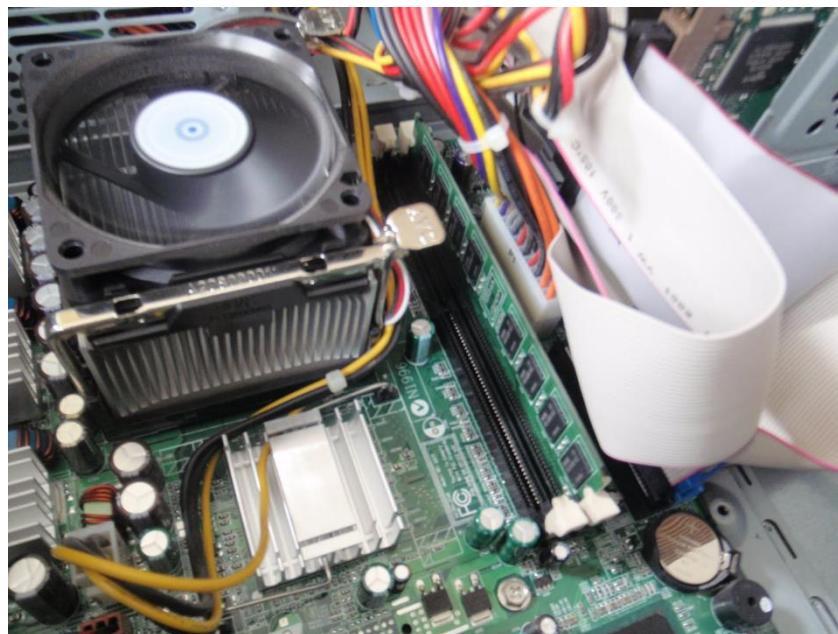




Sistemas Digitais (SD)

Introdução



■ Tema da aula de hoje:

▶ Motivação:

- O que é um Sistema Digital?
- Onde estão os Circuitos Digitais?
- Perspectiva histórica:
 - Dos primórdios da história até aos computadores de hoje
- De que é feito um computador?

▶ Sistemas Digitais:

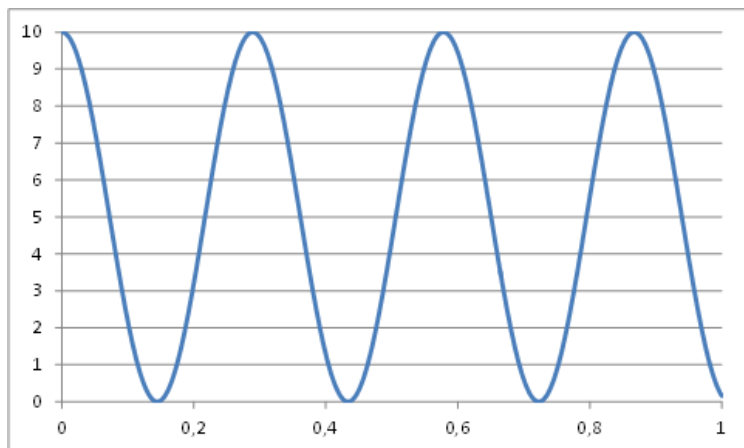
- Programa da cadeira
- Organização
- Corpo docente
- Planeamento
- Método de Avaliação
- Aulas Teóricas, Problemas e de Laboratório
- Bibliografia



MOTIVAÇÃO: O QUE É UM SISTEMA DIGITAL?

- **Um sistema que trabalha com sinais digitais!**
(em oposição aos sistemas analógicos, que trabalham com sinais analógicos)
- **Sinal analógico:**
 - ▶ Quantidade do mundo real medida continuamente no tempo
 - ▶ O valor medido pertence ao conjunto dos números reais
- **Sinal digital:**
 - ▶ Quantidade do mundo real medida em intervalos de tempo discretos
 - ▶ A medição (i.e., valor) pertence ao conjunto dos números racionais

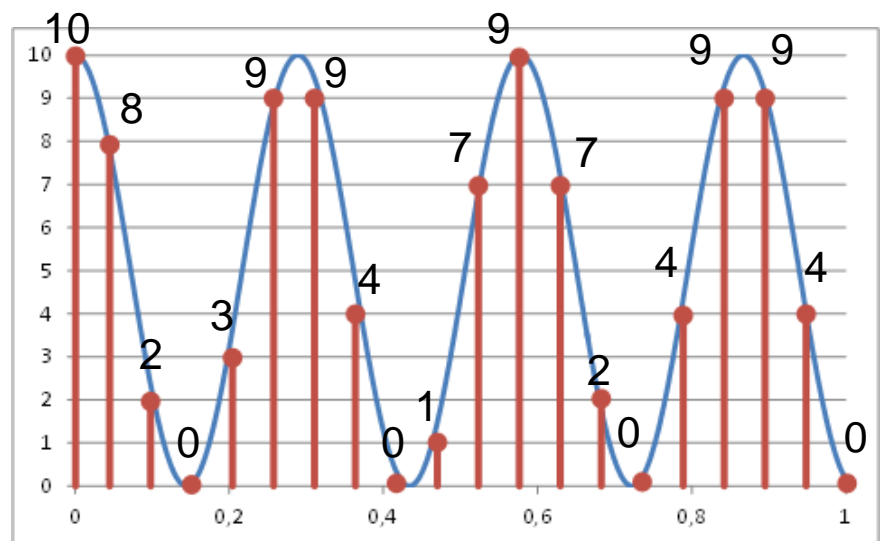
■ Sinal Analógico:



- ▶ Medido continuamente no tempo
- ▶ As medições são valores reais

■ Sinal Digital:

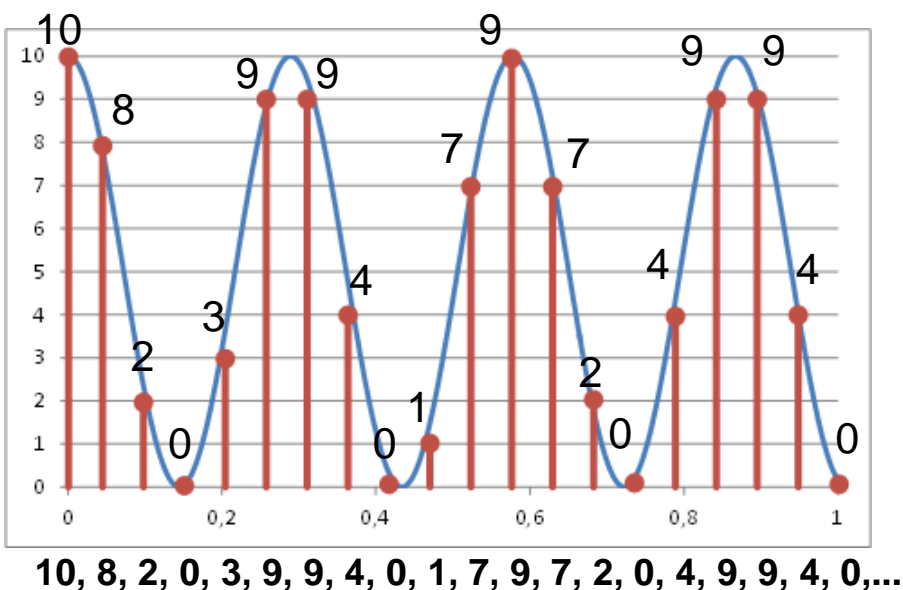
- ▶ Medições discretas com valores racionais



10, 8, 2, 0, 3, 9, 9, 4, 0, 1, 7, 9, 7, 2, 0, 4, 9, 9, 4, 0,...

■ Sinal Digital:

- ▶ Medições discretas com valores racionais



■ Mas...

Os computadores representam os sinais digitais apenas por 0's e 1's!





■ Porquê usar sinais digitais?

▶ Circuitos digitais são:

- Consideravelmente baratos
- Mais fáceis de desenhar que os circuitos analógicos
- Permitem realizar cálculos avançados
- Permitem guardar informação facilmente
- Insensíveis a ruído

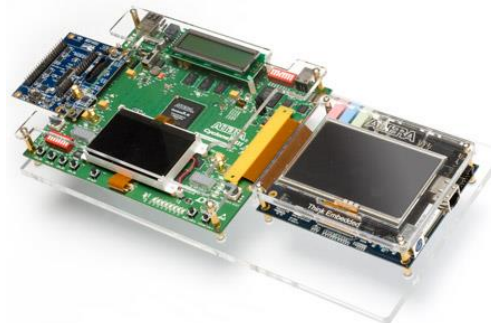


**ONDE ESTÃO OS
CIRCUITOS DIGITAIS ???**

■ Exemplos:



**Como chegámos
aqui?**



Dos primórdios da história...

... até aos computadores de hoje



Perspectiva Histórica

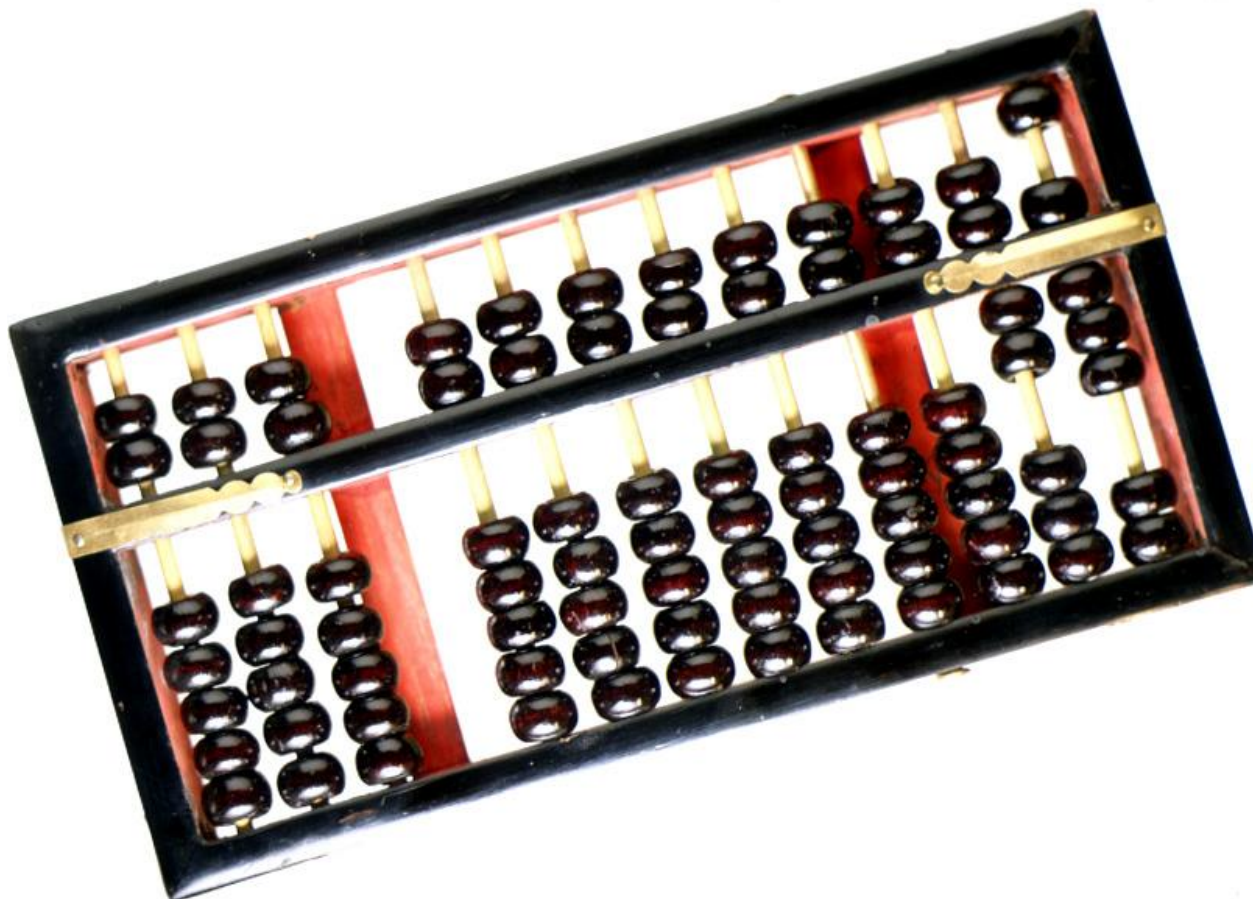




- **Marcos na Evolução dos Computadores:**

- ▶ 4000AC Babilónia Ábaco

- Ábaco (4000 AC)

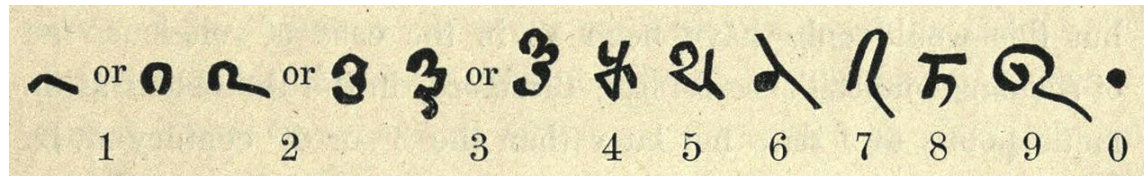




■ Marcos na Evolução dos Computadores:

- ▶ 4000AC Babilónia Ábaco
- ▶ 700 Índia Algarismos Indo-Arábicos

■ Algarismos Indo-Arábicos



Manuscrito de Bakhshali (Índia, séc. 3º DC - séc. 7º DC)



Muhammad ibn Mūsā al-Khwārizmī
(Persia; c. 780 – c. 850)



Papa Silvestre II
(Belliac, c. 946 – Roma, 12 de Maio de 1003)



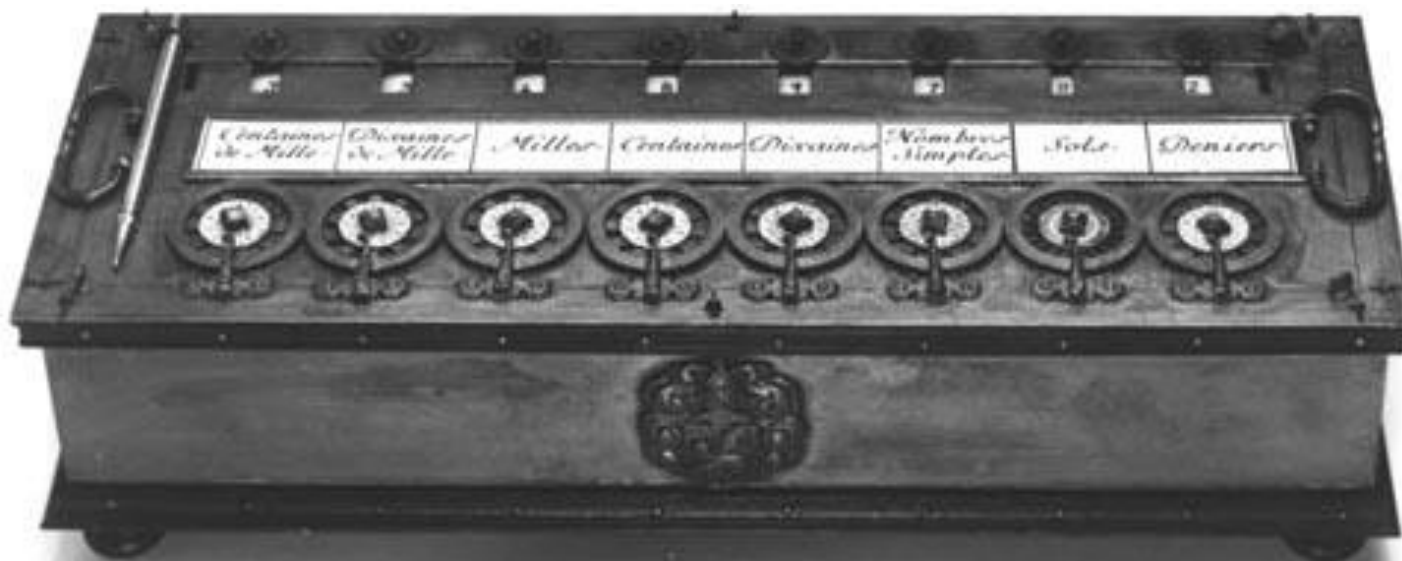
Leonardo Fibonacci
(Pisa; c. 1170 – c. 1250)



■ Marcos na Evolução dos Computadores:

- ▶ 4000AC Babilónia Ábaco
- ▶ 700 Índia Algarismos Indo-Arábicos
- ▶ 1642 Blaise Pascal Somador mecânico

- Somador mecânico (1642)



■ Marcos na Evolução dos Computadores:

- | | | |
|----------|---------------|---|
| ▶ 4000AC | Babilónia | Ábaco |
| ▶ 700 | Índia | Algarismos Indo-Arábicos |
| ▶ 1642 | Blaise Pascal | Somador mecânico |
| ▶ 1801 | J-M Jacquard | Máquina de tecer com padrões controlados por cartões perfurados |

- Máquina de tecer automática (1801)



PROBLEMA:

Gerou revoltas por perdas de postos de trabalho!!!

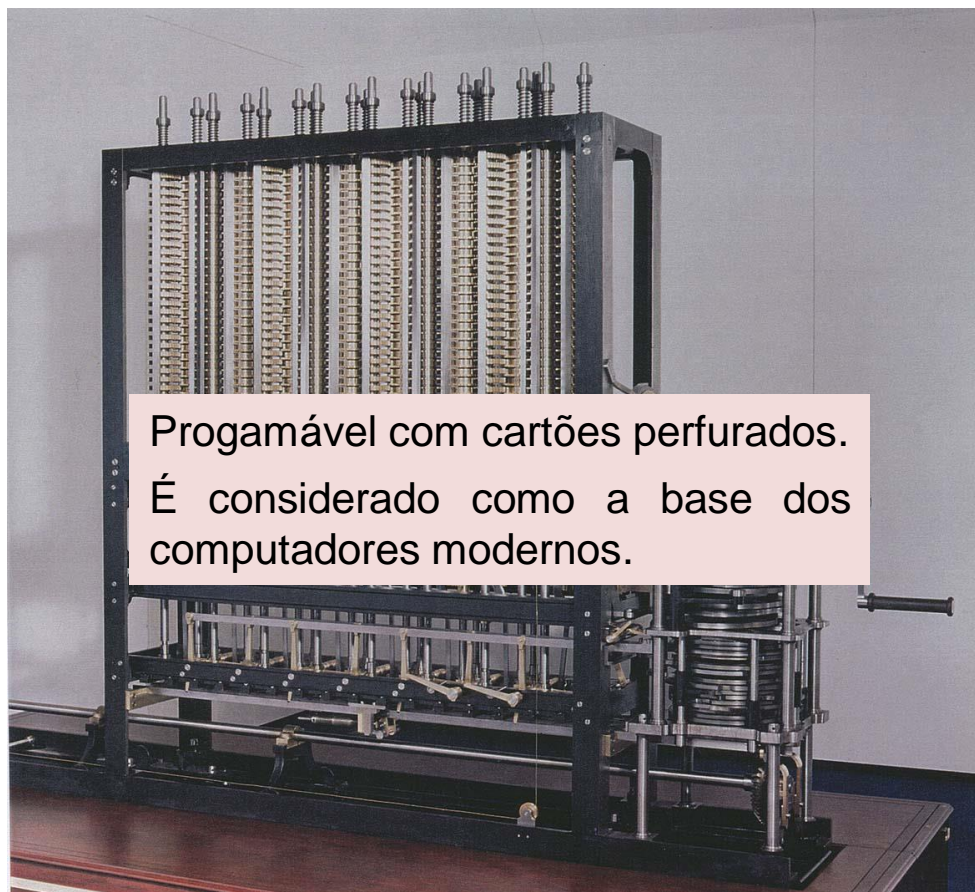
■ Marcos na Evolução dos Computadores:

- | | | |
|----------|-----------------|---|
| ▶ 4000AC | Babilónia | Ábaco |
| ▶ 700 | Índia | Algarismos Indo-Arábicos |
| ▶ 1642 | Blaise Pascal | Somador mecânico |
| ▶ 1801 | J-M Jacquard | Máquina de tecer com padrões controlados por cartões perfurados |
| ▶ 1833 | Charles Babbage | <i>Analytical Engine</i> : base dos computadores modernos |

Na prática...

Babbage começou por desenvolver o *Differential Engine*, que tinha como base um motor a vapor para calcular qualquer função que se pudesse representar por um polinómio. Tal como os sistemas anteriores, estava limitada a uma operação.

- *Analytical engine (1833)*



Progamável com cartões perfurados.
É considerado como a base dos computadores modernos.

■ *Ada Lovelace*



Filha de Lord Byron. Considerada a primeira programadora de computadores devido às suas anotações sobre uma descrição do Analytical Engine, em que explica como fazer um programa para calcular números de Bernoulli.

■ Marcos na Evolução dos Computadores:

- ▶ 4000AC Babilónia Ábaco
- ▶ 700 Índia Algarismos Indo-Arábicos
- ▶ 1642 Blaise Pascal Somador mecânico
- ▶ 1801 J-M Jacquard Máquina de tecer com padrões controlados por cartões perfurados
- ▶ 1833 Charles Babbage *Analytical Engine*: base dos computadores modernos
- ▶ 1854 George Boole Escreve *An Investigation to the Laws of Thought*, base dos sistemas lógicos

■ Marcos na Evolução dos Computadores:

- ▶ 4000AC Babilónia Ábaco
- ▶ 700 Índia Algarismos Indo-Arábicos
- ▶ 1642 Blaise Pascal Somador mecânico
- ▶ 1801 J-M Jacquard Máquina de tecer com padrões controlados por cartões perfurados
- ▶ 1833 Charles Babbage *Analytical Engine*: base dos computadores modernos
- ▶ 1854 George Boole Escreve *An Investigation to the Laws of Thought*, base dos sistemas lógicos
- ▶ 1904 Fleming & Forest Invenção da válvula de vácuo

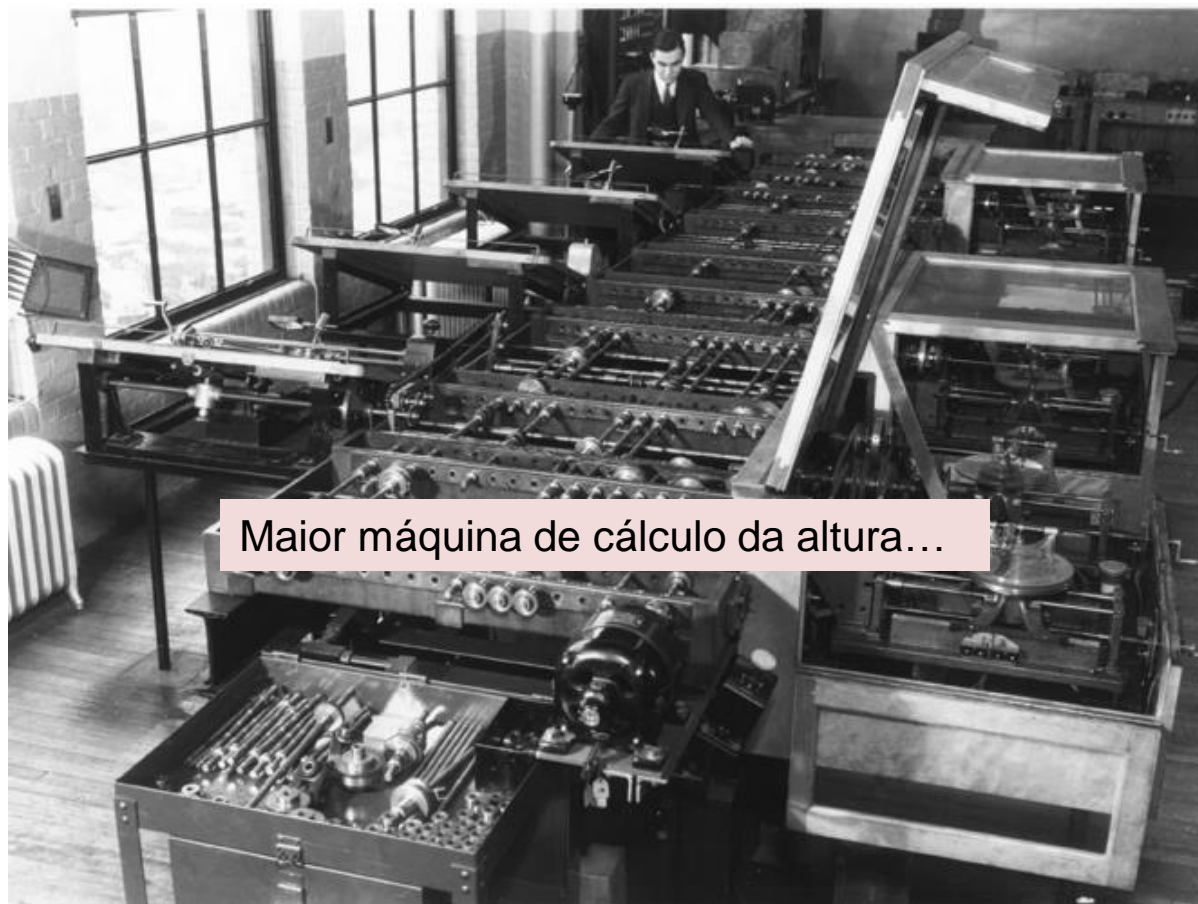
- **Válvula (1904)**



■ Marcos na Evolução dos Computadores:

- ▶ 4000AC Babilónia Ábaco
- ▶ 700 Índia Algarismos Indo-Arábicos
- ▶ 1642 Blaise Pascal Somador mecânico
- ▶ 1801 J-M Jacquard Máquina de tecer com padrões controlados por cartões perfurados
- ▶ 1833 Charles Babbage *Analytical Engine*: base dos computadores modernos
- ▶ 1854 George Boole Escreve *An Investigation to the Laws of Thought*, base dos sistemas lógicos
- ▶ 1904 Fleming & Forest Invenção da válvula de vácuo
- ▶ 1928 Vannevar Bush *Differential Analyzer*, sistema electro-mecânico para cálculo diferencial

- Differential Analyzer (1928)



Maior máquina de cálculo da altura...

■ Marcos na Evolução dos Computadores:

- ▶ 4000AC Babilónia Ábaco
- ▶ 700 Índia Algarismos Indo-Arábicos
- ▶ 1642 Blaise Pascal Somador mecânico
- ▶ 1801 J-M Jacquard Máquina de tecer com padrões controlados por cartões perfurados
- ▶ 1833 Charles Babbage *Analytical Engine*: base dos computadores modernos
- ▶ 1854 George Boole Escreve *An Investigation to the Laws of Thought*, base dos sistemas lógicos
- ▶ 1904 Fleming & Forest Invenção da válvula de vácuo
- ▶ 1928 Vannevar Bush *Differential Analyzer*, sistema electrónico para cálculo diferencial
- ▶ 1937 Alan Turing Escreve *On Computable Numbers*, modelo teórico para os computadores actuais

■ Primeiros computadores:

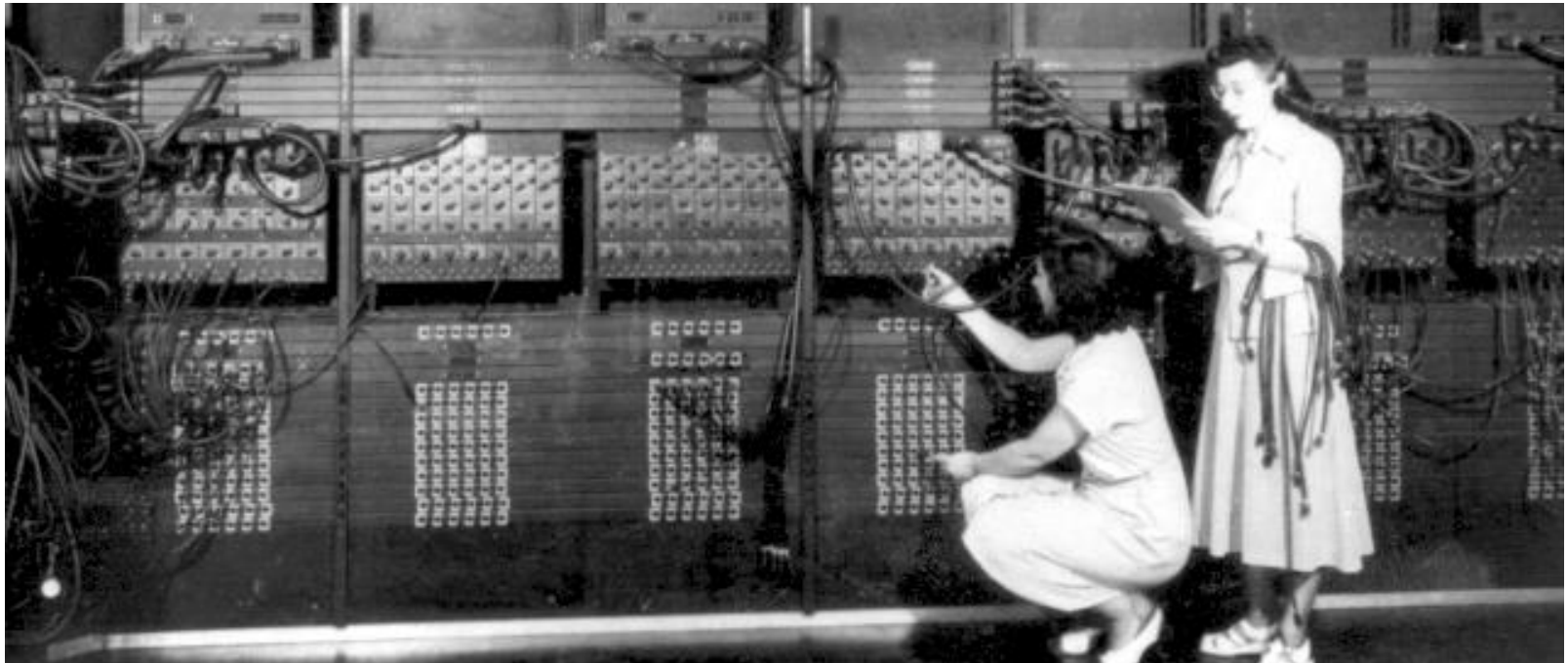
- ▶ 1938 Konrad Zuse Z1, Alemanha
- ▶ 1943 Betchley Park Colossus, Reino Unido
- ▶ 1944 Harvard Mark I, EUA
- ▶ 1945 Filadélfia ENIAC, EUA

- ENIAC (1945)



ENIAC funcionava a válvulas
Pesava 30 toneladas...

- Programação do ENIAC (1945)



■ Primeiros computadores:

- ▶ 1938 Konrad Zuse Z1, Alemanha
- ▶ 1943 Betchley Park Colossus, Reino Unido
- ▶ 1944 Harvard Mark I, EUA
- ▶ 1945 Filadélfia ENIAC, EUA
- ▶ 1945 Harvard Primeiro *bug*

■ Primeiro *Bug* documentado (1945)

92

9/9

0800 Antan started

1000 " stopped - antan ✓

1300 (033) MP-MC $\left. \begin{array}{l} 1.2700 \quad 9.037547025 \\ 2.130476915 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 9.037846995 \text{ correct} \\ 4.615925059(-2) \end{array}$

033) PRO 2 2.130476915


convert 2.130676915

Relays 6-2 in 033 failed special speed test in relay

Relays changed

1100 Started Cosine Tape (Sine check)

1525 Started Multi-Adder Test.

1545  Relay #70 Panel F (moth) in relay.

First actual case of bug being found.

1630 Antan started.

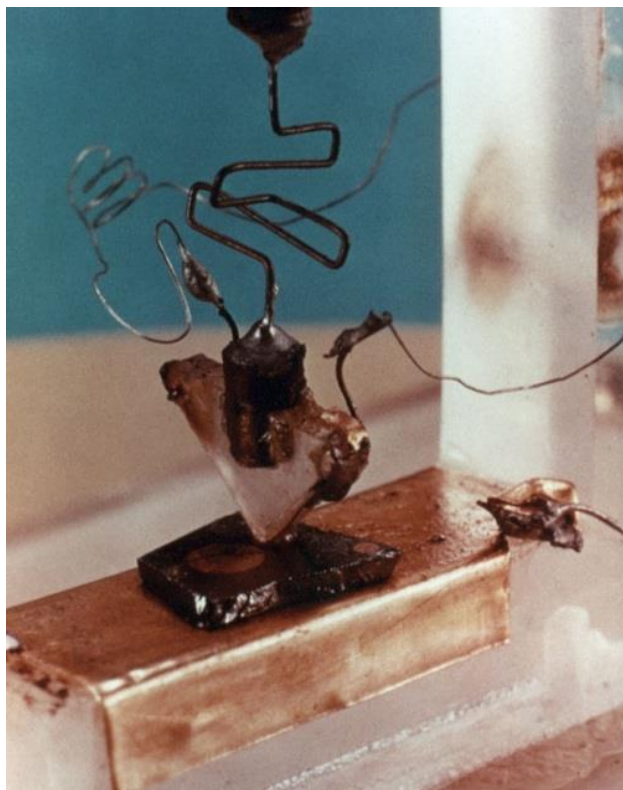
1700 closed down.

Relay #70

■ Primeiros computadores:

- ▶ 1938 Konrad Zuse Z1, Alemanha
- ▶ 1943 Betchley Park Colossus, Reino Unido
- ▶ 1944 Harvard Mark I, EUA
- ▶ 1945 Filadélfia ENIAC, EUA
- ▶ 1945 Harvard Primeiro *bug* documentado
- ▶ 1945 John von Neumann Conceito de programa em memória
- ▶ 1947 William Shockley Invenção do transistor

- Invenção do transistor (1947)



■ Primeiros computadores:

- ▶ 1938 Konrad Zuse Z1, Alemanha
- ▶ 1943 Betchley Park Colossus, Reino Unido
- ▶ 1944 Harvard Mark I, EUA
- ▶ 1945 Filadélfia ENIAC, EUA
- ▶ 1945 Harvard Primeiro *bug* documentado
- ▶ 1945 John von Neumann Conceito de programa em memória
- ▶ 1947 William Shockley Invenção do transistor
- ▶ 1951 UNIVAC UNIVAC I, Primeiro computador comercial

- UNIVAC I – Primeiro computador comercial (1951)



■ Primeiros computadores:

- ▶ 1938 Konrad Zuse Z1, Alemanha
- ▶ 1943 Betchley Park Colossus, Reino Unido
- ▶ 1944 Harvard Mark I, EUA
- ▶ 1945 Filadélfia ENIAC, EUA
- ▶ 1945 Harvard Primeiro *bug* documentado
- ▶ 1945 John von Neumann Conceito de programa em memória
- ▶ 1947 William Shockley Invenção do transistor
- ▶ 1951 UNIVAC UNIVAC I, Primeiro computador comercial
- ▶ 1956 RAMAC Primeiro disco rígido
- ▶ 1958 Kilby & Noyce Invenção do circuito integrado
- ▶ 1960 DEC PDP-1, primeiro computador comercial com teclado e monitor

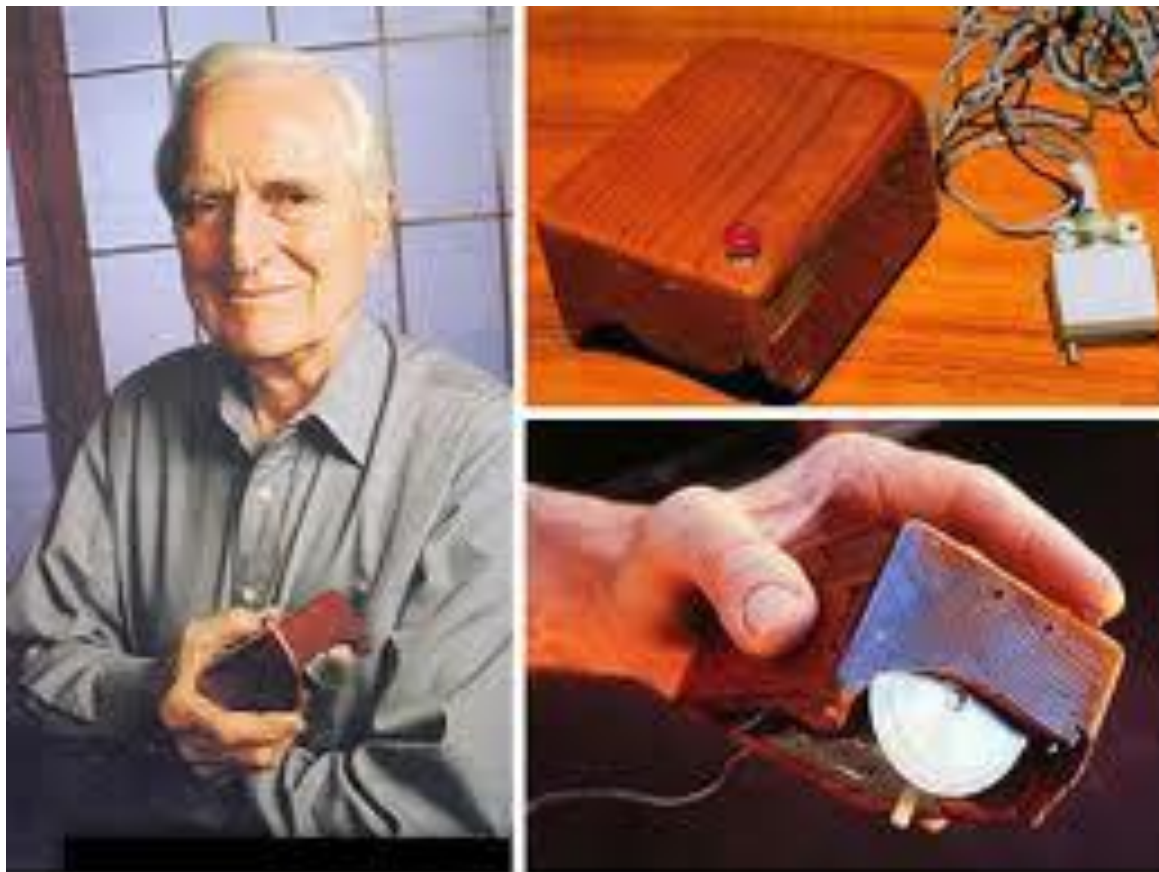
- **PDP-1 (1960)**



■ Primeiros computadores:

- ▶ 1938 Konrad Zuse Z1, Alemanha
- ▶ 1943 Betchley Park Colossus, Reino Unido
- ▶ 1944 Harvard Mark I, EUA
- ▶ 1945 Filadélfia ENIAC, EUA
- ▶ 1945 Harvard Primeiro *bug* documentado
- ▶ 1945 John von Neumann Conceito de programa em memória
- ▶ 1947 William Shockley Invenção do transistor
- ▶ 1951 UNIVAC UNIVAC I, Primeiro computador comercial
- ▶ 1956 RAMAC Primeiro disco rígido
- ▶ 1958 Kilby & Noyce Invenção do circuito integrado
- ▶ 1960 DEC PDP-1, primeiro computador comercial com teclado e monitor
- ▶ 1964 Douglas Engelbart Invenção do rato

- Primeiro rato (1964)





■ Primeiros processadores/computadores:

- ▶ 1971 Intel 4004, microprocessador de 4 bits
- ▶ 1972 Intel 8008, microprocessador de 8 bits
- ▶ 1974 Motorola 6800, microprocessador de 8 bits
- ▶ 1974 Intel 8080, 1º microprocessador com grande procura
- ▶ 1975 Altair Altair 8800, primeiro computador pessoal

- Altair 8800 (1975)



Não tinha monitor nem teclado...
256 bytes de RAM !!!

■ Primeiros processadores/computadores:

- ▶ 1971 Intel 4004, microprocessador de 4 bits
- ▶ 1972 Intel 8008, microprocessador de 8 bits
- ▶ 1974 Motorola 6800, microprocessador de 8 bits
- ▶ 1974 Intel 8080, 1º microprocessador com grande procura
- ▶ 1975 Altair Altair 8800, primeiro computador pessoal
- ▶ 1976 Apple Apple II é lançado

- Apple II (1976)



■ Primeiros processadores/computadores:

- ▶ 1971 Intel 4004, microprocessador de 4 bits
- ▶ 1972 Intel 8008, microprocessador de 8 bits
- ▶ 1974 Motorola 6800, microprocessador de 8 bits
- ▶ 1974 Intel 8080, 1º microprocessador com grande procura
- ▶ 1975 Altair Altair 8800, primeiro computador pessoal
- ▶ 1976 Apple Apple II é lançado
- ▶ 1978 Intel 8086/8088, microprocessador de 16 bits
- ▶ 1979 Motorola 68000, microprocessador de 16 bits
- ▶ 1981 IBM Lançamento do PC

- **IBM PC (1981)**



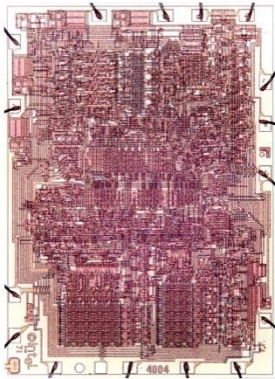
■ Primeiros processadores/computadores:

- ▶ 1971 Intel 4004, microprocessador de 4 bits
- ▶ 1972 Intel 8008, microprocessador de 8 bits
- ▶ 1974 Motorola 6800, microprocessador de 8 bits
- ▶ 1974 Intel 8080, 1º microprocessador com grande procura
- ▶ 1975 Altair Altair 8800, primeiro computador pessoal
- ▶ 1976 Apple Apple II é lançado
- ▶ 1978 Intel 8086/8088, microprocessador de 16 bits
- ▶ 1979 Motorola 68000, microprocessador de 16 bits
- ▶ 1981 IBM Lançamento do PC
- ▶ 1982 Sinclair ZX Spectrum, 1º computador de baixo custo com grande procura (UK)

- ZX Spectrum (1982)



■ Layout de processadores da INTEL:

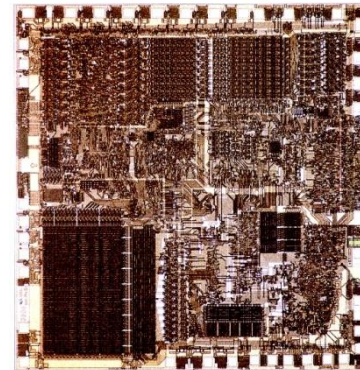


INTEL 4004

Ano: 1971

Freq.: 108 kHz

2.300 Trans.

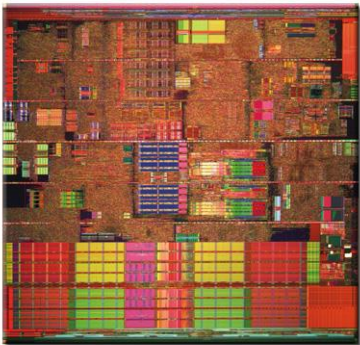


INTEL 8086

Ano: 1978

Freq.: 5 MHz

29.000 Trans.

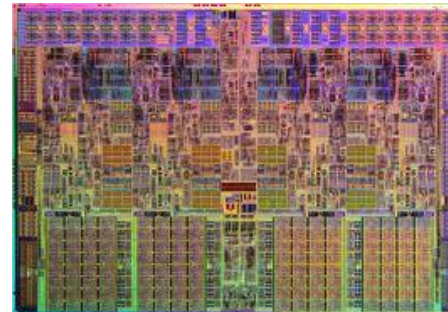


INTEL Pentium 4

Ano: 2000

Freq.: 1,5 GHz

42.000.000 Trans.



INTEL Core i7 (quad)

Ano: 2008

Freq.: 3 GHz

731.000.000 Trans.

■ Circuitos integrados processadores da INTEL:



INTEL 4004

Ano: 1971
Freq.: 108 kHz
2.300 Trans.



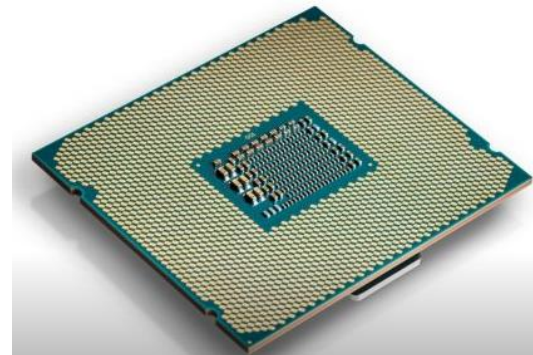
INTEL 8086

Ano: 1978
Freq.: 5 MHz
29.000 Trans.



INTEL Pentium 4

Ano: 2000
Freq.: 1,5 GHz
42.000.000 Trans.



INTEL Core i9 (deca)

Ano: 2017
Freq.: 5 GHz
1.736.000.000 Trans.

- D-Wave 2X (2015)



■ Frases famosas:

- ▶ *“Everything that can be invented has been invented.”*

Charles H. Duel, US Commissioner of Patents, 1899

- ▶ *“I think there is a world market for maybe five computers.”*

Thomas Watson, chairman of IBM, 1943

- ▶ *“Computers in the future may weigh no more than 1.5 tons.”*

Popular Mechanics, 1949

- ▶ *“There is no reason anyone would want a computer in their home.”*

Ken Olson, president, chairman and founder of DEC, 1977

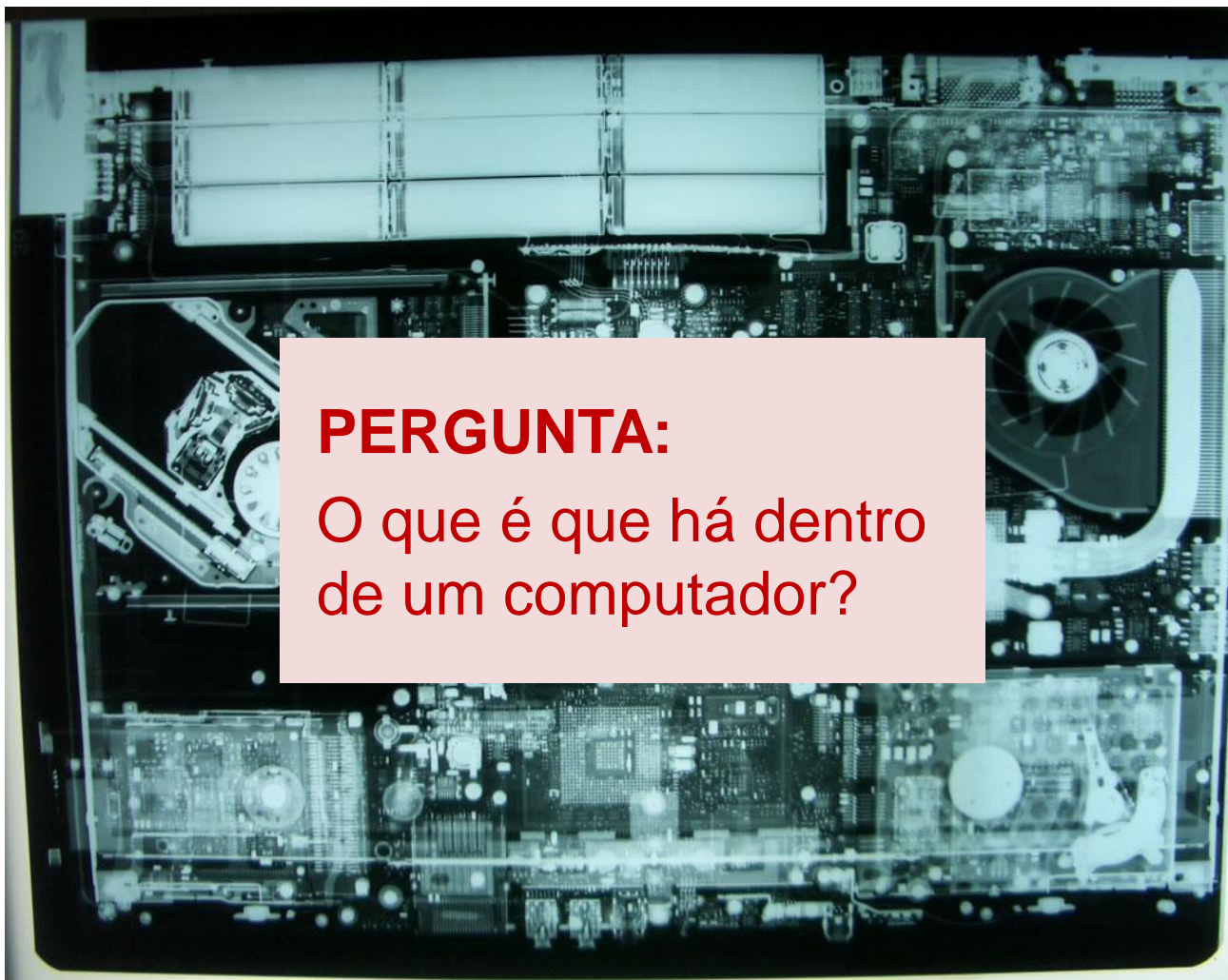
- ▶ *“640K ought to be enough for anybody.”*

Bill Gates, 1981

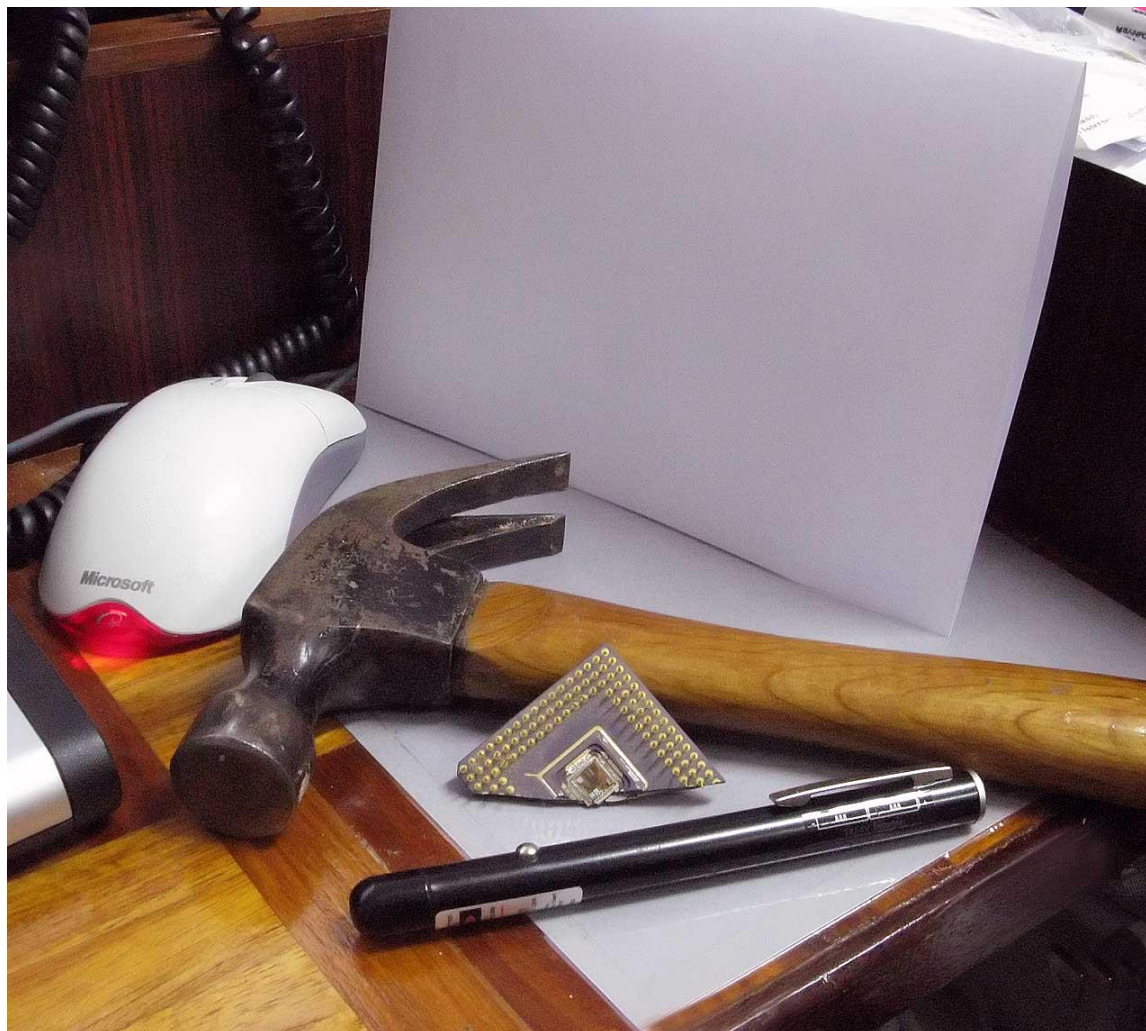


DE QUE É FEITO UM COMPUTADOR ?

De que é feito um computador ?



De que é feito um computador ?

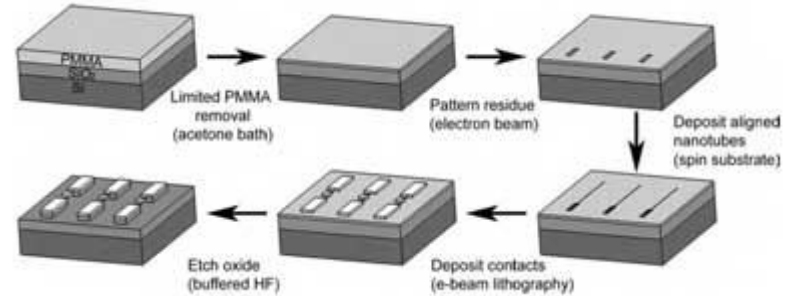


De que é feito um Computador?

Metal + óxido + silício



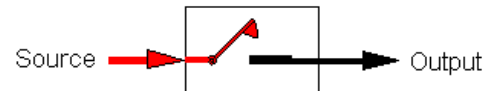
Material semi-condutor organizado em estruturas específicas



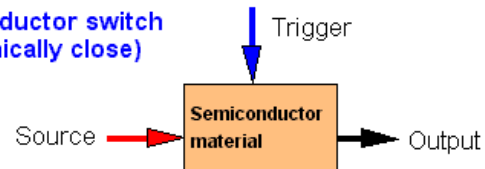
As estruturas formam interruptores:
ON – conduz corrente eléctrica
OFF – não conduz corrente eléctrica



Mechanical switch
(manually close)

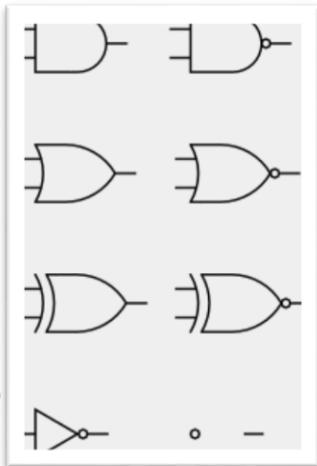


Semiconductor switch
(electronically close)



Exemplo:
0 – OFF – Não conduz
1 – ON – Conduz

Base dos sistemas digitais

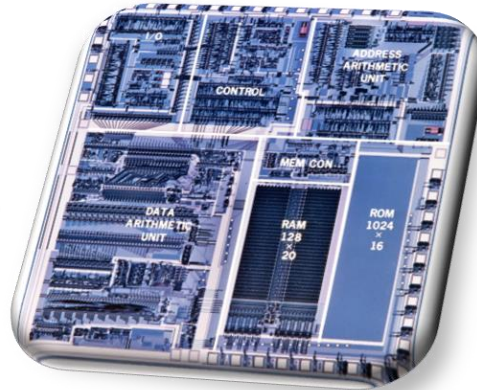
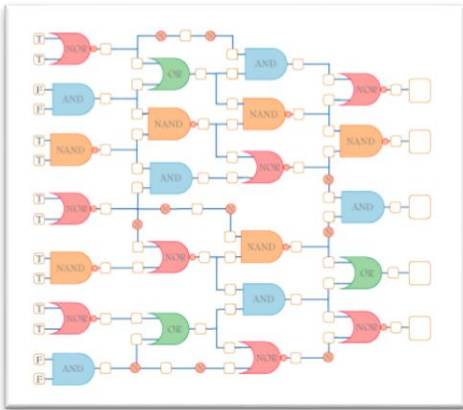


Portas lógicas

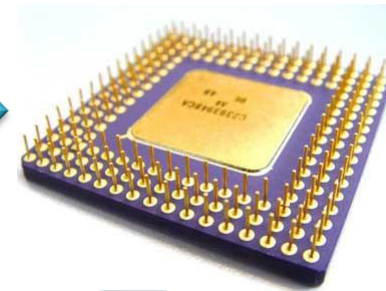


De que é feito um Computador?

Circuito combinatório



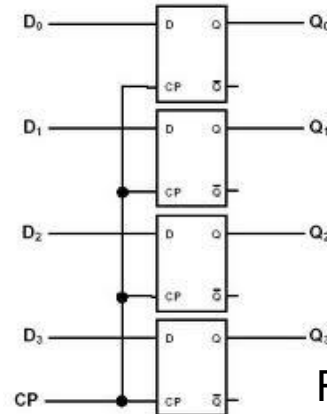
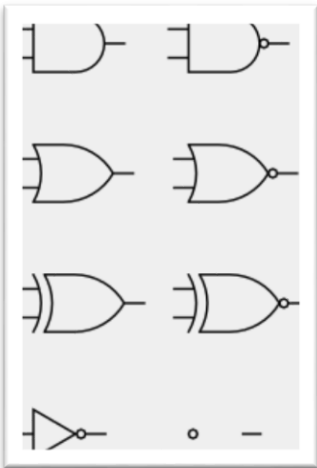
Sistemas digitais
Ex.: microprocessador



Placas de circuito impresso (PCB)



Base dos sistemas digitais



Registos (memória)

De que é feito um Computador?





SISTEMAS DIGITAIS

■ Programa da Disciplina:

- ▶ Como se representam números em binário, i.e., só com zeros e uns?
- ▶ Como se realizam cálculos em binário?
- ▶ O que são portas lógicas?
- ▶ O que são circuitos combinatórios e sequenciais?
- ▶ Como desenhar circuitos combinatórios e sequenciais?
- ▶ Como se usam os circuitos combinatórios e sequenciais para realizar operações?
- ▶ Como se desenham memórias?
- ▶ Como se desenham sistemas digitais?

- **Aulas teóricas: 2x por semana**

- **Aulas de problemas: 1x, semana sim, semana não**
 - ▶ As aulas de problemas que ocorrerem em feriados não serão leccionadas; os alunos devem, nessa semana apenas, frequentar outra aula de problemas.

- **Aulas laboratoriais: 1x, semana sim, semana não**
 - ▶ As aulas de laboratório que ocorrerem em feriados serão re-marcadas pelo docente de laboratório para outro dia.
 - ▶ As aulas de laboratório são obrigatórias.

	Aulas Teóricas	Aulas Problemas	Aulas Laboratório
António Grilo (Responsável MEFT/MEAer)	●	●	
Francisco Garcia			●
Ruben Afonso			●
Vasco Candeias			●

Os horários de dúvidas, assim como o local de esclarecimento de dúvidas, serão afixados na página da unidade curricular.



SEMANA	TEÓRICA 1	TEÓRICA 2	PROBLEMAS/LABORATÓRIO
17/Fev a 21/Fev	Introdução	Sistemas de Numeração	
24/Fev a 28/Fev	CARNAVAL	Álgebra de Boole	P0
02/Mar a 06/Mar	Elementos de Tecnologia	Funções Lógicas	VHDL
9/Mar a 13/Mar	Minimização de Funções	Minimização de Funções	L0
16/Mar a 20/Mar	Def. Circuito Combinatório; Análise Temporal	Circuitos Combinatórios	P1
23/Mar a 27/Mar	Circuitos Combinatórios	Circuitos Combinatórios	L1
30/Mar a 03/Abr	Circuitos Sequenciais: Latches	Circuitos Sequenciais: Flip-Flops	P2
06/Abr a 10/Abr	FÉRIAS DA PÁScoa	FÉRIAS DA PÁScoa	FÉRIAS DA PÁScoa
13/Abr a 17/Abr	Caracterização Temporal	Registos	L2
20/Abr a 24/Abr	Contadores	Circuitos Sequenciais Síncronos	P3
27/Abr a 01/Mai	Síntese de Circuitos Sequenciais Síncronos	Síntese de Circuitos Sequenciais Síncronos	L3
04/Mai a 08/Mai	Exercícios	Memórias	P4
11/Mai a 15/Mai	Máq. Estado Microprogramadas: Circuito de Dados e Circuito de Controlo	Máq. Estado Microprogramadas: Microprograma	L4
18/Mai a 22/Mai	Circuitos de Controlo, Transferência e Processamento de Dados de um Processador	Lógica Programável	P5
25/Mai a 29/Mai	P6	P6	L5

Teste 1

- A avaliação em Sistemas Digitais tem 2 componentes:
 - ▶ Componente Teórica (60%)
 - ▶ Componente Laboratorial (40%)
- Para aprovação na disciplina é necessária aprovação (nota não inferior a 9,5 valores) em cada uma das 2 componentes, teórica e laboratorial.
- Apuramento da nota final:
$$0.6 * \text{Avaliação Teórica} + 0.4 * \text{MIN}(\text{Avaliação Teórica} + 2, \text{Avaliação Laboratorial})$$

■ Componente Teórica (60%)

- ▶ A nota teórica é determinada pelo máximo entre a nota no exame e a média de 2 testes:
 - 1º teste decorre a meio do semestre (6 de Maio);
 - 2º teste decorre em simultâneo com o exame: os alunos podem decidir se querem fazer o 2º teste (contando assim a nota do 1º teste), ou se querem fazer exame (abdicando, assim, da nota do 1º teste);
- ▶ Na época de recurso apenas têm a possibilidade de fazer um exame, que poderá ser aproveitado para melhoria de nota;
- ▶ Apuramento da nota da componente teórica:
$$\max[\text{media}(\text{teste1}+\text{teste2}) ; \text{exame} ; \text{exame_recurso}]$$
- ▶ Nota mínima: 9.5

■ Componente Laboratorial (40%)

- ▶ A nota do laboratório é determinada pela média de 5 trabalhos laboratoriais, tem como tecto a nota teórica +2;
- ▶ Grupos de 2 alunos;
- ▶ **Os alunos devem levar a preparação de casa em papel para a sessão de laboratório para eventual consulta por parte do docente.**
- ▶ O **relatório final** é entregue no laboratório;
- ▶ A nota de cada aula de laboratório tem em conta o seguinte:
 - Preparação + Ficha de Resposta
 - Desempenho no laboratório
- ▶ A não realização do trabalho implica uma classificação nula. Excepcionalmente, no caso de haver uma justificação válida (i.e., de acordo com os regulamentos do IST), o trabalho de laboratório pode ser realizado noutra turma de laboratório (condicionado à existência de vagas).
- ▶ Nota mínima na componente laboratorial: 9.5

■ Componente Laboratorial (cont.)

▶ Repetentes:

- Os alunos que já obtiveram aprovação na componente laboratorial nos 2 anos anteriores (2017/18 e 2018/2019) estão dispensados desta componente e mantêm a nota obtida anteriormente.
- Os alunos que já obtiveram aprovação na componente laboratorial só podem frequentar o laboratório para melhoria de nota se aceitarem a anulação da nota anterior e houver espaço disponível.



Apenas neste caso:

- Enviar email até ao dia **28 de Fevereiro** para antonio.m.r.c.grilo@tecnico.ulisboa.pt ,
dando conta da intenção de fazer a melhoria de nota;
- Será dada prioridade aos alunos que tenham tido as notas mais baixas.

■ Localização



■ Localização

- ▶ Rua Alves Redol, N° 9



- **Aulas de Problemas:**

- ▶ Funcionam em regime alternado com os laboratórios.
- ▶ Servem de preparação para os testes.

■ Arredondamento

- ▶ 9,45 arredonda para... 9 !!!

■ Conhecimentos mínimos:

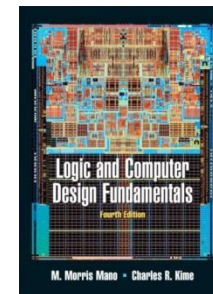
- ▶ Obter um 10 não é recomendável!!! As competências podem ser necessárias em unidades curriculares futuras (ex.: Microcontroladores).

■ Aulas teóricas e práticas:

- ▶ As aulas teóricas e práticas não são obrigatórias...
... mas são **muito** recomendáveis!!!

■ Principal:

- ▶ **Introdução à Arquitectura de Computadores**, Guilherme Arroz, José Monteiro, e Arlindo Oliveira, IST Press, 2009
- ▶ **Logic and Computer Design Fundamentals**, Morris Mano, Charles Kime, Pearson Prentice-Hall, 2008



■ Secundária:

- ▶ **Sistemas Digitais: Apontamentos das Aulas Teóricas**, Guilherme Arroz, Carlos Sêro, 2005, IST (disponível na página da cadeira)
- ▶ **Sistemas Digitais: Problemas resolvidos e propostos**, Guilherme Arroz, 2004, AEIST (disponível na página da cadeira)
- ▶ **Sistemas digitais: Fundamentos algébricos**, Carlos Sêro, 2003, IST Press



PRÓXIMA AULA



■ Tema da Próxima Aula:

- ▶ Sistemas de numeração
 - Base 10
 - Base 2
 - Base 8 e 16
- ▶ Operações aritméticas básicas
- ▶ Mudança de sistema de numeração
- ▶ Códigos

Agradecimentos

Algumas páginas desta apresentação resultam da compilação de várias contribuições produzidas por:

- Nuno Roma
- Guilherme Arroz
- Horácio Neto
- Nuno Horta
- Pedro Tomás