

Introdução à Arquitetura de Computadores

DS011

Apresentação da Disciplina e do Plano do Curso

Prof. Clausius Duque Reis
clausius.reis@ufpr.br

Bibliografia Básica

- PATTERSON, David A.; HENNESSY, John L. Organização e Projeto De Computadores: A Interface Hardware/Software. Editora Elsevier. 4a Edição - 2014.
- Monteiro, Mario: Introdução À Organização de Computadores - 5^a Ed. 2012, Mario Monteiro, LTC.
- Null, Linda; Lobur, Julia: Princípios Básicos de Arquitetura e Organização de Computadores 2a Edição, 2010 Ed. Bookman

Bibliografia Complementar

- Stallings, William: Arquitetura e Organização de Computadores. 8a Edição. Ed. Pearson.
- TANENBAUM, Andrew S. Organização Estruturada de Computadores. 5a Ed. Pearson
- PATTERSON, David A.; HENNESSY, John L. Arquitetura de Computadores - Uma Abordagem Quantitativa - 5^a Ed. 2014. Ed.Campus

Objetivo Geral

Ao final do curso o aluno deverá ser capaz de compreender os conceitos para armazenamento e manipulação de dados com o hardware de um computador moderno, assim como a sua interface com o software afim de que possa fazer o melhor uso dos recursos computacionais.

Programa da Disciplina

- Representação da informação digital, sistemas de numeração, aritmética computacional e representação de caracteres.
- Introdução à circuitos lógicos, álgebra de Boole, arquitetura da unidade lógica e aritmética (ULA).
- Evolução computacional e Taxonomia de Flynn
- Arquitetura de Von Neumann
- Definição de arquitetura de computadores modernos (CISC e RISC)
- Detalhamento da Unidade Central de Processamento (CPU) e o caminho dos dados (datapath).

Programa da Disciplina

- Arquiteturas de computadores com pipeline, superescalares e multinúcleo. Descrição dos riscos (hazards).
- Memórias primárias e secundárias. Métodos para detecção e correção de erros.
- Barramentos e dispositivos de entrada e saída
- Tipos de arquitetura de computadores e modos de endereçamento
- Conjunto de instruções e formato das instruções
- Funcionamento dos principais tipos de instruções: lógicas e aritméticas, desvios, suporte a procedimentos/funções, acesso a memória.
- A interface hardware/software: passos para geração de código binário

Procedimentos Didáticos

- Aulas expositivas com auxílio de slides e participação dos alunos.
- Exercícios no final de algumas aulas para fixação da aprendizagem.
- Listas de exercícios (extraclasse).
- Provas avaliativas.
- Recursos didáticos
 - Data-show e slides
 - Quadro

Formas de Avaliação

- Três avaliações, individuais e sem consulta
- Avaliação 1 (P1) → 30 pts – **18/Setembro**
- Avaliação 2 (P2) → 30 pts – **16/Outubro**
- Avaliação 3 (P2) → 35 pts – **20/Novembro**
- Nota final → $P1 + P2 + P3 = 100$ pts

Arquitetura de um Computador

Organização de um Computador

Arquitetura de um Computador

- Refere-se aos atributos de um sistema que são visíveis para o programador ou, em outras palavras, os atributos que tem impacto direto sobre a execução lógica de um programa
- Exemplos
 - Conjunto de instruções
 - Número de bits usados para representar os dados
 - Mecanismos de E/S
 - Técnicas de endereçamento à memória

Organização de um Computador

- Refere-se as unidades operacionais e suas interconexões que implementam as especificações da sua arquitetura
- Exemplos
 - Sinais de controle
 - Interface entre o computador e os periféricos
 - Tecnologia de memória

Arquitetura vs Organização

- Toda a família Intel x86 compartilha a mesma arquitetura básica.
- A família IBM System/370 compartilha a mesma arquitetura básica.
- A organização é diferente entre diferentes versões.
- Isso gera compatibilidade de código

Arquitetura vs Organização

- Toda a família Intel x86 compartilha a mesma arquitetura básica.
- A família IBM System/370 compartilha a mesma arquitetura básica.
- A organização é diferente entre diferentes versões.
- Isso gera compatibilidade de código
 - Pelo menos, com a geração anterior.

Arquitetura vs Organização

- Definir se um computador deve ou não ter uma instrução de multiplicação, arquitetura ou organização?
 - ...
- Definir se uma instrução de multiplicação será implementada por uma unidade especial de multiplicação ou por um mecanismo que utiliza repetidamente sua unidade de soma, arquitetura ou organização?
 - ...

Arquitetura vs Organização

- Definir se um computador deve ou não ter uma instrução de multiplicação, arquitetura ou organização?
 - Decisão de arquitetura
- Definir se uma instrução de multiplicação será implementada por uma unidade especial de multiplicação ou por um mecanismo que utiliza repetidamente sua unidade de soma, arquitetura ou organização?
 - Decisão de organização

Arquitetura vs Organização

Arquitetura

Organização

Transparente ao programador

Pode sobreviver por muitos anos.

Pode mudar sem afetar a arquitetura

Tempo de vida relativamente curto.

Isso garante compatibilidade de software.

Muda com a evolução da tecnologia.

Arquitetura vs Organização

Arquitetura

Organização

Pode sobreviver por muitos anos.

Transparente ao programador

Tempo de vida relativamente curto.

Pode mudar sem afetar a arquitetura

Isso garante compatibilidade de software.

Muda com a evolução da tecnologia.

Estrutura vs Função

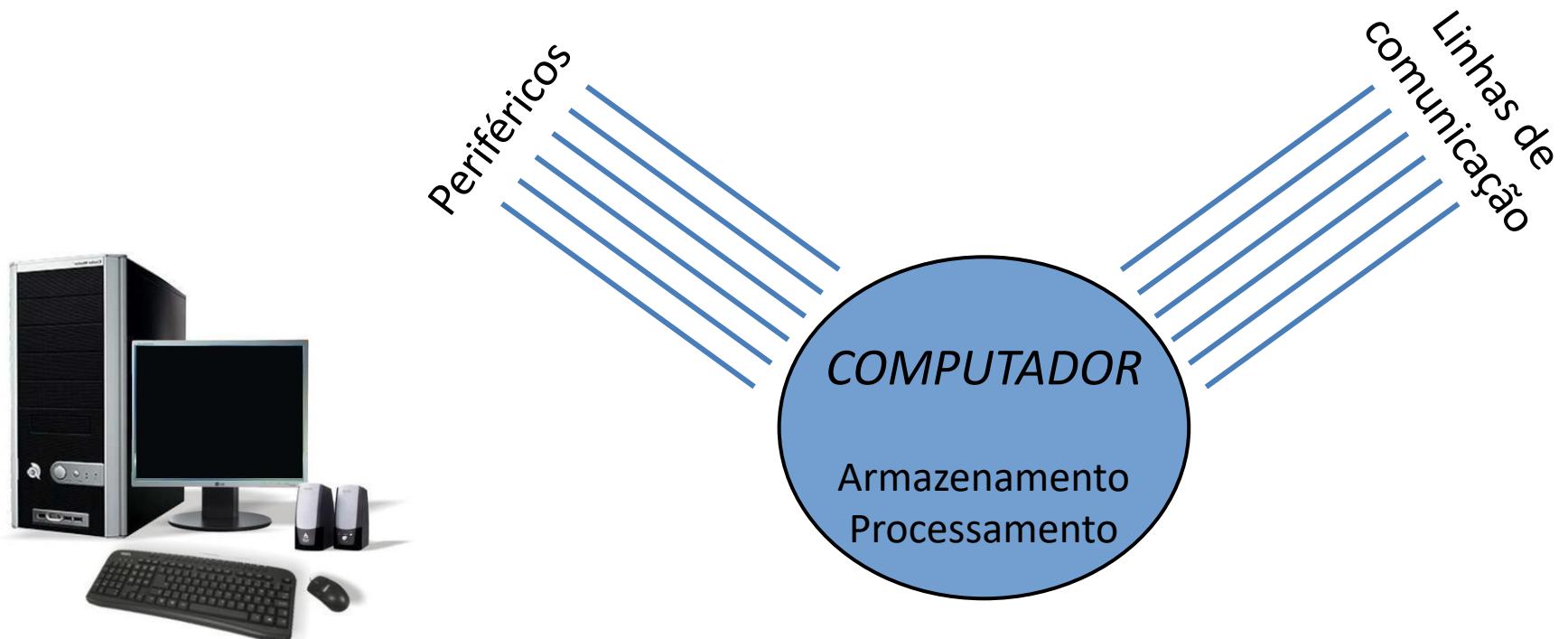
- *Estrutura* é o modo como os componentes estão inter-relacionados.
- *Função* é a operação de cada componente individual como parte da estrutura.

Funções

- As **funções básicas** de um computador são:
 - Processamento de dados
 - Armazenamento de dados
 - Transferência de dados
 - Controle

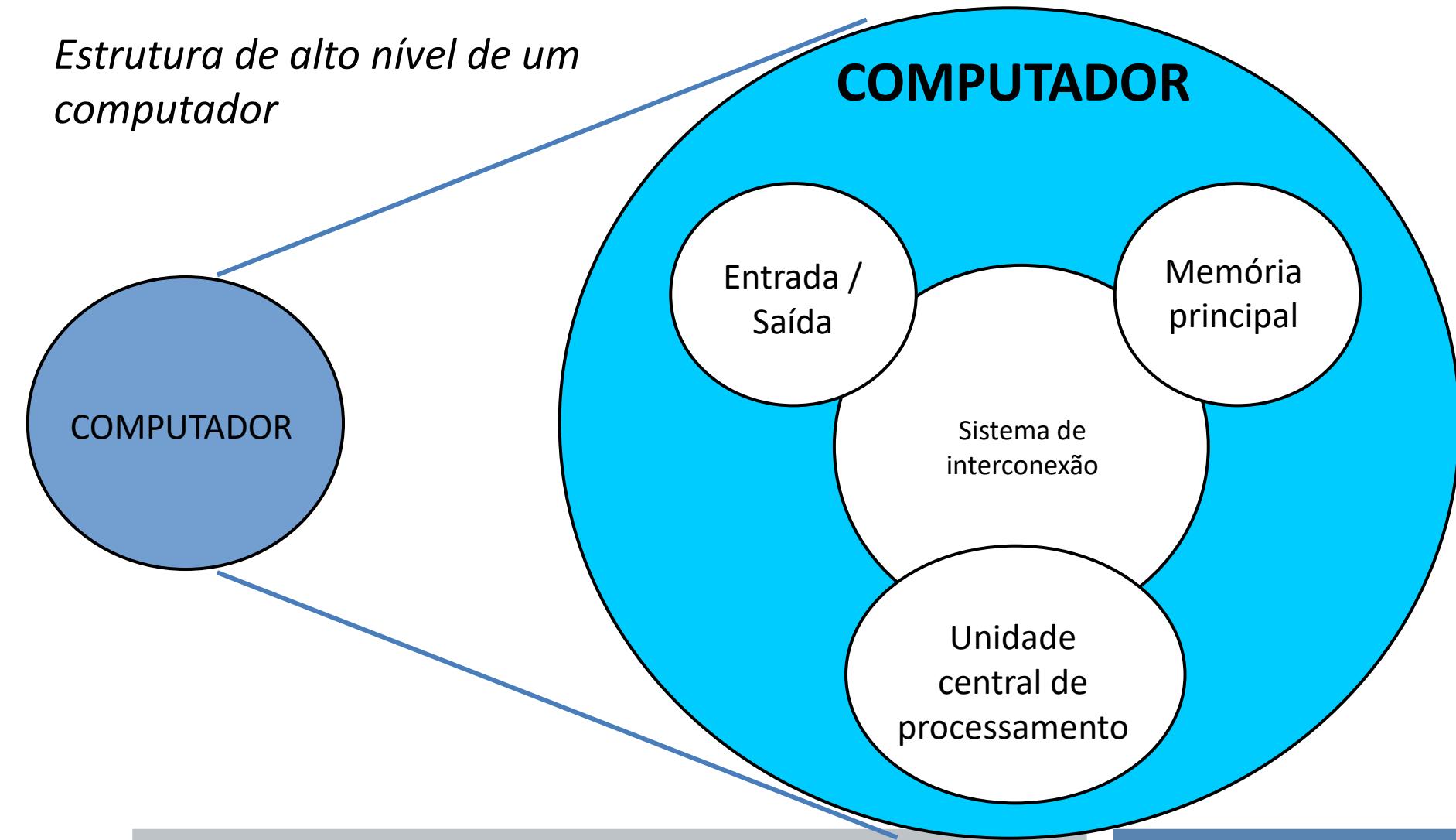
Estrutura do Computador

- O computador



Estrutura do Computador

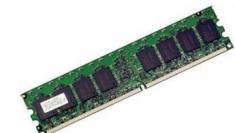
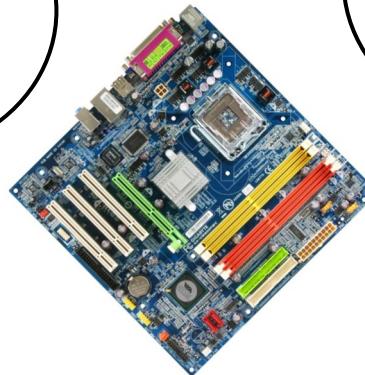
Estrutura de alto nível de um computador



Estrutura do Computador

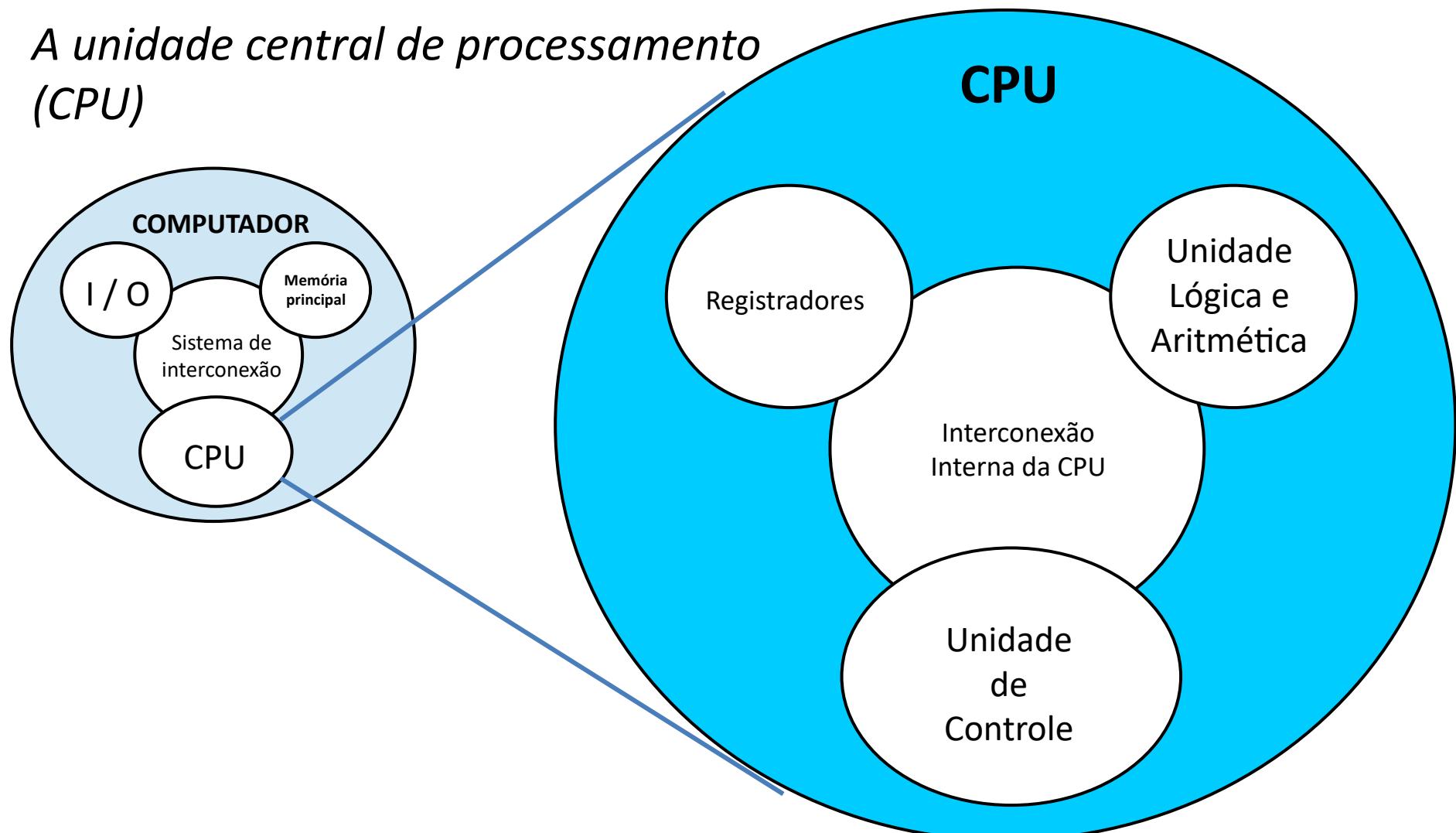
Estrutura de alto nível de um computador

COMPUTADOR

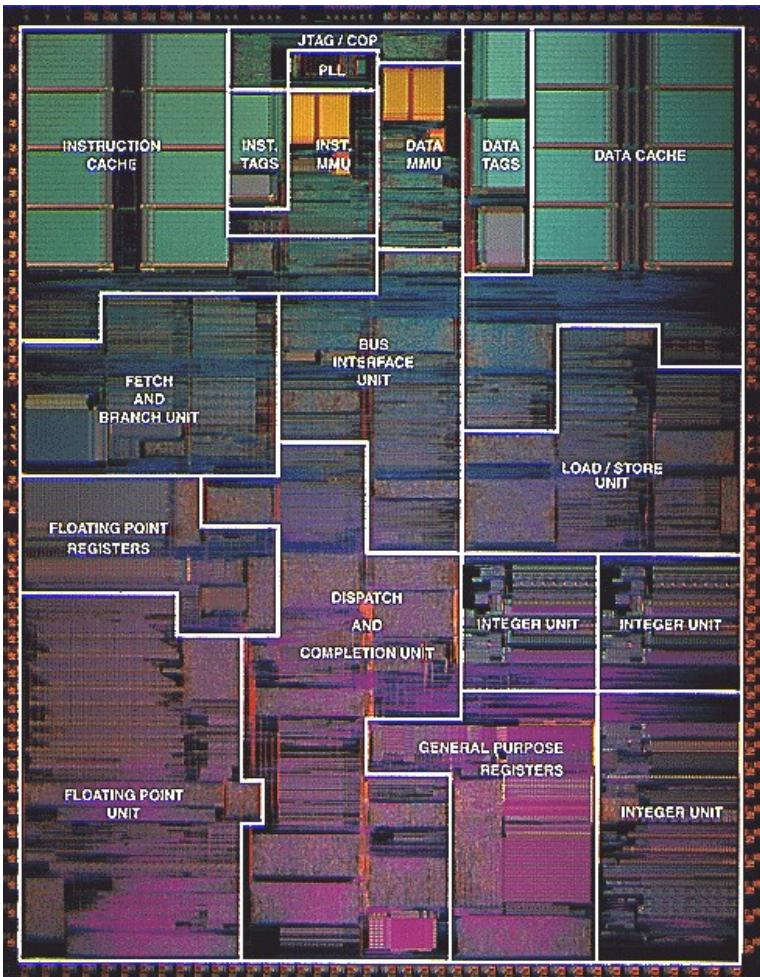


Estrutura do Computador

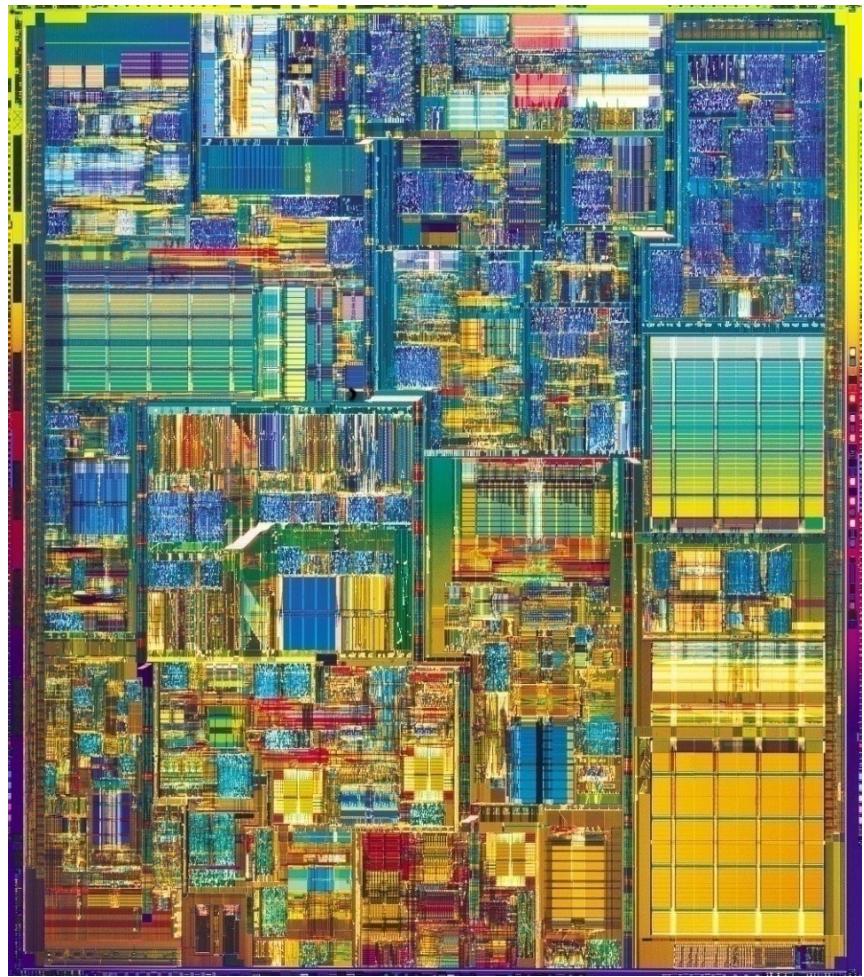
A unidade central de processamento (CPU)



Estrutura vs Função - CPU



Motorola PowerPC 604 RISC



Intel Pentium 4

Estrutura vs Função - CPU

Vídeo zoom CPU iPhone em
microscópio eletrônico

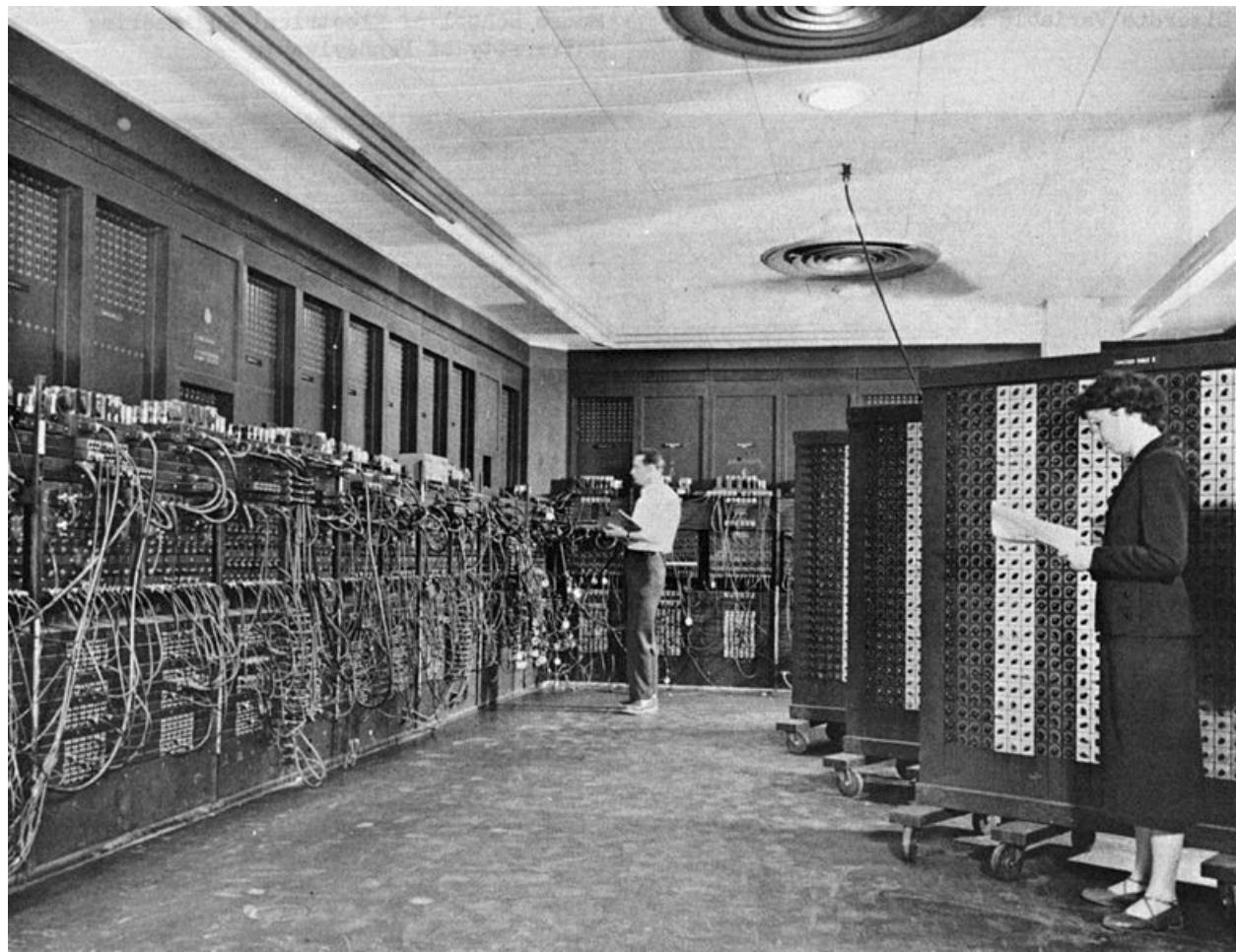
Evolução e desempenho

- A primeira geração: Válvulas eletrônicas
- ENIAC (Computador e Integrador Numérico Eletrônico – Electronic Numerical Integrator and Computer)
 - Primeiro computador eletrônico digital do mundo
 - John Mauchly e John Eckert – Universidade da Pensilvânia
 - Construído para executar cálculos de balística para o BRL (Laboratório de Pesquisas Balísticas do Exercito – Army's Ballistics Resarch Laboratory) durante a 2ª. Guerra mundial
 - Utilizava válvulas eletrônicas para funcionar
 - O projeto foi iniciado em 1943
 - 30 toneladas, 140 metros quadrados, 18 mil válvulas, um consumo de 140 quilowatts e era capaz de executar 5 mil adições/seg.

Evolução e desempenho

- A primeira geração: Válvulas eletrônicas
- O ENIAC era decimal e não binário
 - Memória 20 acumuladores
 - Cada um capaz de armazenar um numero decimal de 10 dígitos
 - Cada dígito representado por um anel com dez válvulas
- Principal DESVANTAGEM do ENIAC
 - Precisava ser programado manualmente
 - Ligando e desligando chaves e conectando e desconectando cabos
- O ENIAC ficou pronto em 1946, tarde demais para ser utilizado na guerra
- Sua primeira tarefa foi realizar cálculos complexos utilizados no desenvolvimento da bomba H
- Foi desativado em 1955

Evolução e desempenho



(1946)

A Máquina de Von Neumann

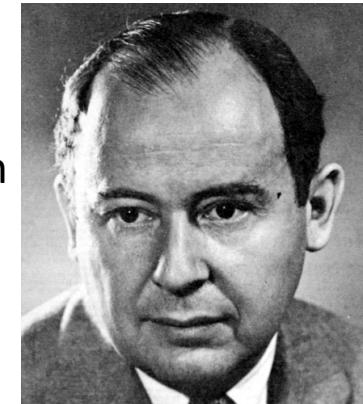
- Carregar e modificar um programa no ENIAC era uma tarefa tediosa
- Se o programa fosse armazenado na memória, juntamente com os dados o processo de programação seria muito mais simples
- Conceito de programa armazenado
 - John von Neumann
 - Concebido simultaneamente por Alan Turing
 - 1945: Primeiro computador de memória armazenada
 - EDVAC (Computador Variável Discreto Eletrônico – Electronic Discrete Variable Computer)
 - 1946: Von Neumann inicia o projeto de um novo computador com programa armazenado, o IAS

A Máquina de Von Neumann

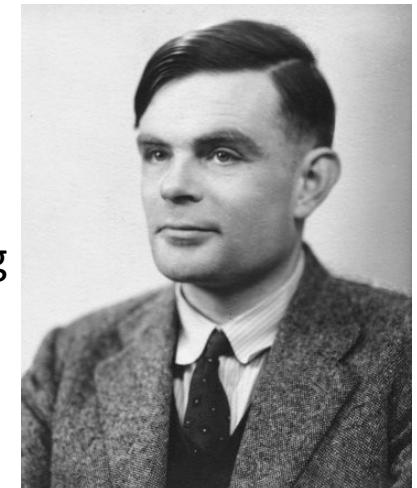


EDVAC - 1945

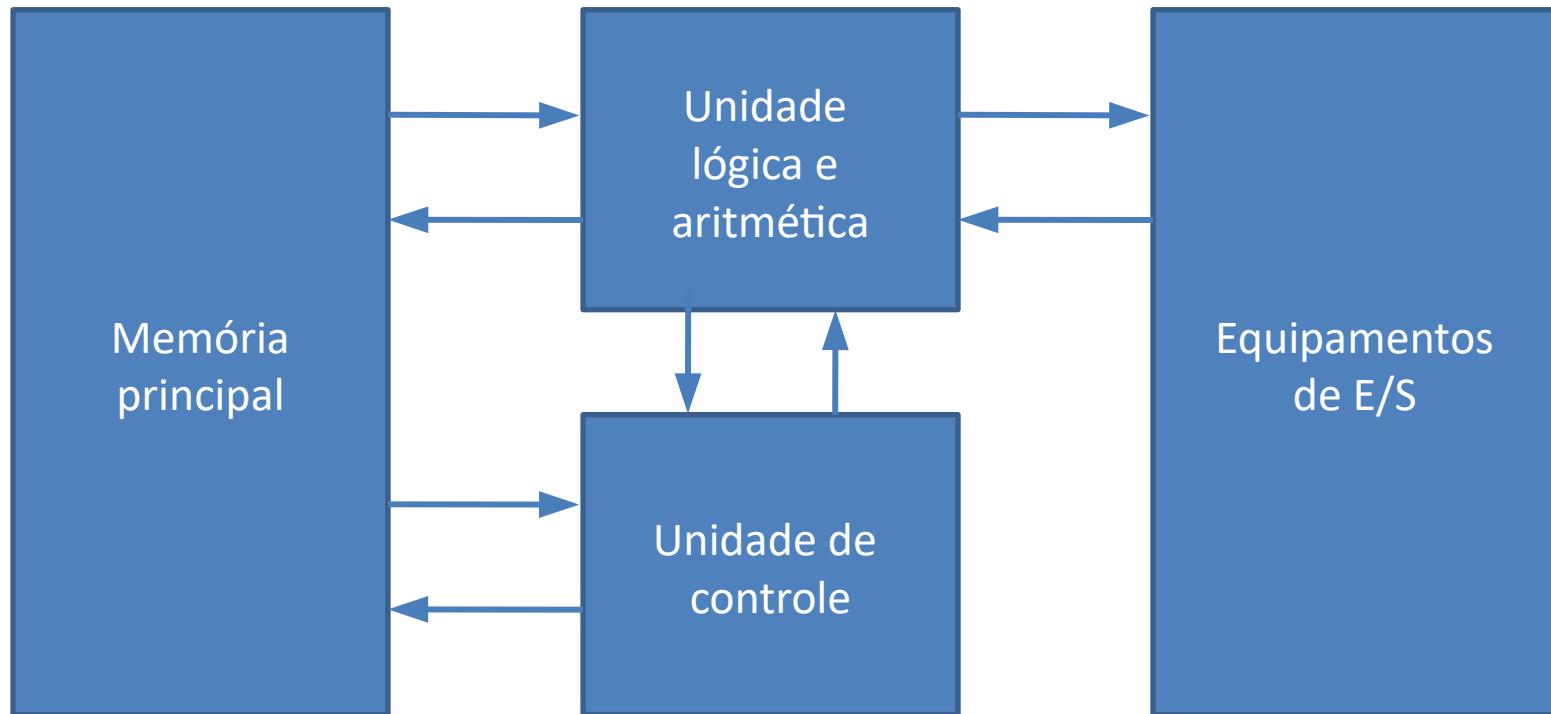
John Von Neumann



Alan Turing



- Embora concluído em 1952 a IAS constitui o protótipo de todos os computadores de propósito geral subsequentes



Estrutura do computador IAS (Arquitetura de Von Neumann)

- **Estrutura geral do IAS:**
 - Memória principal
 - Armazenar dados e instruções
- **Unidade Lógica e Aritmética (ULA)**
 - Realizar operações com dados binários
- **Unidade de controle**
 - Interpreta e executa instruções armazenadas na memória
- **Dispositivos de E/S operados pela unidade de controle**

IAS – Memórias e Palavras

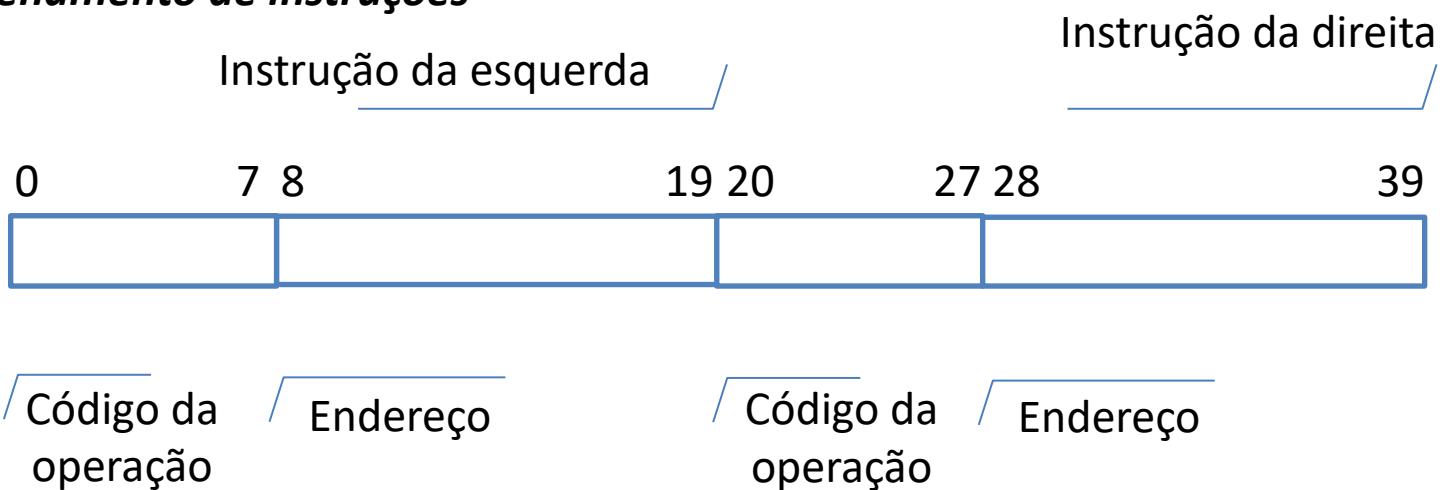
- A memória consistia de mil posições (palavras)
- Cada uma constituída de 40 bits
- Dados e instruções armazenados na memória
- Números devem ser representados em forma binária
- Cada instrução deve ter um código binário

IAS – Memórias e Palavras

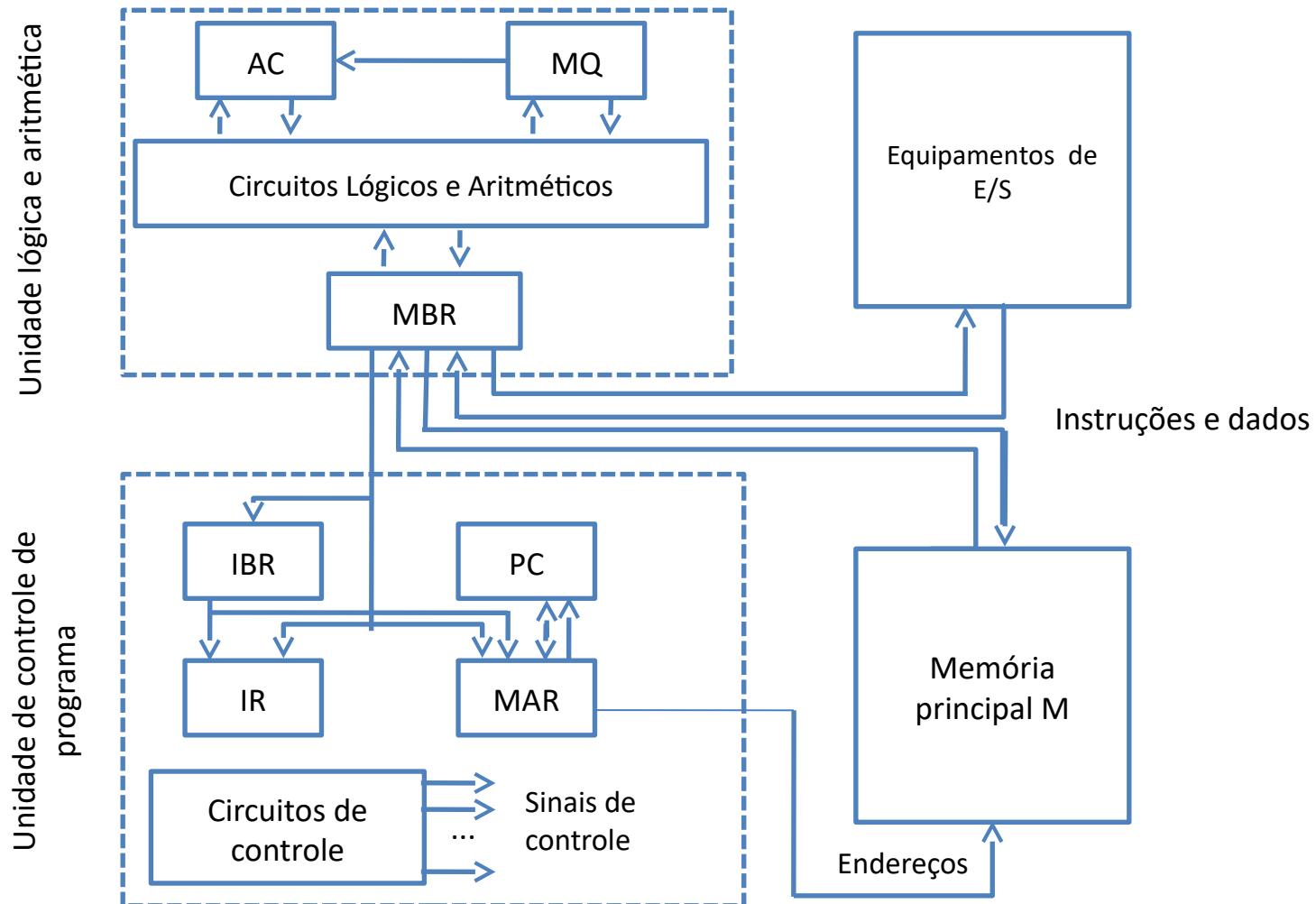
Armazenamento de um número



Armazenamento de instruções



IAS - Estrutura Detalhada

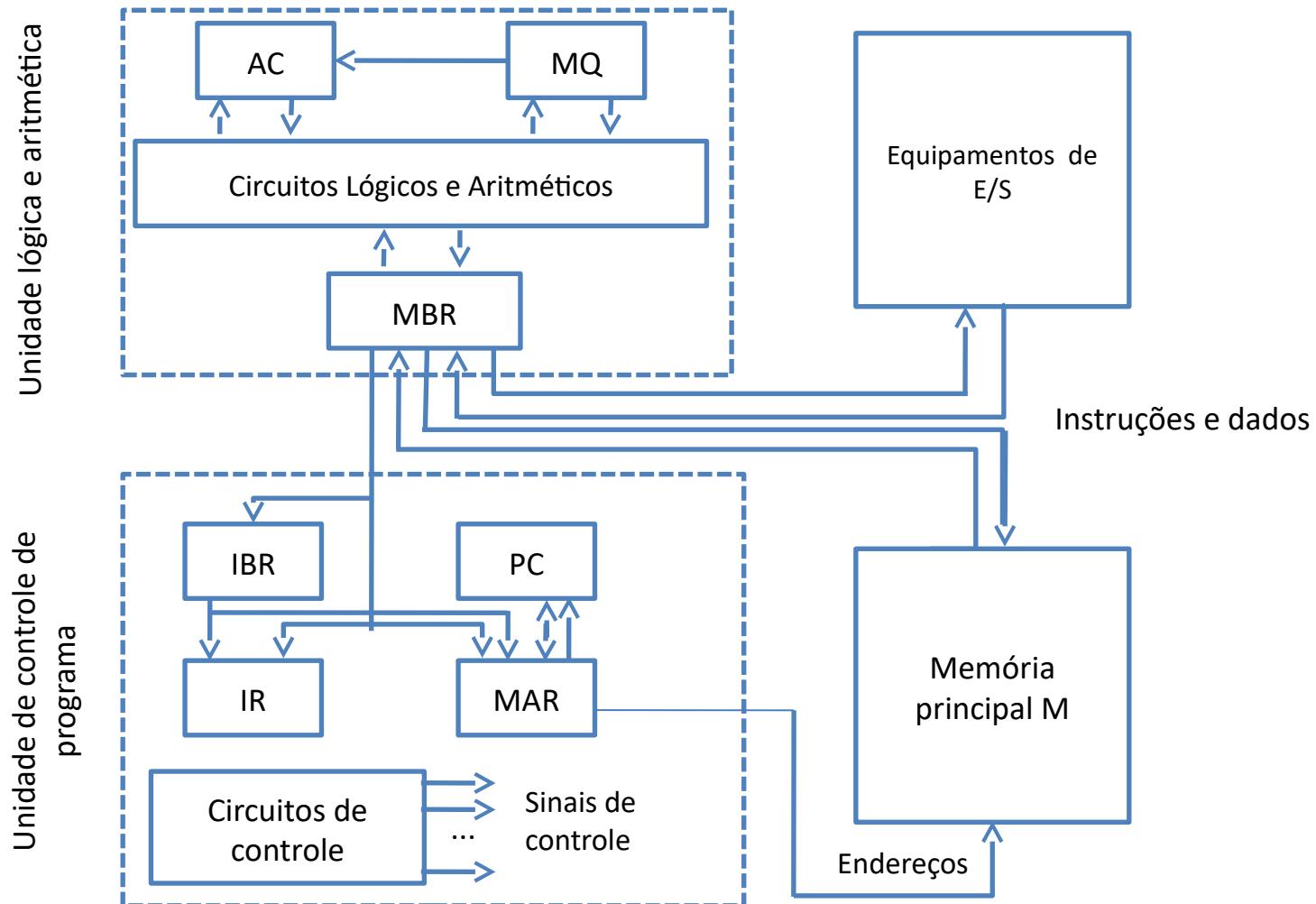


- **MBR (Memory Buffer Register - Registrador temporário de dados)**
 - Contém uma palavra com dados a ser armazenada na memória ou é utilizado para receber uma palavra da memória
- **MAR (Memory Address Register – Registrador de endereçamento à memória)**
 - Contém o endereço, na memória, da palavra a ser escrita ou lida no MBR
- **IR (Instruction Register – Registrador de instruções)**
 - Contém o código da operação (8 bits) que esta sendo executada
- **IBR (Instruction Buffer Register – Registrador de armazenamento temporário de instruções)**
 - Utilizado para armazenar temporariamente a instrução direita de uma palavra na memória

IAS - Registradores

- **PC (Program counter - Contador de programa)**
 - Contem o endereço do próximo par de instruções a ser buscado na memória
- **AC (Accumulator – Acumulador) e MQ (Multiplier Quocient – Quociente de Multiplicação)**
 - Utilizados para armazenar temporariamente os operandos e resultados de operações efetuados na ULA.
 - Exemplo: o resultado da multiplicação de dois números de 40 bits é um número de 80 bits. Os 40 mais significativos são armazenados no AC e os 40 menos significativos no MQ

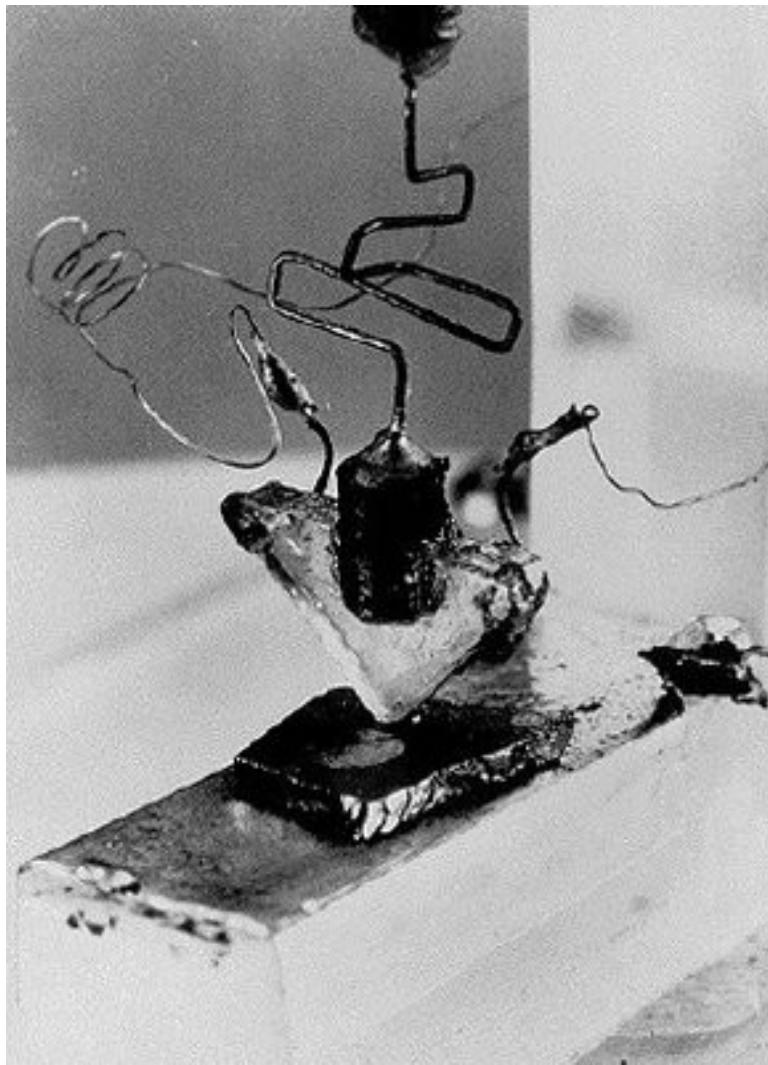
IAS - Estrutura Detalhada



Segunda Geração - Transistores

- Primeira grande mudança nos computadores eletrônicos
 - Sai a válvula e entra o transistor
- Transistor
 - Menor, mais barato e dissipava menos calor que a válvula
 - Inventado na Bell Laboratories, em 1947

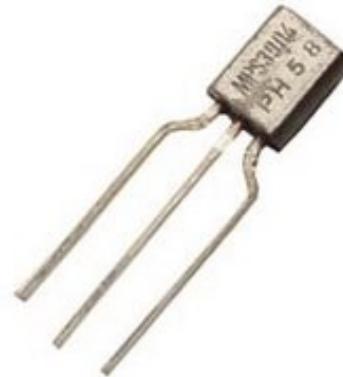
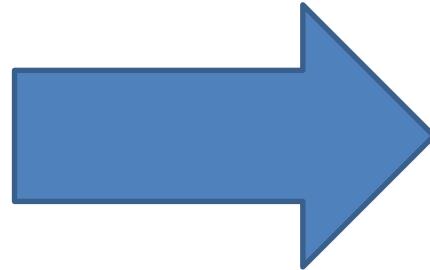
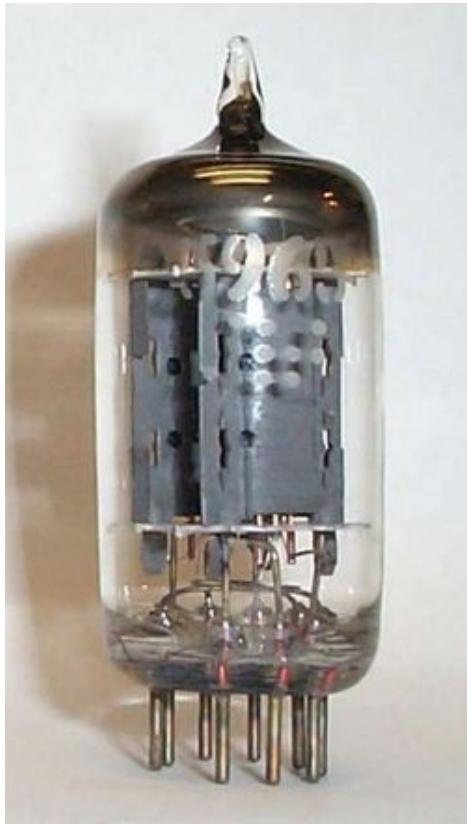
Segunda Geração - Transistores



Segunda Geração - Transistores

- Unidades lógica e aritmética e unidades de controle mais complexas
- Computadores já suportavam programação de alto nível
 - RCA e NCR - As primeiras empresas a lançar computadores transistorizados
 - Seguidos pela IBM com a serie 7000 e pela DEC (Digital Equipment Corporation) com o PDP-1, seu primeiro computador em 1957

Segunda Geração - Transistores



Terceira Geração – Circuitos Integrados

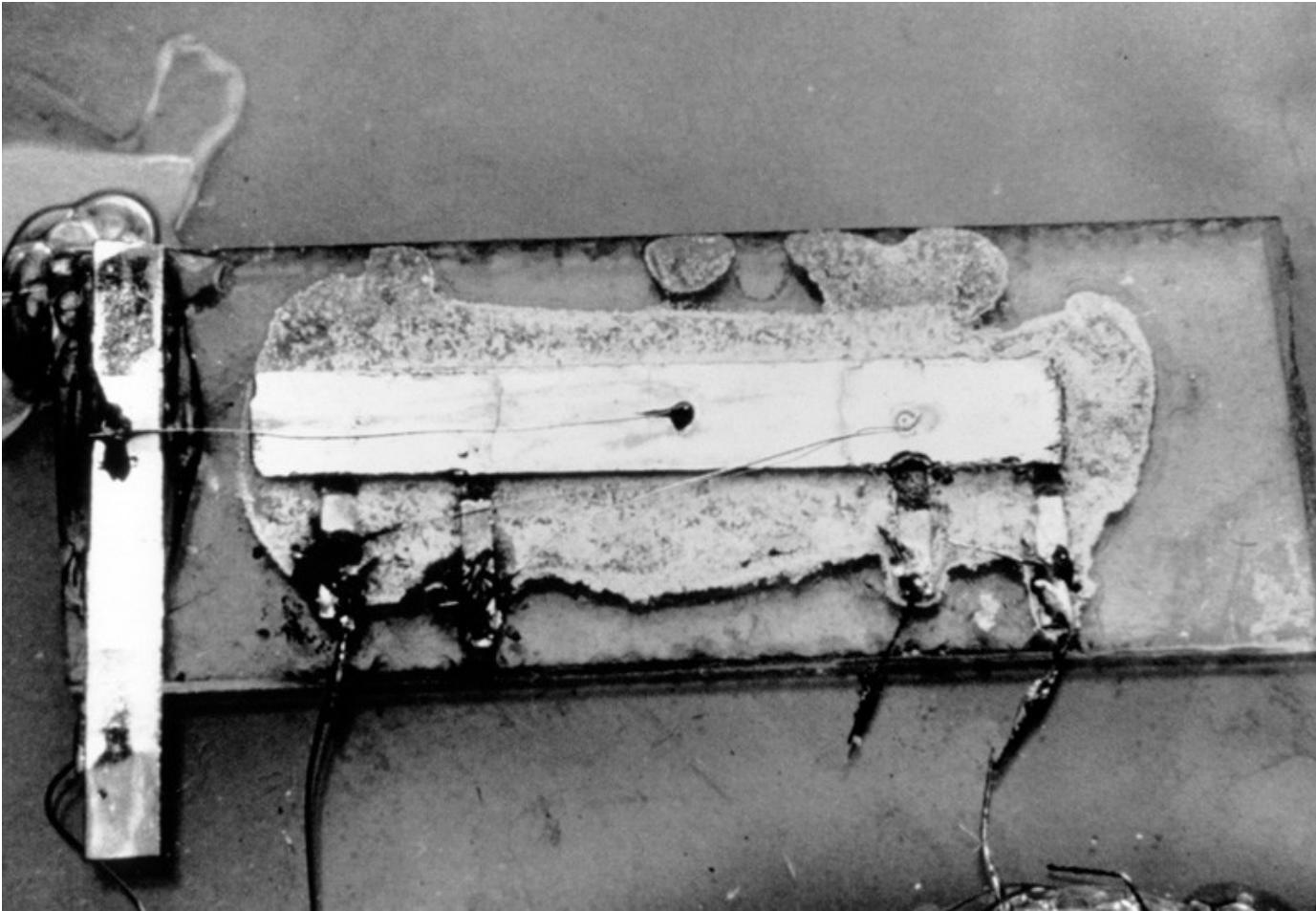
- Segunda geração: equipamentos eletrônicos compostos basicamente de elementos discretos
 - Transistores, capacitores e resistores eram fabricados separadamente e então soldados a placas de circuitos
 - Processo de fabricação caro e incomodo.
- 1958: Invenção do circuito integrado (CI)
 - Início da era da microeletrônica

Terceira Geração – Circuitos Integrados

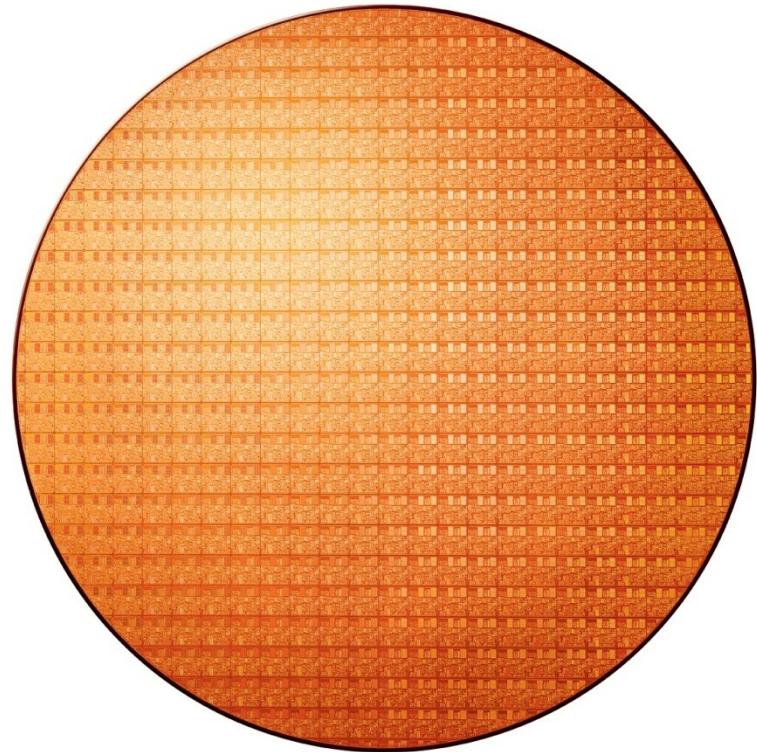
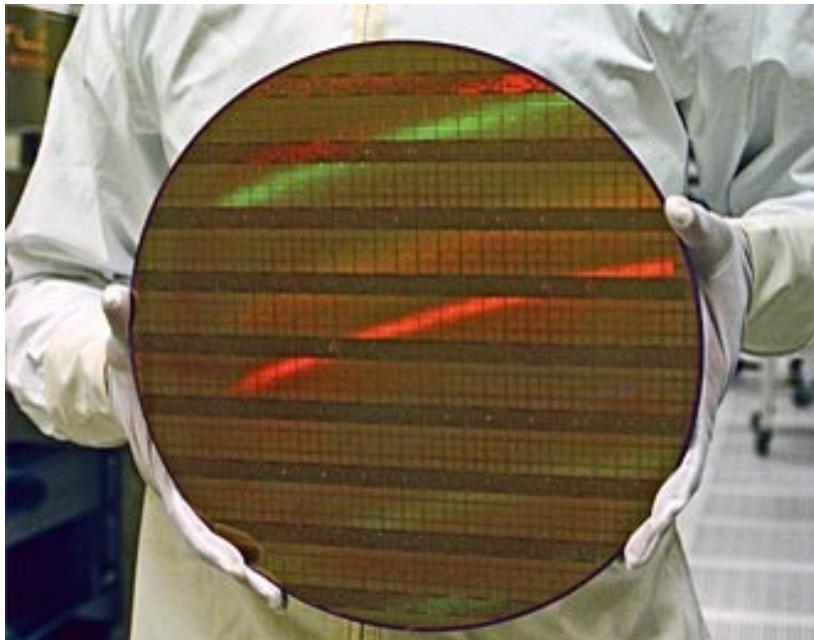
- Com a invenção do CI se tornou possível fabricar um circuito inteiro em uma única peça de silício.
- É possível produzir simultaneamente milhares de transistores em uma única lâmina de silício, conectando-os para formar os circuitos
- SSI (Small-scale integration) -> LSI (Large-scale integration)

Terceira Geração – Circuitos Integrados

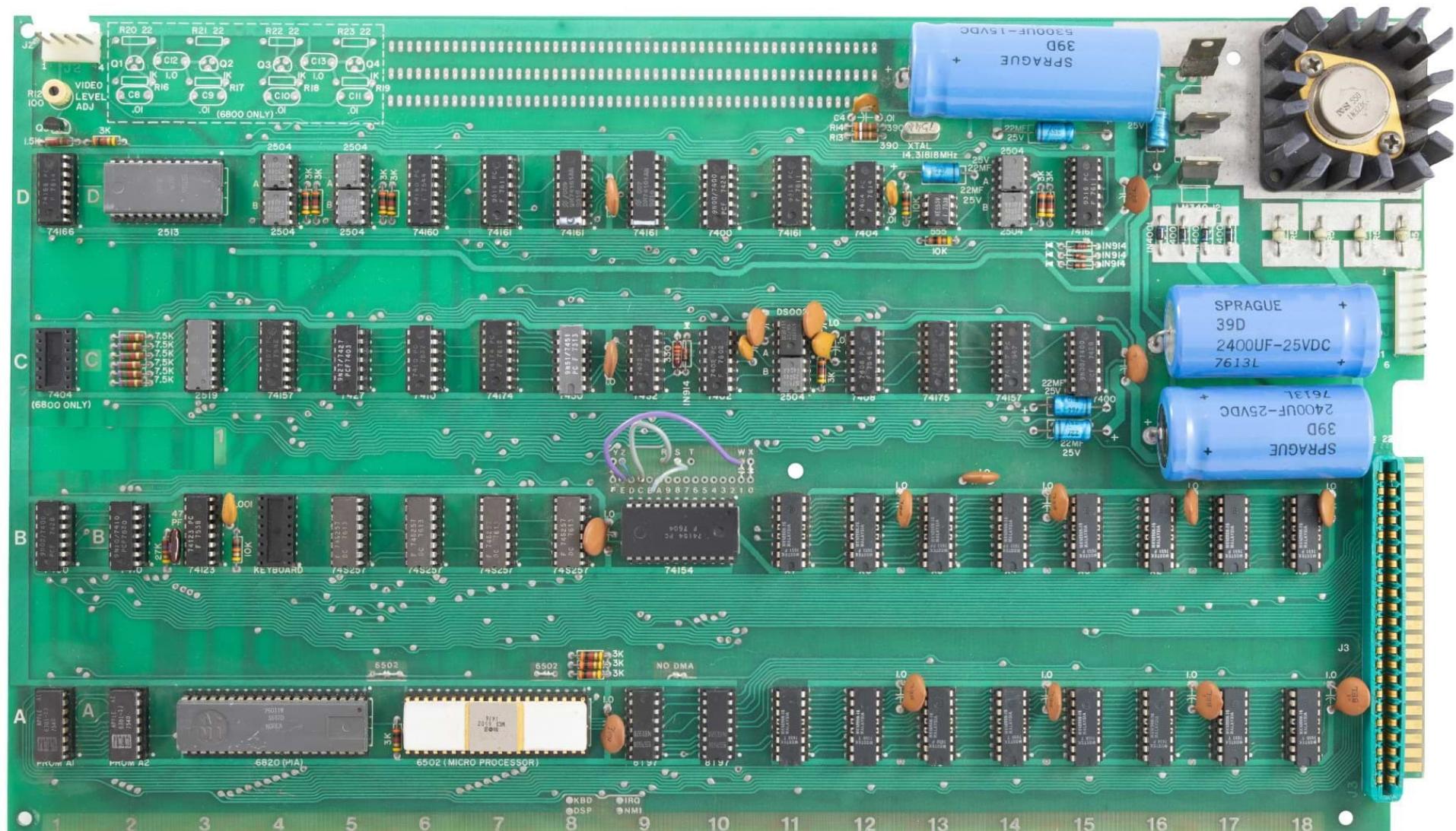
- Primeiro Circuito Integrado (CI)



Terceira Geração – Circuitos Integrados



Terceira Geração – Circuitos Integrados



Terceira Geração – Circuitos Integrados

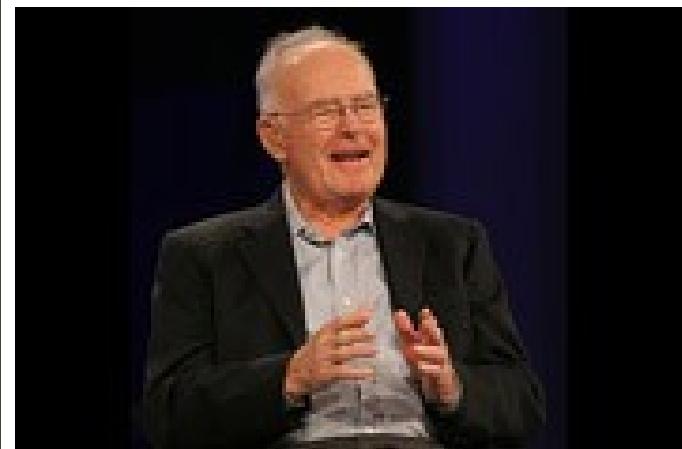
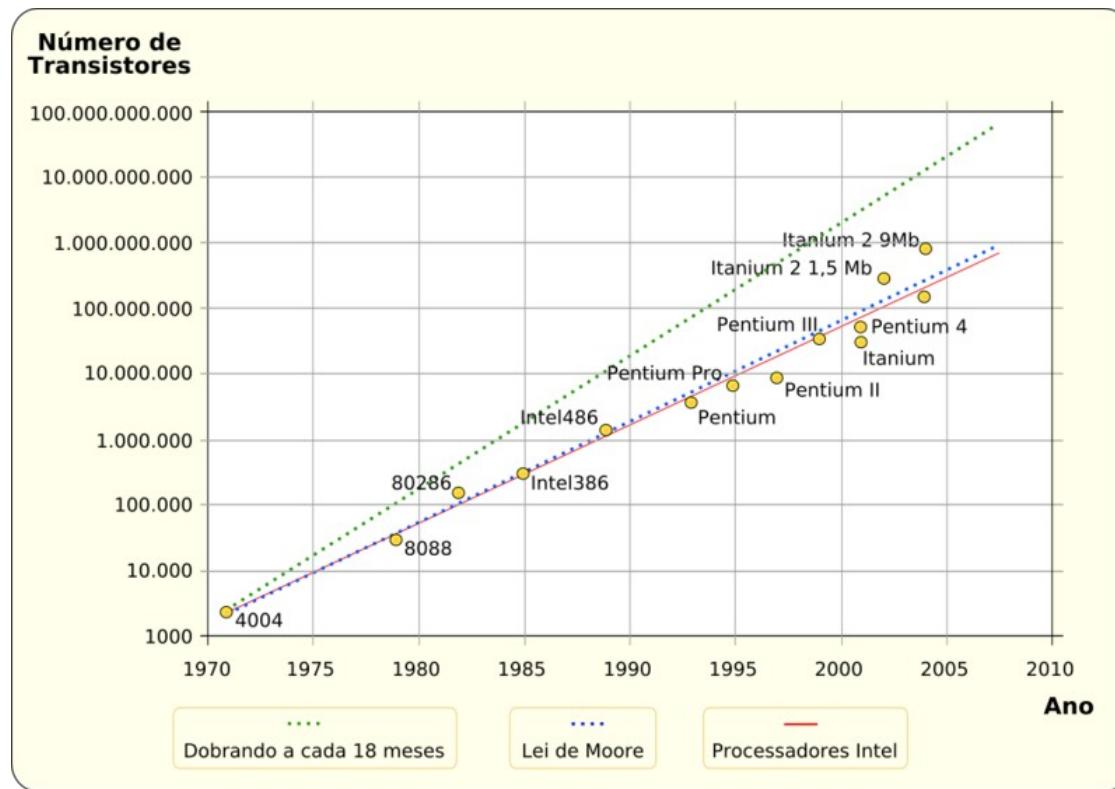


Terceira Geração – Circuitos Integrados



Lei de Moore (1965)

- 1965 - O número de transistores por pastilhas deve dobrar a cada 12 meses (Previsão para os próximos 10 anos)
- 1975 – Atualização da previsão : dobrar a cada 24 meses (Pelo próprio Moore)
- Versão Intel: O desempenho dos computadores deve dobrar a cada 18 meses.



Gordon Moore
Cofundador da Intel

Gerações de Computadores

Geração	Datas aproximadas	Tecnologia	Velocidade típica (operações por segundo)
1	1946 – 1957	Válvula	40.000
2	1958 – 1964	Transistor	200.000
3	1965 – 1971	Circuito Integrado (CI) Integração em baixa e média escalas	1.000.000
4	1972 – 1977	CI: Integração em grande escala	10.000.000
5	1978 – atual	CI: Integração em escala muito grande	100.000.000

Escala e Integração (CI)

Escala de integração		Número de transistores por pastilha
SSI	<i>Small Scale Integration</i>	Até 30
MSI	<i>Medium Scale Integration</i>	De 30 até 1 000
LSI	<i>Large Scale Integration</i>	De 1 000 até 100 000
VLSI	<i>Very Large Scale Integration</i>	De 100 000 até 10 milhões
ULSI	<i>Ultra Large Scale Integration</i>	Mais de 10 milhões

Sistema Posicional

vs

Sistema Não-Posicional

Sistema Não Posicional – Algarismos Romanos

I

X

C

M

V

L

D

Sistema Não Posicional – Algarismos Romanos

I 1
X 10
C 100
M 1000

V 5
L 50
D 500

Sistema Não Posicional – Algarismos Romanos

I	1	V	5	IX
X	10	L	50	XC
C	100	D	500	CM
M	1000			

Sistema Não Posicional – Algarismos Romanos

I 1

V 5

IX 9

X 10

L 50

XC 90

C 100

D 500

CM 900

M 1000

Sistema Não Posicional – Algarismos Romanos

I 1

X 10

C 100

M 1000

V 5

L 50

D 500

IX 9

XC 90

CM 900

1999 = MCMXCIX

Sistema Não Posicional – Algarismos Romanos

I 1
X 10
C 100
M 1000

V 5
L 50
D 500

IX 9
XC 90
CM 900

1999 = M¹⁰⁰⁰C⁹⁰⁰M⁹⁰X⁹I⁹

Sistema Não Posicional – Algarismos Romanos

I 1
X 10
C 100
M 1000

V 5
L 50
D 500

IX 9
XC 90
CM 900

1999 = **M**¹⁰⁰⁰**C**⁹⁰⁰**M**⁹⁰⁰**X**⁹⁰**C**⁹⁰**I**⁹**X**⁹

O número 0 não tem como ser representado

Sistema Não Posicional – Algarismos Romanos

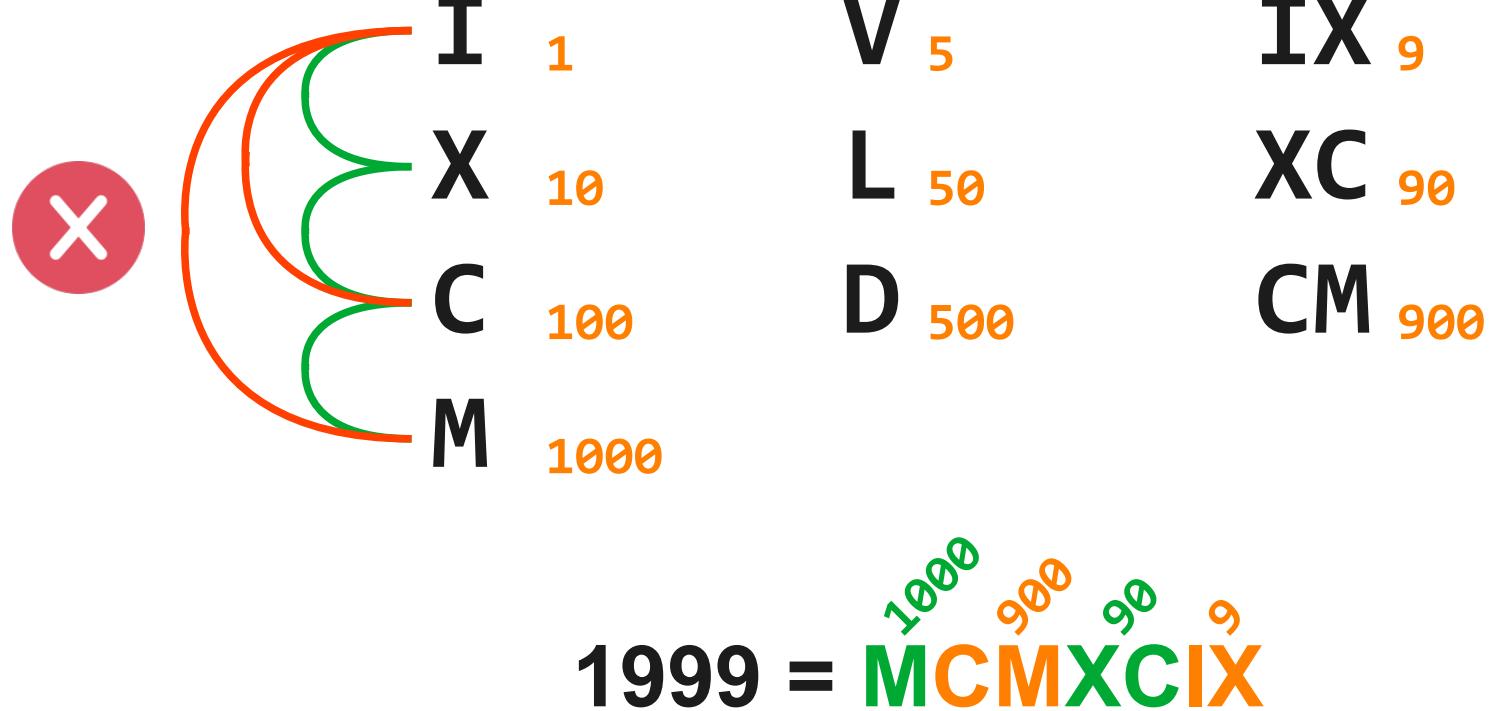


I	1	V	5	IX	9
X	10	L	50	XC	90
C	100	D	500	CM	900
M	1000				

1999 = **MCM¹⁰⁰⁰XC⁹⁰⁰I¹⁰⁰X⁹**

O número 0 não tem como ser representado

Sistema Não Posicional – Algarismos Romanos



O número 0 não tem como ser representado

1999 → **Numero decimal**
Base decimal

Sistema Posicional – Números Decimais

Base decimal

1999

The diagram illustrates the positional value of each digit in the number 1999. It shows four green arrows pointing from the digits to their respective multiplications by powers of 10. The first arrow points to the digit 1, labeled 1×10^3 . The second arrow points to the digit 9, labeled 9×10^2 . The third arrow points to the digit 9, labeled 9×10^1 . The fourth arrow points to the digit 9, labeled 9×10^0 .

$$\begin{array}{l} 1 \times 10^3 \\ 9 \times 10^2 \\ 9 \times 10^1 \\ 9 \times 10^0 \end{array}$$

Sistema Posicional – Números Decimais

Base decimal

1999

The diagram illustrates the conversion of the decimal number 1999 into its positional values. It shows four green arrows pointing from the digits of 1999 down to their respective multiplications by powers of 10. The first arrow points to the units digit '9', which is multiplied by 10^0 to yield 9. The second arrow points to the tens digit '9', which is multiplied by 10^1 to yield 90. The third arrow points to the hundreds digit '9', which is multiplied by 10^2 to yield 900. The fourth arrow points to the thousands digit '1', which is multiplied by 10^3 to yield 1000.

$$\begin{array}{rcl} 9 & \times & 10^0 \longrightarrow 9 \\ 9 & \times & 10^1 \longrightarrow 90 \\ 9 & \times & 10^2 \longrightarrow 900 \\ 1 & \times & 10^3 \longrightarrow 1000 \end{array}$$

Sistema Posicional – Números Decimais

Base decimal

1999

$$\begin{array}{rcl} & \downarrow & \downarrow \\ 9 & \times & 10^0 & \longrightarrow & 9 \\ & \downarrow & & & \\ 9 & \times & 10^1 & \longrightarrow & 90 \\ & \downarrow & & & \\ 9 & \times & 10^2 & \longrightarrow & 900 \\ & \downarrow & & & \\ 1 & \times & 10^3 & \longrightarrow & 1000 \end{array}$$

Base binária

1001

$$\begin{array}{rcl} & \downarrow & \downarrow \\ 1 & \times & 2^0 & \longrightarrow & 1 \\ & \downarrow & & & \\ 0 & \times & 2^1 & \longrightarrow & 0 \\ & \downarrow & & & \\ 0 & \times & 2^2 & \longrightarrow & 0 \\ & \downarrow & & & \\ 1 & \times & 2^3 & \longrightarrow & 8 \\ & & & & \hline & & & & 9 \end{array}$$

Sistema Posicional – Números Decimais

Base decimal

1999

$$\begin{array}{rcl} & \downarrow & \downarrow \\ 9 & \times & 10^0 & \longrightarrow & 9 \\ & \downarrow & & & \\ 9 & \times & 10^1 & \longrightarrow & 90 \\ & \downarrow & & & \\ 9 & \times & 10^2 & \longrightarrow & 900 \\ & \downarrow & & & \\ 1 & \times & 10^3 & \longrightarrow & 1000 \end{array}$$

Base binária

1001

$$\begin{array}{rcl} & \downarrow & \downarrow \\ 1 & \times & 2^0 & \longrightarrow & 1 \\ & \downarrow & & & \\ 0 & \times & 2^1 & \longrightarrow & 0 \\ & \downarrow & & & \\ 0 & \times & 2^2 & \longrightarrow & 0 \\ & \downarrow & & & \\ 1 & \times & 2^3 & \longrightarrow & 8 \\ & & & & \hline & & & & 9 \end{array}$$

Base 7

107

$$\begin{array}{rcl} & \downarrow & \downarrow \\ 7 & \times & 7^0 & \longrightarrow & 7 \\ & \downarrow & & & \\ 0 & \times & 7^1 & \longrightarrow & 0 \\ & \downarrow & & & \\ 1 & \times & 7^2 & \longrightarrow & 49 \\ & & & & \hline & & & & 56 \end{array}$$

Sistema Posicional – Números Decimais

Base decimal

1999

$$\begin{array}{rcl} & \downarrow & \downarrow \\ 9 & \times & 10^0 & \longrightarrow & 9 \\ & \downarrow & & & \\ 9 & \times & 10^1 & \longrightarrow & 90 \\ & \downarrow & & & \\ 9 & \times & 10^2 & \longrightarrow & 900 \\ & \downarrow & & & \\ 1 & \times & 10^3 & \longrightarrow & 1000 \end{array}$$

Base binária

1001

$$\begin{array}{rcl} & \downarrow & \downarrow \\ 1 & \times & 2^0 & \longrightarrow & 1 \\ & \downarrow & & & \\ 0 & \times & 2^1 & \longrightarrow & 0 \\ & \downarrow & & & \\ 0 & \times & 2^2 & \longrightarrow & 0 \\ & \downarrow & & & \\ 1 & \times & 2^3 & \longrightarrow & 8 \\ & & & & \hline & & & & 9 \end{array}$$

Base 7

(inventei agora)

$$\begin{array}{rcl} 107 & & \\ \downarrow & & \\ 7 & \times & 7^0 & \longrightarrow & 7 \\ 0 & \times & 7^1 & \longrightarrow & 0 \\ 1 & \times & 7^2 & \longrightarrow & 49 \\ & & & & \hline & & & & 56 \end{array}$$

Introdução à Arquitetura de Computadores

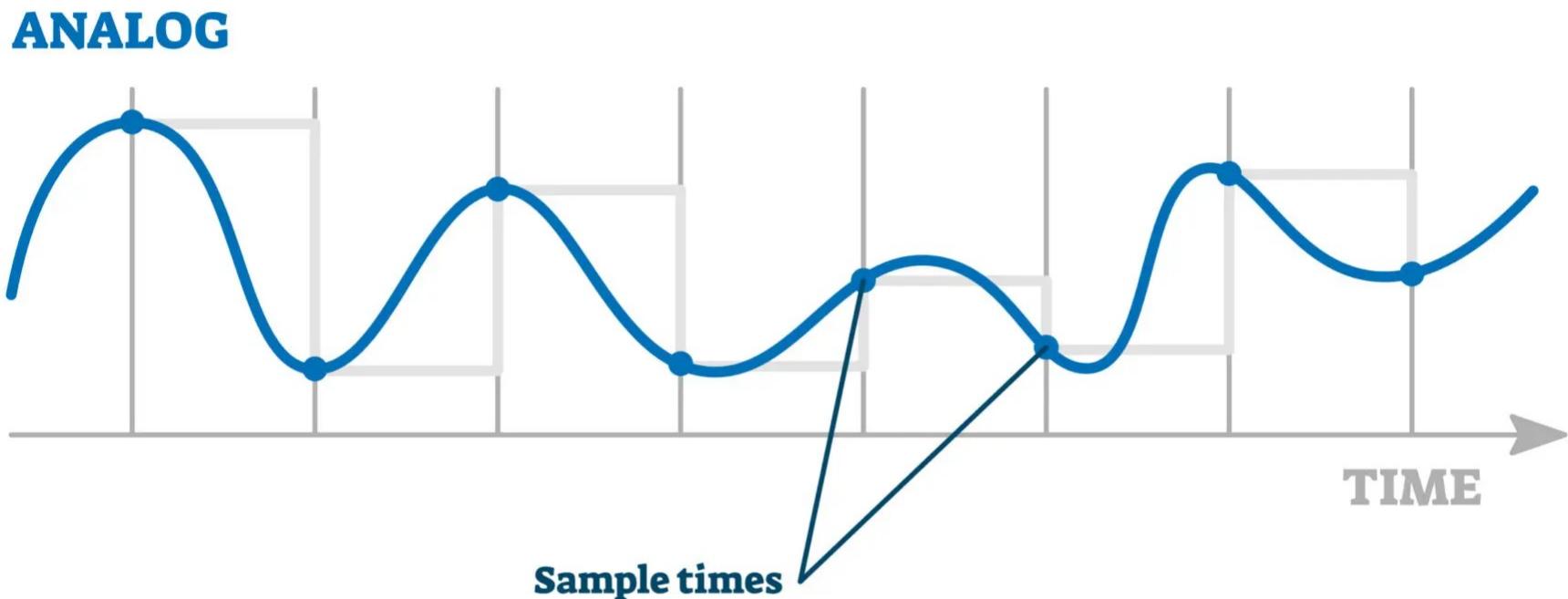
Digital
vs
Analógico

Digital vs Analógico

- O mundo real é **analógico**.
- O que isso significa?
 - Temperatura
 - Peso
- Valores analógicos são equivalentes a números de ponto flutuante.

Digital vs Analógico

- Quando os valores mudam ao longo do tempo eles seguem o que chamamos de curva contínua

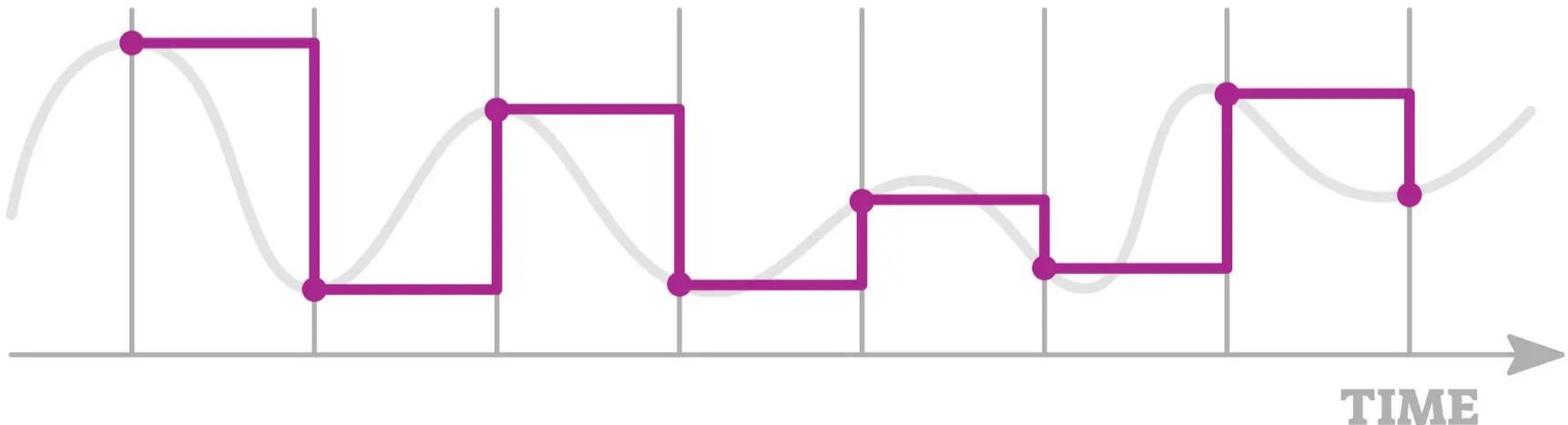


Digital vs Analógico

- A maioria dos computadores atuais representam valores analógicos por meio da conversão em números com resolução fixa.
- Isso é chamado de **valor digital**.
- Quando um computador grava um sinal analógico, variando no tempo e na magnitude, ele está capturando uma sequência de amostras. A taxa pela qual as **amostras** são capturadas é chamada de **taxa de amostragem**.

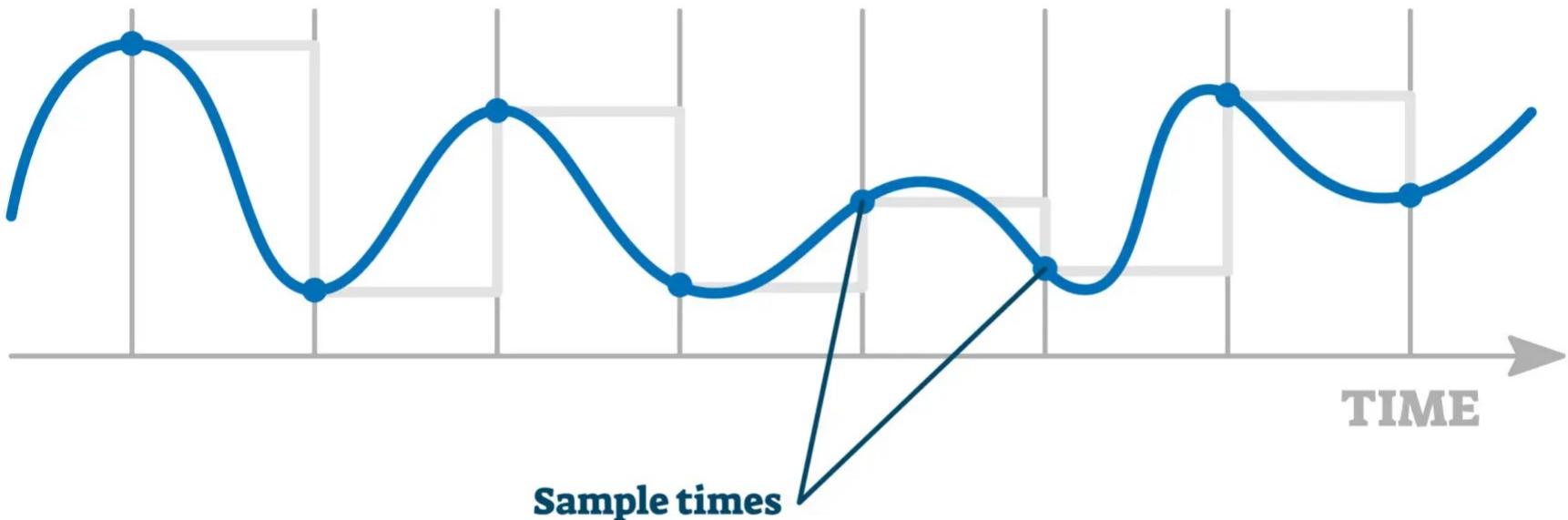
Digital vs Analógico

DIGITAL

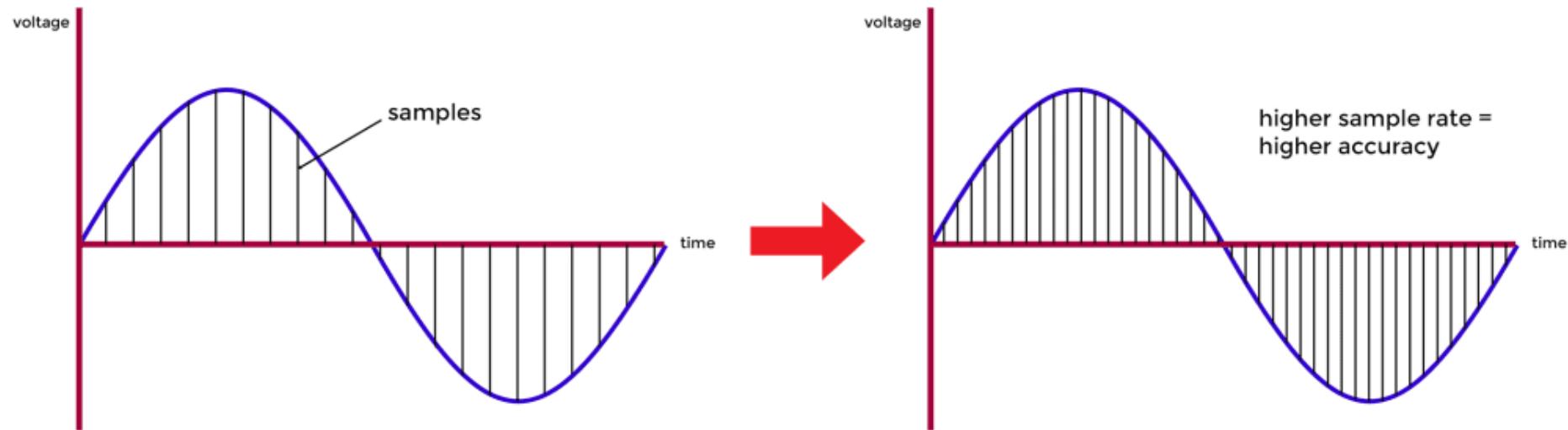


Digital vs Analógico

ANALOG



Digital vs Analógico



Digital vs Analógico

- Dois problemas podem ser encontrados.

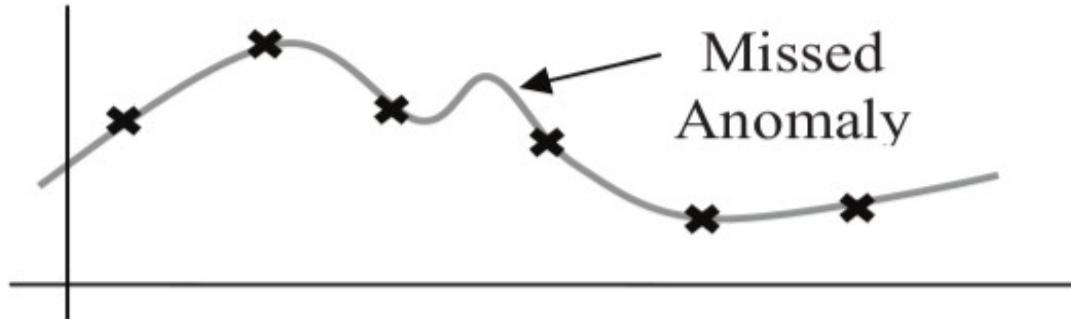


Figure 1-5 Slow Sampling Rate Missed an Anomaly

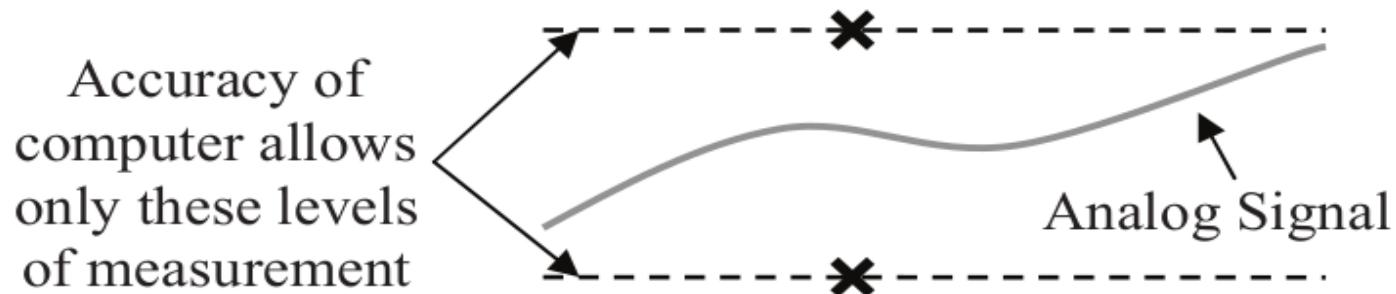


Figure 1-6 Poor Resolution Resulting in an Inaccurate Measurement

Digital vs Analógico

- Nem tudo o que é digital é eletrônico

Digital vs Analógico

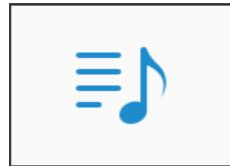
- Nem tudo o que é digital é eletrônico
- Código Morse

A . -	J · ---	S ...	1 -----
B - ...	K - ..	T -	2 ..---
C - ..	L - ...	U ..-	3 ... --
D - ..	M --	V ... -	4 -
E ·	N - .	W . --	5
F - ..	O ---	X - ...	6 -
G - ..	P - ..	Y - ... -	7 -- ...
H	Q - ---	Z - ..	8 --- ..
I ..	R - ..		9 ----- .
O			0 -----

Digital vs Analógico – Código Morse

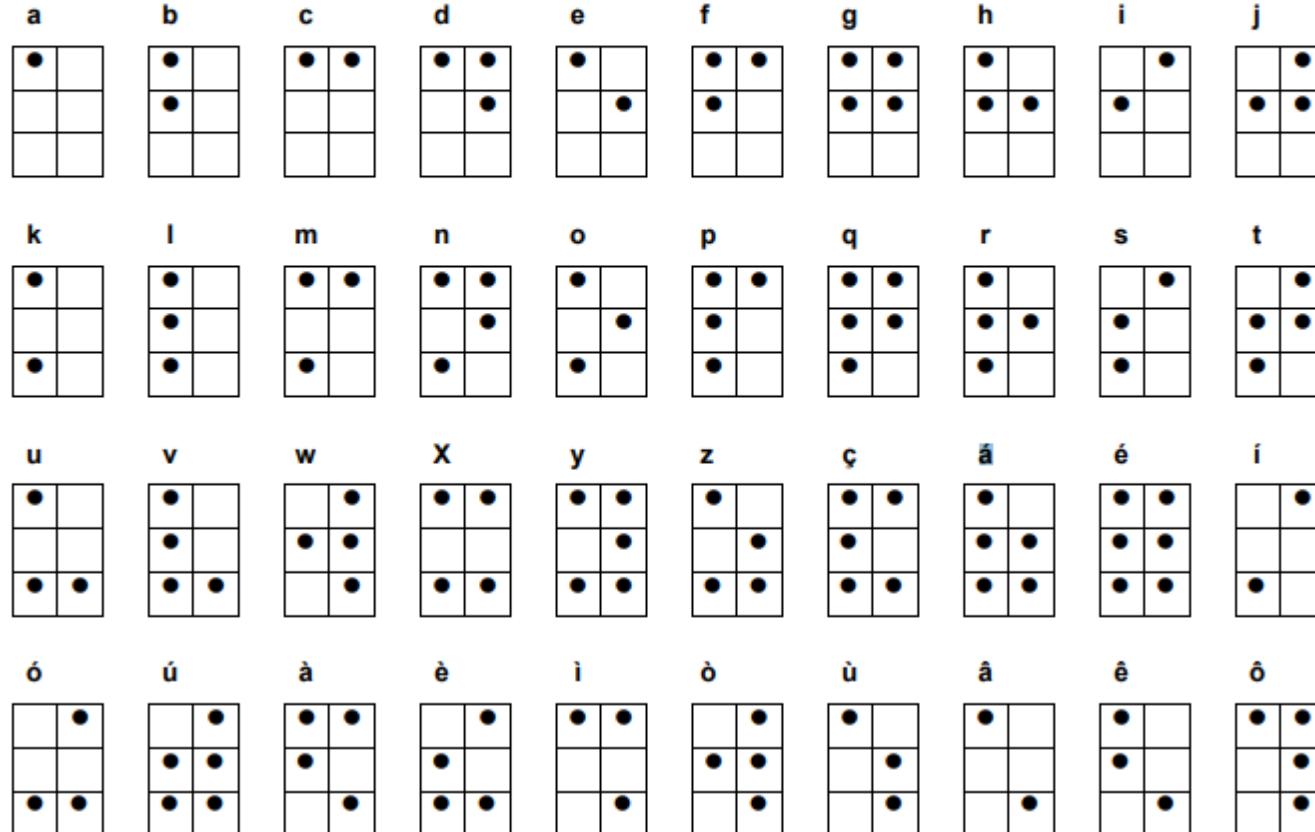
Incoming message

W. H. G. - D. C. - W. H. G. - D. C.



Digital vs Analógico

- Nem tudo o que é digital é eletrônico
- Sistema Braille



Digital vs Analógico – Sistema Braille



Conversão de Base

501_{10}  Base 2?

Conversão de Base

$$501_{10}$$

1 x 10^0 → 1
0 x 10^1 → 0
5 x 10^2 → 500

Base 2?

Resto

$$501 / 2 = 250 \quad 1$$

$$250 / 2 = 125 \quad 0$$

$$125 / 2 = 62 \quad 1$$

$$62 / 2 = 31 \quad 0$$

$$31 / 2 = 15 \quad 1$$

$$15 / 2 = 7 \quad 1$$

$$7 / 2 = 3 \quad 1$$

$$3 / 2 = 1 \quad 1$$

$$1 / 2 = 0 \quad 1$$

Conversão de Base

$$501_{10}$$

\downarrow \downarrow

$$1 \times 10^0 \rightarrow 1$$
$$0 \times 10^1 \rightarrow 0$$
$$5 \times 10^2 \rightarrow 500$$

Base 2?

$$501 / 2 = 250$$

$$250 / 2 = 125$$

$$125 / 2 = 62$$

$$62 / 2 = 31$$

$$31 / 2 = 15$$

$$15 / 2 = 7$$

$$7 / 2 = 3$$

$$3 / 2 = 1$$

$$1 / 2 = 0$$

Resto

1

0

1

0

1

1

1

1

1

Conversão de Base

$$501_{10}$$

\downarrow \downarrow \downarrow

$1 \times 10^0 \rightarrow 1$

$0 \times 10^1 \rightarrow 0$

$5 \times 10^2 \rightarrow 500$

Base 2?

$$501 / 2 = 250$$

$$250 / 2 = 125$$

$$125 / 2 = 62$$

$$62 / 2 = 31$$

$$31 / 2 = 15$$

$$15 / 2 = 7$$

$$7 / 2 = 3$$

$$3 / 2 = 1$$

$$1 / 2 = 0$$

Resto

1
0
1
0
1
1
1
1
1
1
1

Conversão de Base

$$501_{10} = 111110101_2$$

$$501 \div 2 = 250$$

$$250 \div 2 = 125$$

$$125 \div 2 = 62$$

$$62 \div 2 = 31$$

$$31 \div 2 = 15$$

$$15 \div 2 = 7$$

$$7 \div 2 = 3$$

$$3 \div 2 = 1$$

$$1 \div 2 = 0$$

1
0
1
0
1
1
1
1
1
1



Conversão de Base

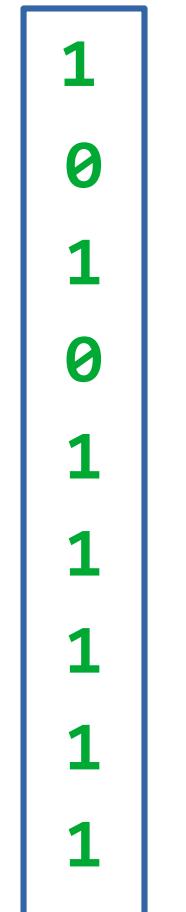
$$501_{10} = \underbrace{111110101}_2$$

Necessários
9 dígitos

ou

9 bits

$$\begin{array}{rcl} 501 & / & 2 = 250 \\ 250 & / & 2 = 125 \\ 125 & / & 2 = 62 \\ 62 & / & 2 = 31 \\ 31 & / & 2 = 15 \\ 15 & / & 2 = 7 \\ 7 & / & 2 = 3 \\ 3 & / & 2 = 1 \\ 1 & / & 2 = 0 \end{array}$$



Conversão de Base

1111110101_2 para base 10

$$\begin{array}{rcl} 1 & \times & 2^0 & \longrightarrow 1 \\ 0 & \times & 2^1 & \longrightarrow 0 \\ 1 & \times & 2^2 & \longrightarrow 4 \\ 0 & \times & 2^3 & \longrightarrow 0 \\ 1 & \times & 2^4 & \longrightarrow 16 \\ 1 & \times & 2^5 & \longrightarrow 32 \\ 1 & \times & 2^6 & \longrightarrow 64 \\ 1 & \times & 2^7 & \longrightarrow 128 \\ 1 & \times & 2^8 & \longrightarrow 256 \end{array}$$

501_{10}

Importância do Número de Bits



Importância do Número de Bits



Mas... o Hardware tem limitação, não o programador



- PITFALL (1982) Activision
- Atari 2600 (8 bits)
 - Memória RAM: 128 Bytes
 - Memória do Cartucho 4 KBytes
- Jogo tinha 256 telas com:
 - Cores
 - Inimigos
 - Cenário
 - Objetos
- David Crane usou 30 bytes
 - Aproximadamente 0.11 bytes por tela

Bases neste Curso

- Base 10 (Decimal)
- Base 2 (Binária)
- Base 8 (Octal)
- Base 16 (Hexadecimal)

Bases neste Curso

- Base 10 (Decimal)
- Base 2 (Binária)
- Base 8 (Octal)
- Base 16 (Hexadecimal)
- **Porquê? Se o computador funciona em binário?**
 - O programador utiliza usam outras bases como Octal ou Hexadecimal
 - Mais fácil para nós, meros mortais...
 - Exemplos no quadro
 - Conversão Octal
 - Conversão Hexadecimal