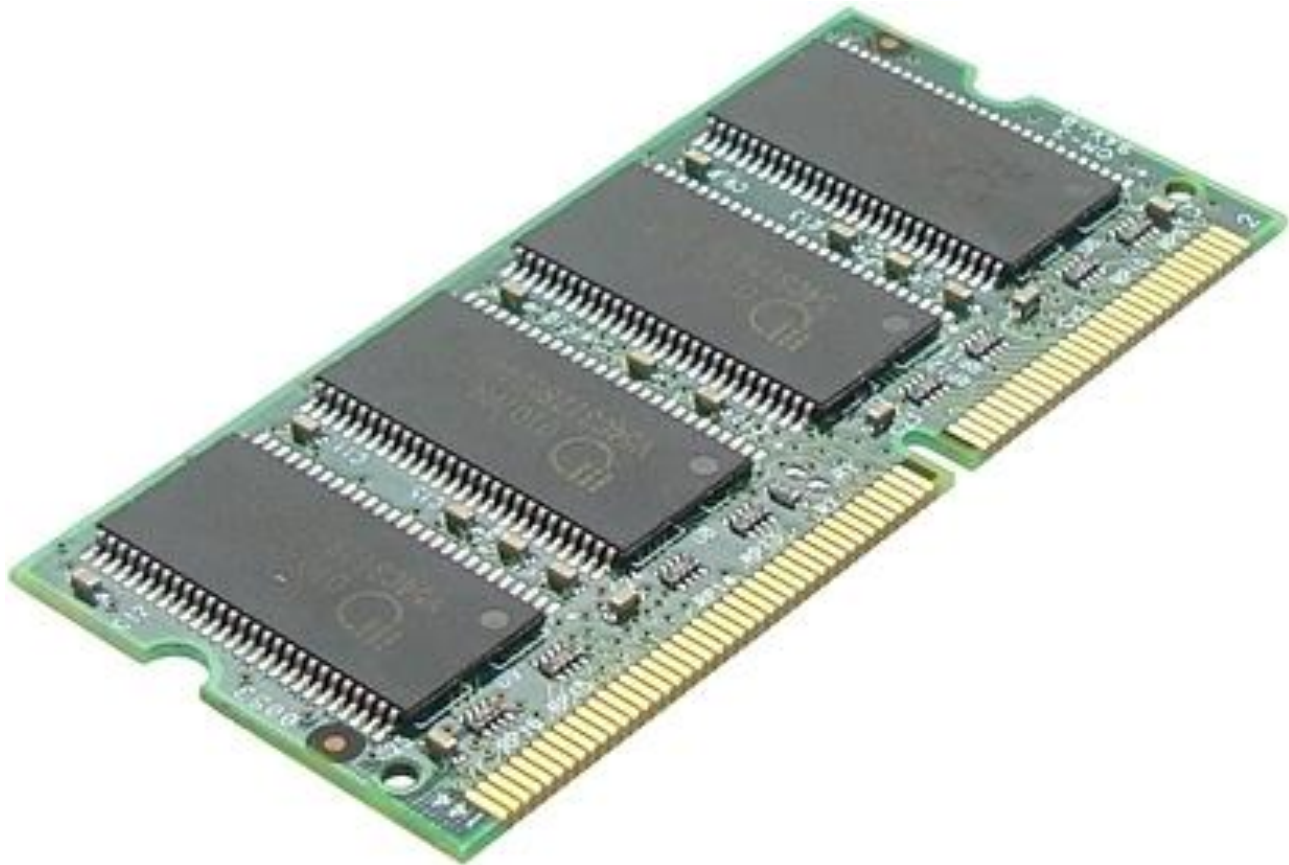
# Com *Pipelining*



# Com *Pipelining*



# Memórias semicondutoras








# Memórias de Semicondutores



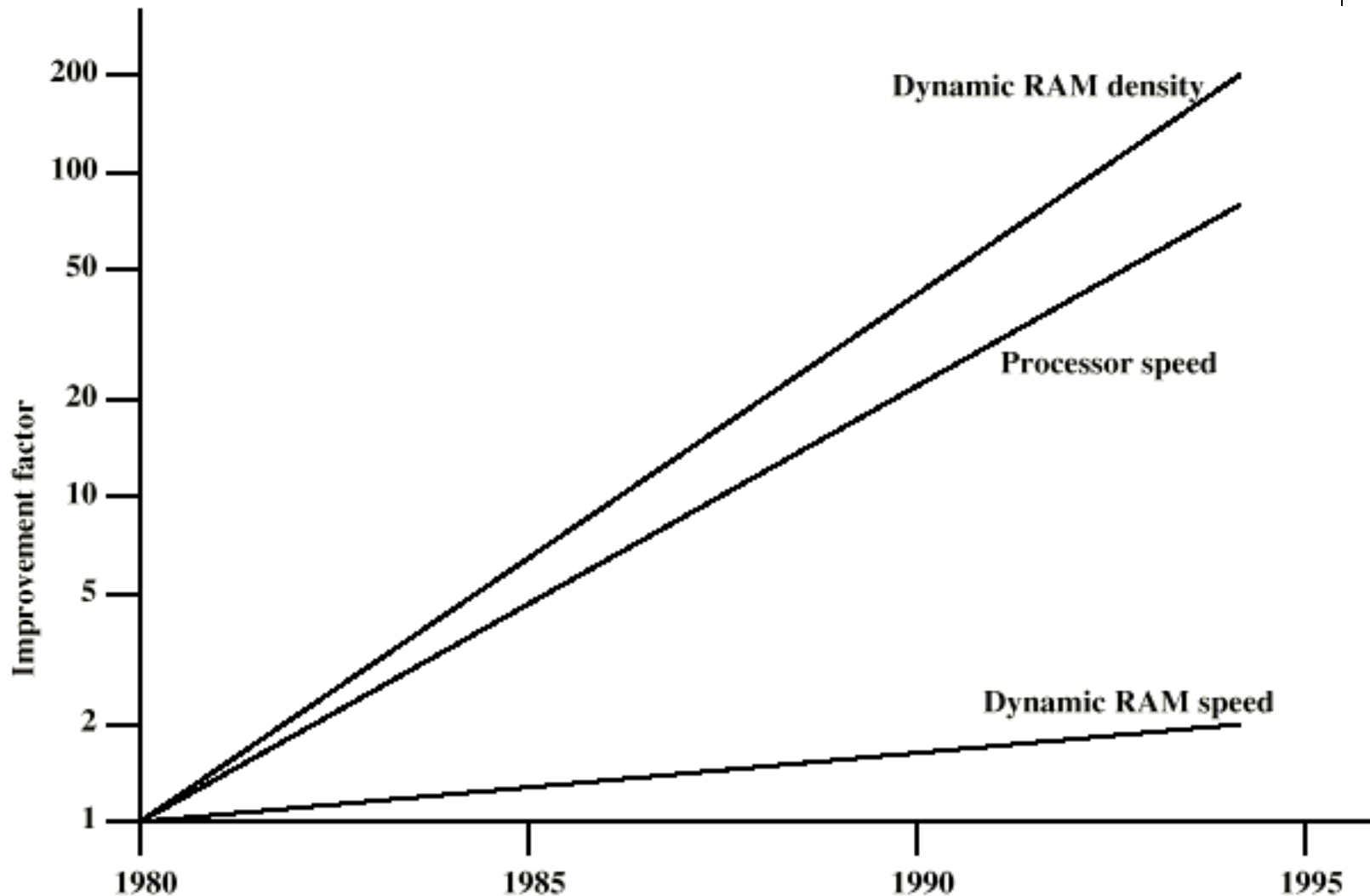
- 1970
- Fairchild
- Tamanho de um único núcleo
  - i.e. 1 bit de armazenamento em núcleo magnético
  - Armazenava 256 bits
- Leitura não-destrutiva
- Muito mais rápida que o núcleo magnético
- Capacidade aproximadamente dobra a cada ano

# Balanceamento do Desempenho



- Crescimento da velocidade do processador 
- Crescimento da capacidade de memória 
- Entretanto...
- A taxa de transferência de dados entre a memória principal e o processador e a velocidade da memória não evoluiu tanto 

# Evolução das Características de RAM e de Processadores





# Soluções

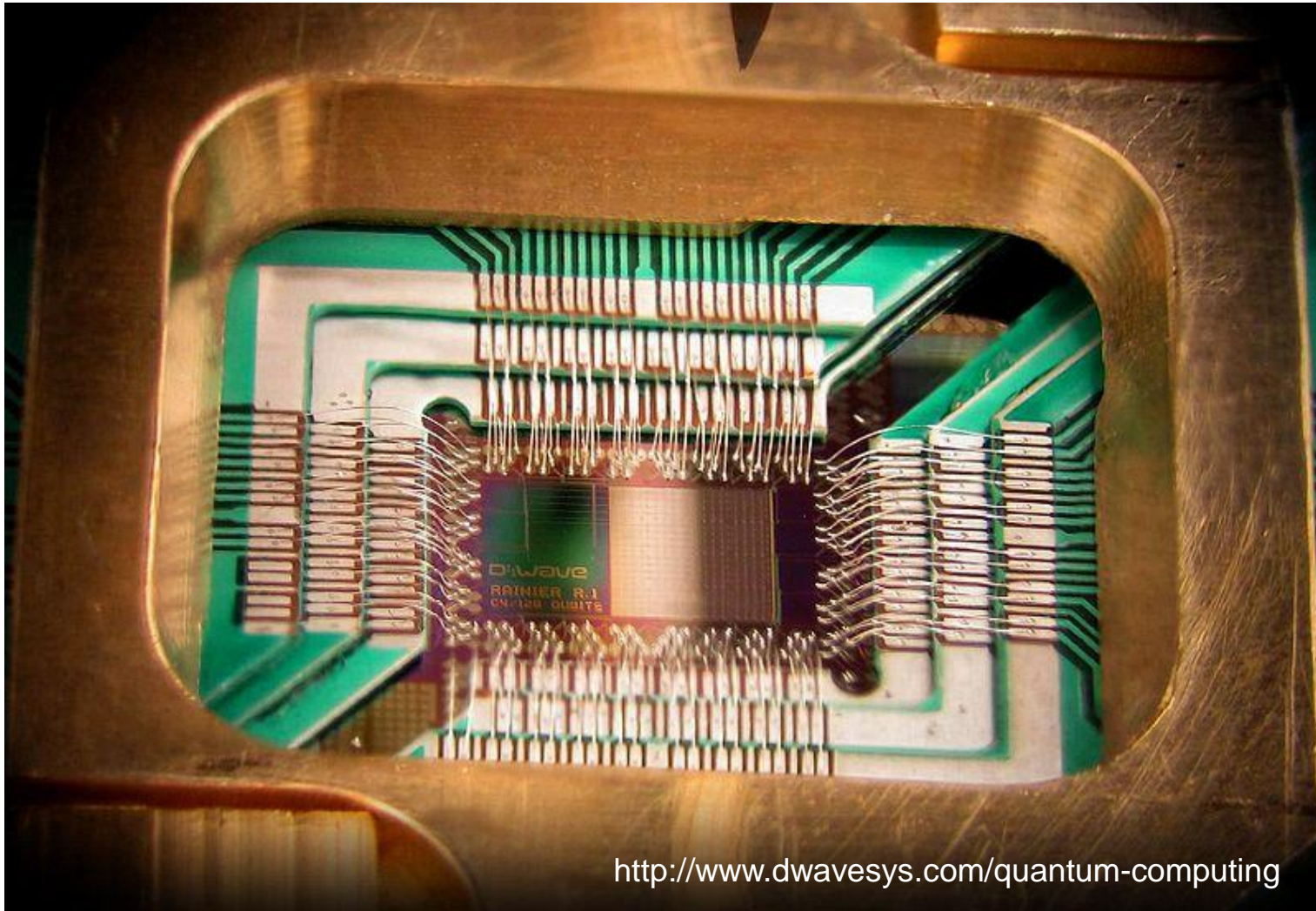
- Aumentar o número de bits obtidos em cada acesso à memória
  - Aumentar a largura da DRAM e não sua capacidade
  - Barramentos mais largos
- Mudar a interface da memória DRAM, tornando-a mais eficiente
  - Cache

# Soluções



- Reduzir a frequência de acesso à memória
  - Estruturas de cache mais complexas e eficientes na pastilha do processador e fora dela
- Aumentar a largura de banda da conexão entre processadores e memórias
  - Barramentos de alta velocidade
  - Hierarquia de barramentos

# Futuro



<http://www.dwavesys.com/quantum-computing>

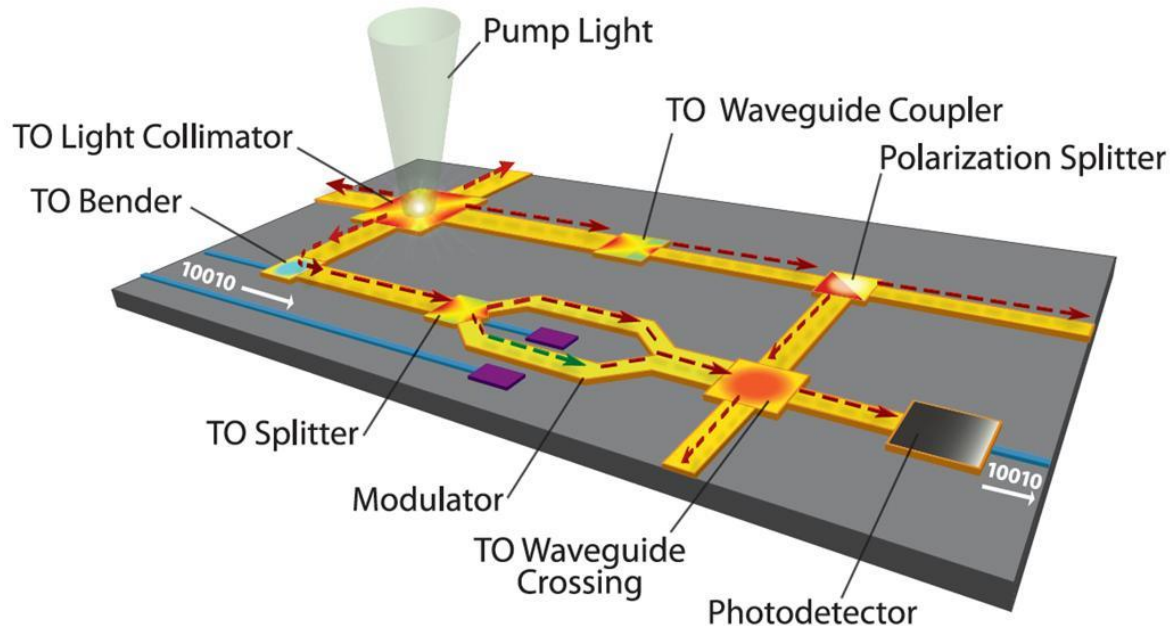
<http://www.quantumplayground.net/#/home>



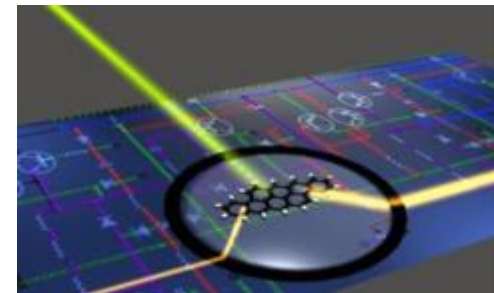
# Futuro



<https://phys.org/news/2012-11-metamaterials-optics-microchip.html>



<https://www.notebookcheck.net/Researchers-develop-first-electro-optical-processor-bridging-the-gap-between-electrical-and-light-based-computers.445056.0.html>





# Recursos na Internet

- <http://www.intel.com/>
  - Intel Museum
- <http://www.ibm.com>
- <http://www.dec.com>
- Charles Babbage Institute
- PowerPC
- Intel Developer Home