

ARQUITECTURA E SISTEMAS DE COMPUTADORES

#2 – Conceitos introdutórios. Lei de Moore e Lei de Amdahl.
Avaliação e medição do desempenho de computadores.

Sérgio I. Lopes | sil@estg.ipvc.pt

MICROPROCESSADORES INTEL

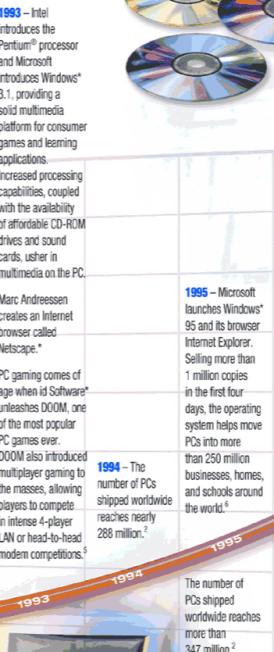
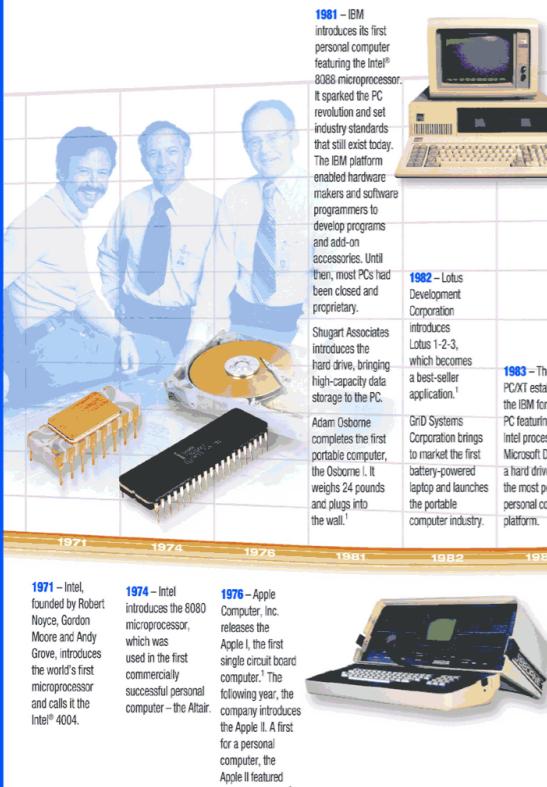
EVOLUÇÃO

revolution in evolution

Highlights from the Journey to 1 Billion PCs



1,000,000,000
900,000,000
800,000,000
700,000,000
600,000,000
500,000,000
400,000,000
300,000,000
200,000,000
100,000,000



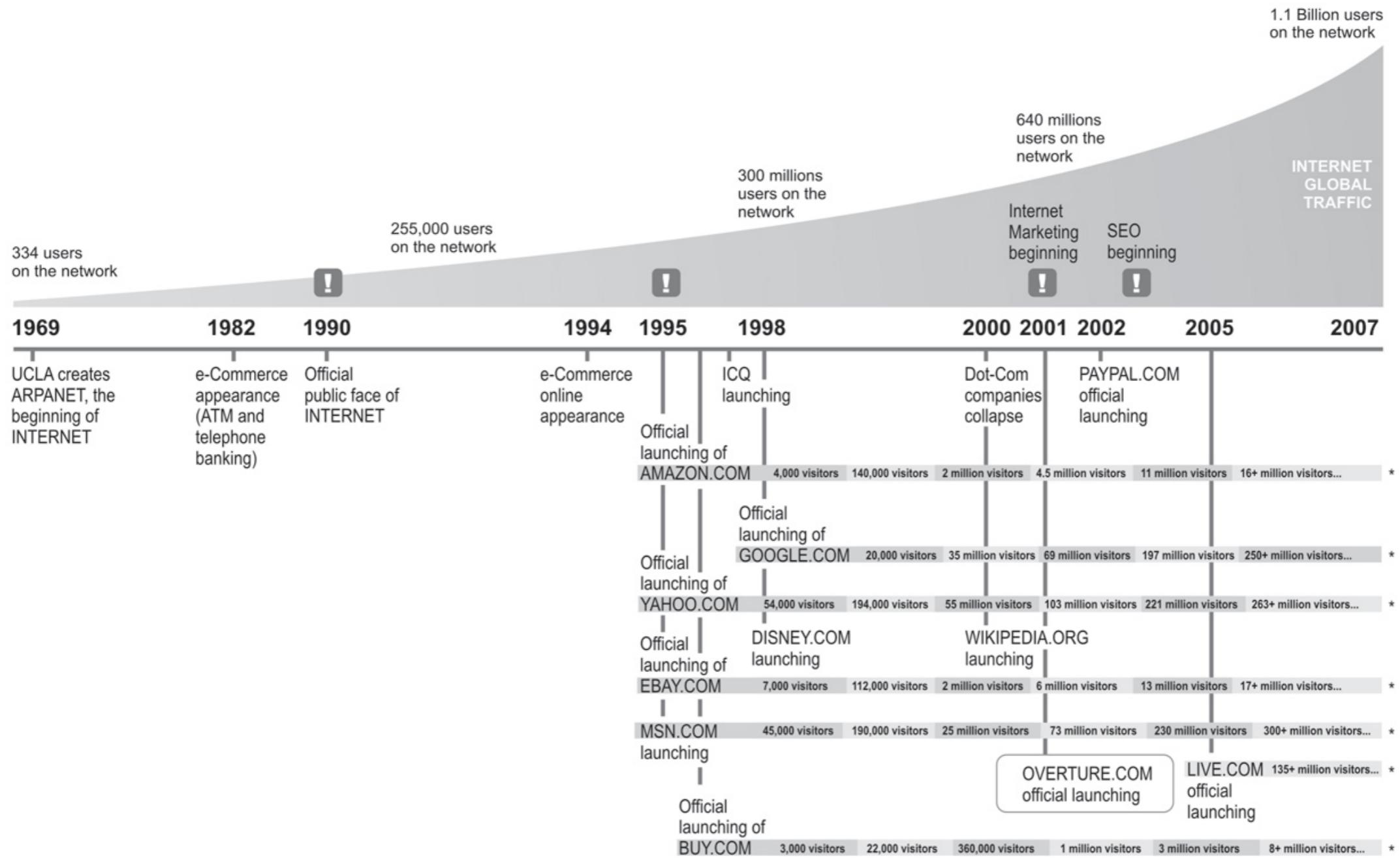
For more information, please visit <http://www.intel.com>

¹www.inventors.about.com
²Gartner Dataquest
³www.pbs.org/internet/timeline
⁴www.discosat.com/cd/d
⁵www.idsoftware.com
⁶www.microsoft.com
⁷Consumer Electronics Association

⁸www.radios.com (Dow Jones News Service 11/06/96)
⁹PBS.org Internet Timeline
¹⁰www.napster.com
¹¹US News & World Report, 3/22/99
¹²Netscape Internet Surveys, 12/00
¹³Nielsen NetRatings, "Half Billion Can Surf From Home," Reuters 3/02

Source: <http://anddum.com/timeline/timelinepics/inteltimeline.gif>

EVOLUÇÃO INTERNET



* User traffic calculation per day

Source: http://anddum.com/timeline/history_short.htm#top



1,000,000,000
transistors



- Gordon E. Moore foi co-fundador da Intel em 1968
- Em 1965 G. E. Moore observou que o número de transístores dobrava a cada dois anos passados. [[link](#) para o artigo]
- Esta observação ficou conhecida como a lei de Moore.
- [Link](#) para a Timeline da Lei de Moore

LEI DE MOORE (2)

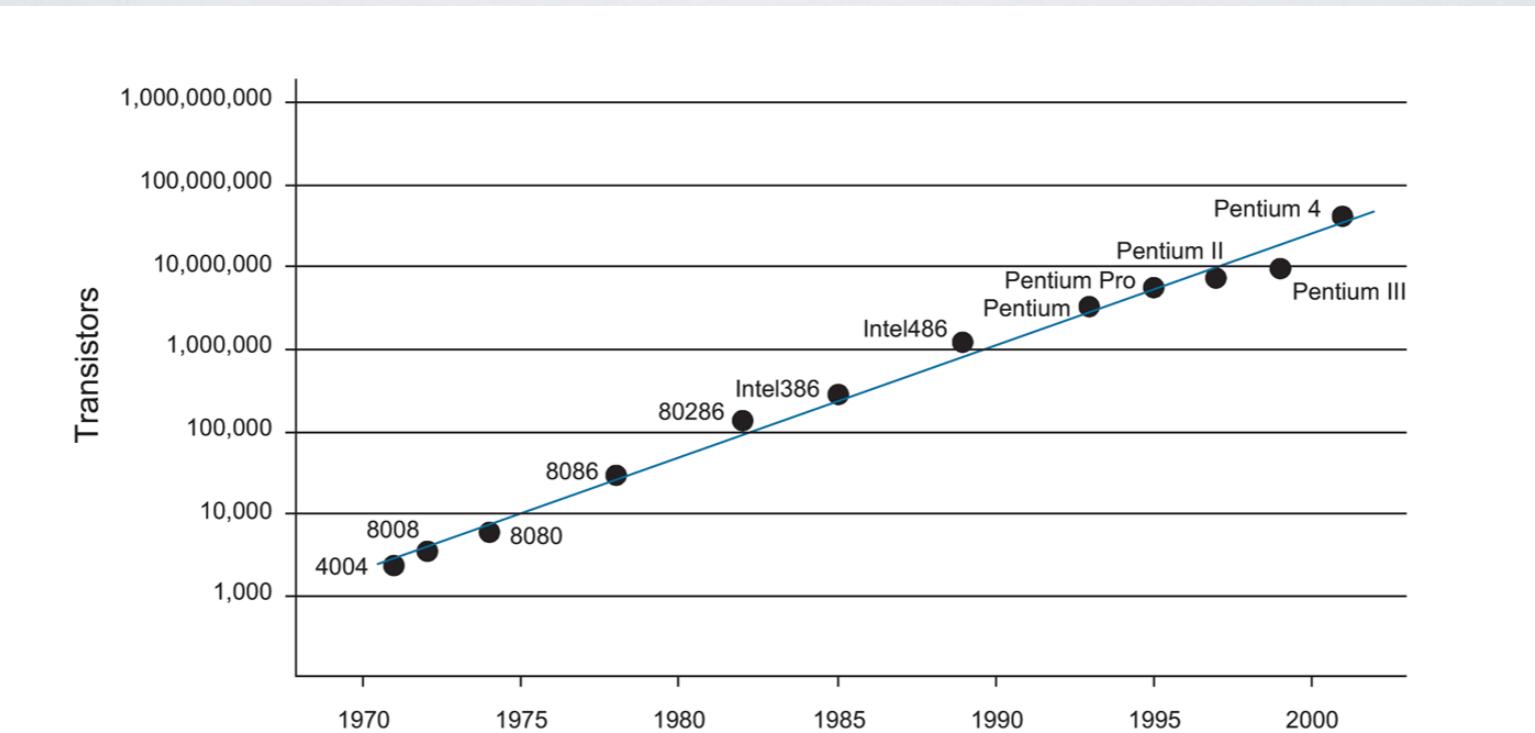


Table 4.19 History of Intel microprocessors over three decades

Processor	Year	Feature Size (μm)	Transistors	Frequency (MHz)	Word size	Package
4004	1971	10	2.3k	0.75	4	16-pin DIP
8008	1972	10	3.5k	0.5-0.8	8	18-pin DIP
8080	1974	6	6k	2	8	40-pin DIP
8086	1978	3	29k	5-10	16	40-pin DIP
80286	1982	1.5	134k	6-12	16	68-pin PGA
Intel386	1985	1.5-1.0	275k	16-25	32	100-pin PGA
Intel486	1989	1-0.6	1.2M	25-100	32	168-pin PGA
Pentium	1993	0.8-0.35	3.2-4.5M	60-300	32	296-pin PGA
Pentium Pro	1995	0.6-0.35	5.5M	166-200	32	387-pin MCM PGA
Pentium II	1997	0.35-0.25	7.5M	233-450	32	242-pin SECC
Pentium III	1999	0.25-0.18	9.5-28M	450-1000	32	330-pin SECC2
Pentium 4	2001	0.18-0.13	42-55M	1400-3200	32	478-pin PGA

A REVOLUÇÃO INFORMÁTICA

- Progresso nas tecnologias de computadores:
 - Tese sustentada pela lei de Moore
 - E pelo aparecimento de novas aplicações:
 - Indústria automóvel
 - Smartphones/tablets
 - World Wide Web
 - Wearables

>>>Computadores tornaram-se omnipresentes<<<

CLASSES DE COMPUTADORES

- Computadores Pessoais (PC)
 - Uso geral, variedade de software
 - Sujeito ao compromisso custo/desempenho
- Servidores
 - Operam em rede
 - Elevada capacidade, desempenho e fiabilidade.

CLASSES DE COMPUTADORES

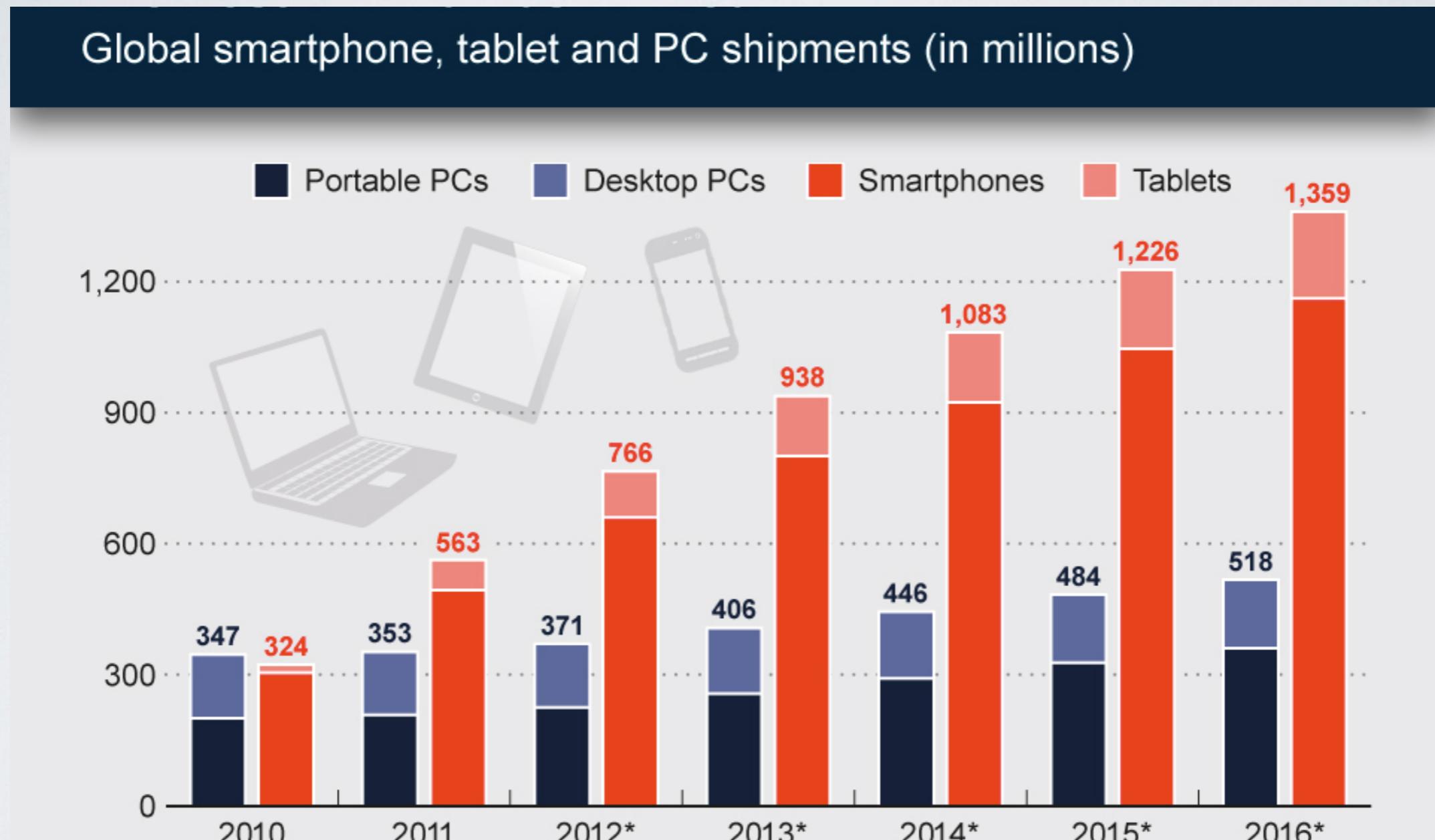
- Supercomputadores
 - Utilizados para cálculos científicos complexos.
 - Maior capacidade, mas representam uma pequena fração do mercado geral do computador
- Computadores Embebidos
 - Agrupados como componentes de sistemas
 - Relação consumo/desempenho/custo muito rigorosa.

A ERA PÓS-PC



Cloud Computing!
Personal Mobile
Devices (PMD)

A ERA PÓS-PC



O QUE É SUPOSTO FICAR A SABER?

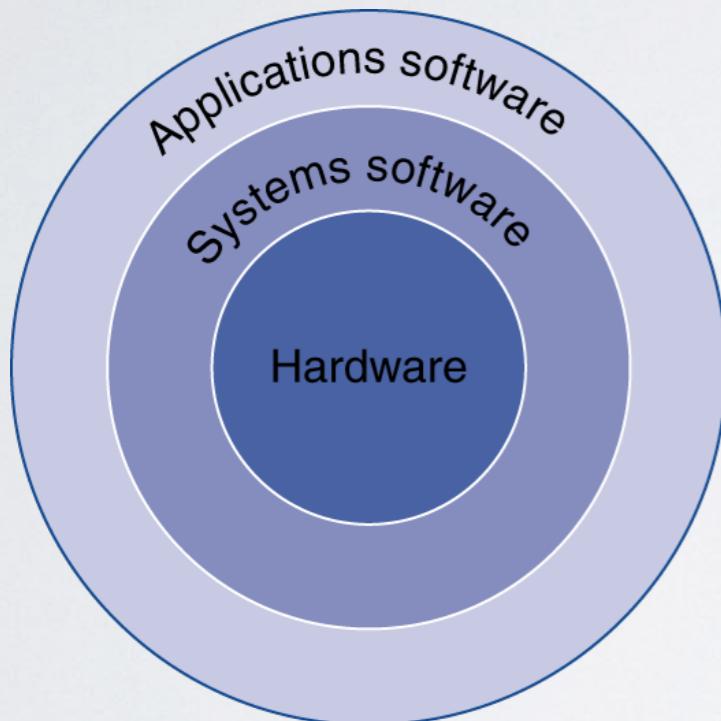
- Como é que os programas são traduzidos em código máquina
 - E como o hardware executa esse código
- Como é feito o interface hardware/software
- O que determina o desempenho de um programa
 - E como o podemos melhorar
- Como é que o projeto do hardware pode melhorar o desempenho
- O que é processamento paralelo

8 CONCEITOS IMPORTANTES

- Projetar de acordo com a Lei de Moore
- Abstração permite simplificar o design
- Tornar o caso comum mais rápido
- Melhor desempenho : paralelismo
- Melhor desempenho : pipelining
- Melhor desempenho : predição
- Hierarquia de memórias
- Fiabilidade através da utilização de redundância



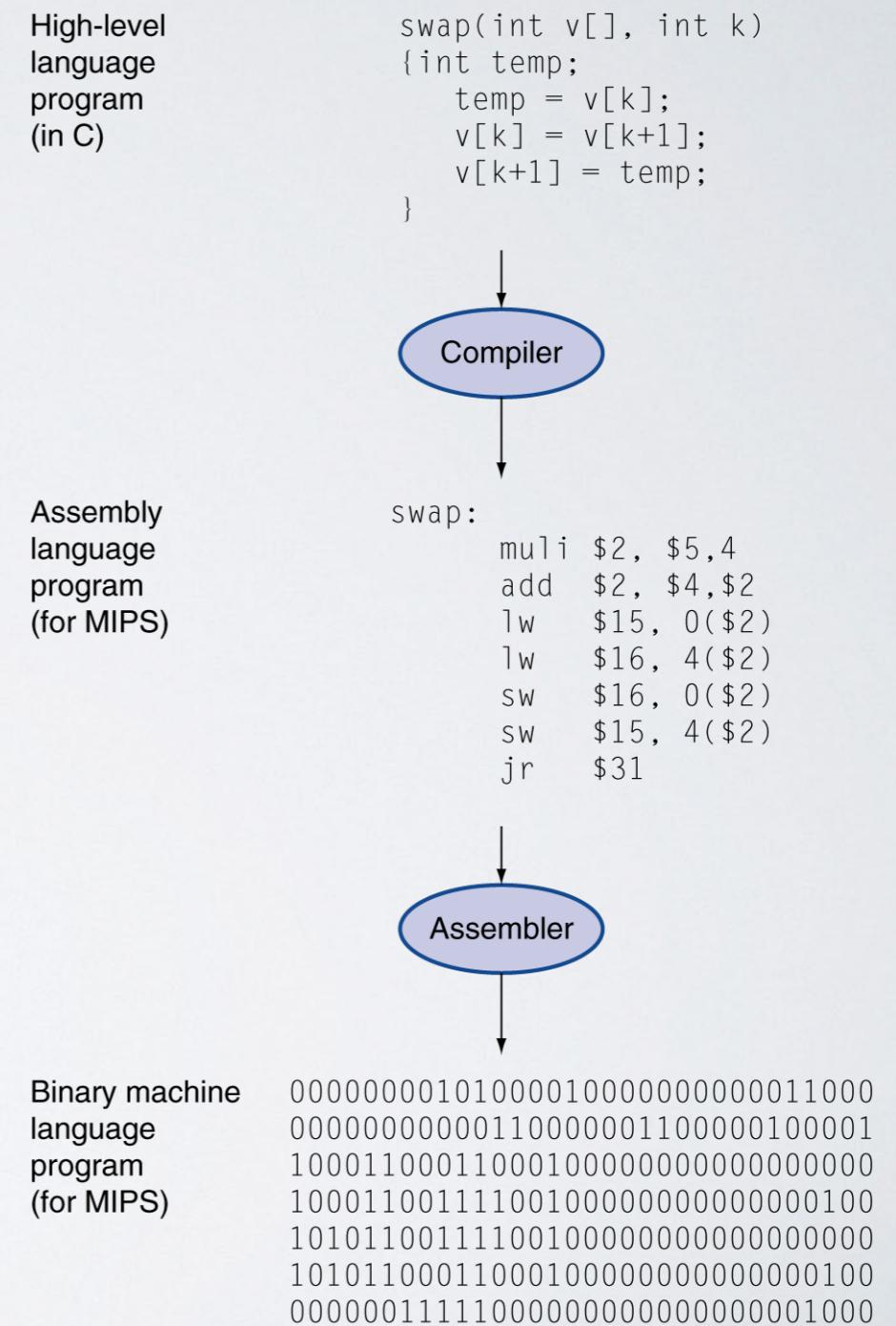
ABSTRAÇÃO POR CAMADAS



- Camada da Aplicação
 - Escrita numa Linguagem de Alto-Nível (LAN)
- Camada do Sistema Computacional
 - Compilador:
 - traduz o código LAN para código máquina
 - Sistema Operativo:
 - Gere Entrada/Saída de dados
 - Gere a memória e o armazenamento
 - Calendariza tarefas e partilha recursos
- Camada do Hardware
 - Processador, memória, controladores de E/S

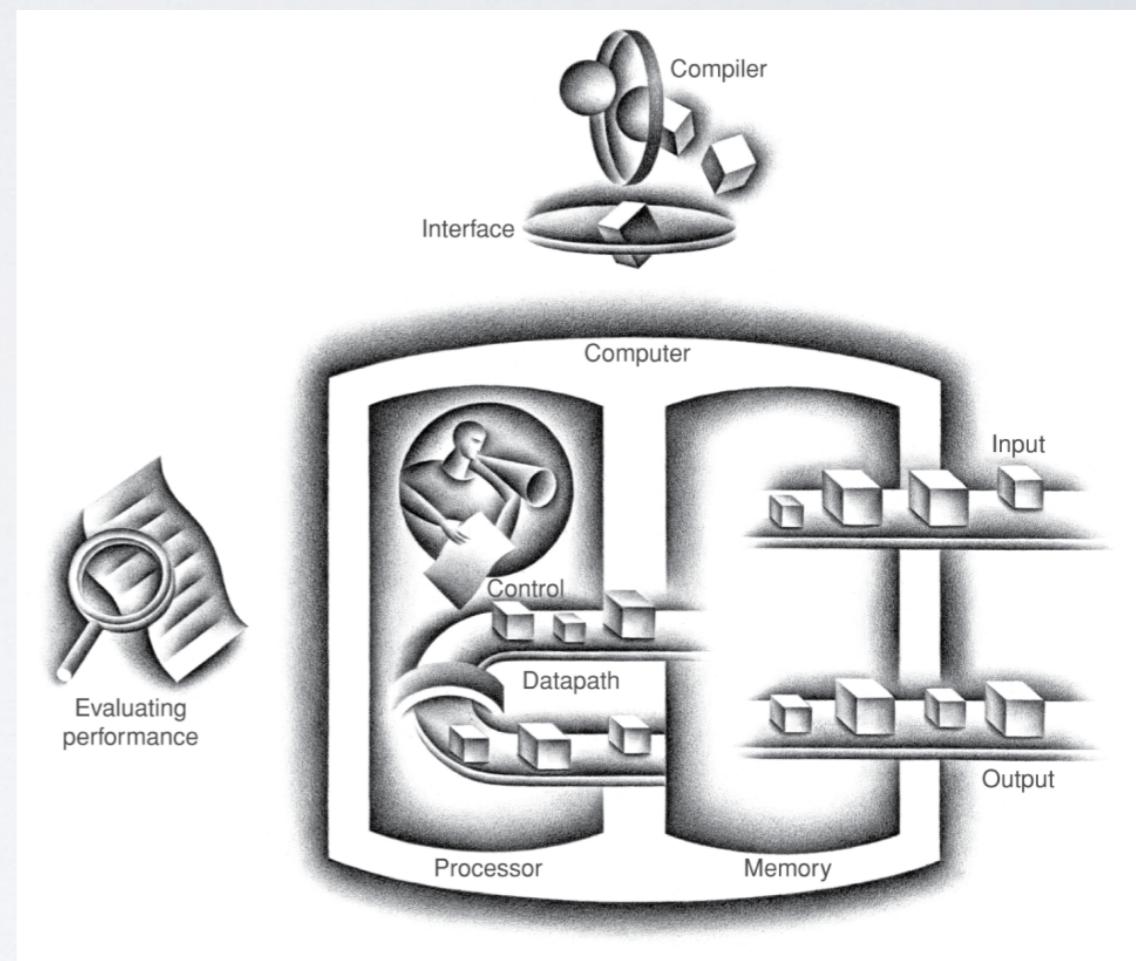
CÓDIGO DE UM PROGRAMA

- Linguagem de Alto-Nível
 - Nível de abstracção próximo do domínio do problema
 - Permite melhor produtividade ao programador
 - Permite melhor portabilidade do código
- Linguagem Assembly
 - Representação textual do código máquina
- Código Máquina (Baixo-Nível)
 - Representação Binária (bits)
 - Instruções e dados codificados



COMPONENTES DE UM COMPUTADOR

- Componentes são comuns a todos os tipos de computadores:
 - Desktop, servidor, embutido
- Entrada/Saída inclui:
 - Dispositivos User-Interface:
 - Monitor, teclado, rato
 - Dispositivos de armazenamento:
 - Disco duro, CD/DVD, Flash
 - Adaptadores de rede:
 - Para comunicação com outros computadores

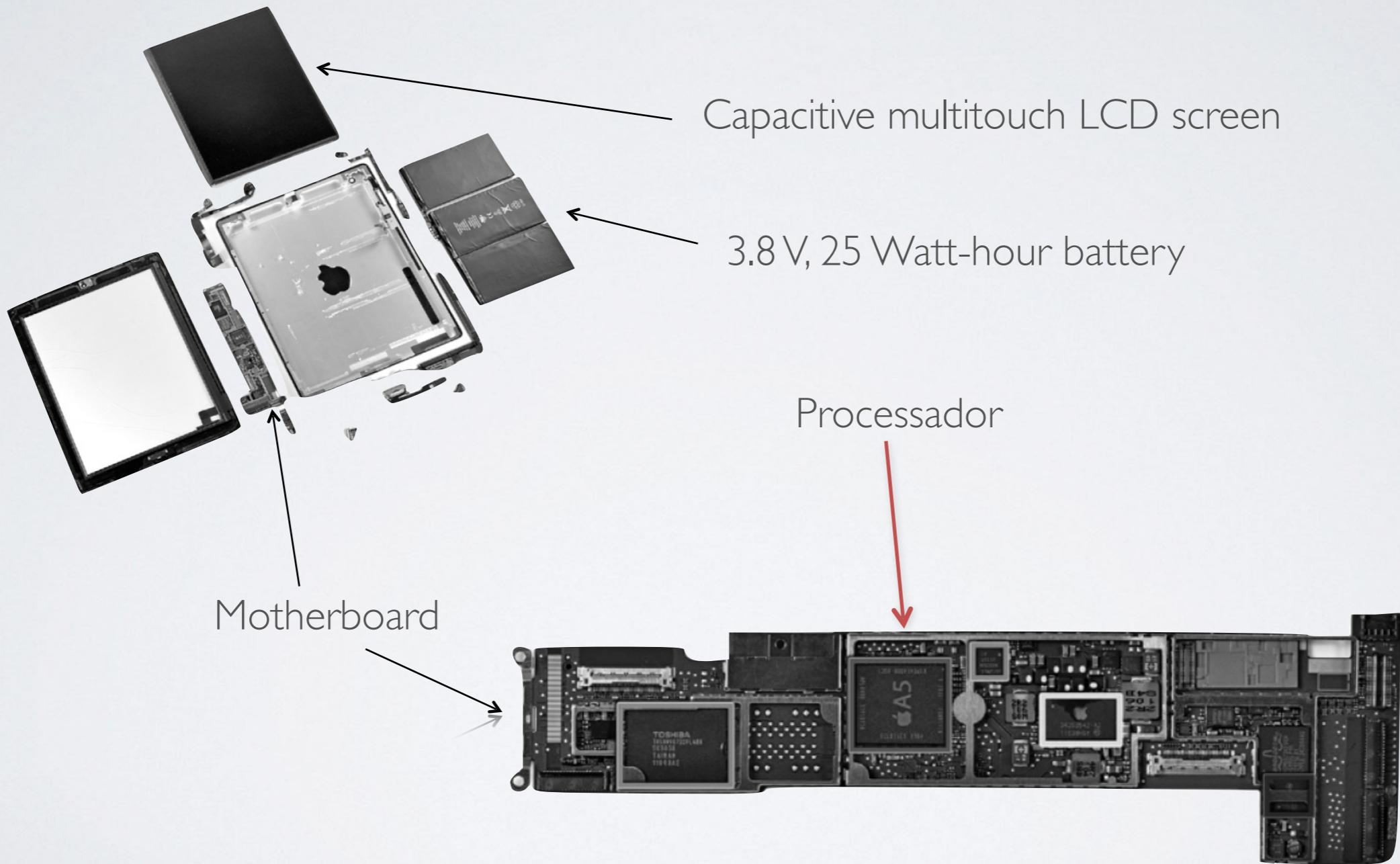


TOUCHSCREEN (E/S)

- Dispositivo Pós-PC
- Suprime teclado e rato
- Podem ser Resistivos ou Capacitivos:
 - A maior parte dos tablets e smartphones utiliza capacitivos
 - Os capacitivos permitem a funcionalidade de multiplo-toque

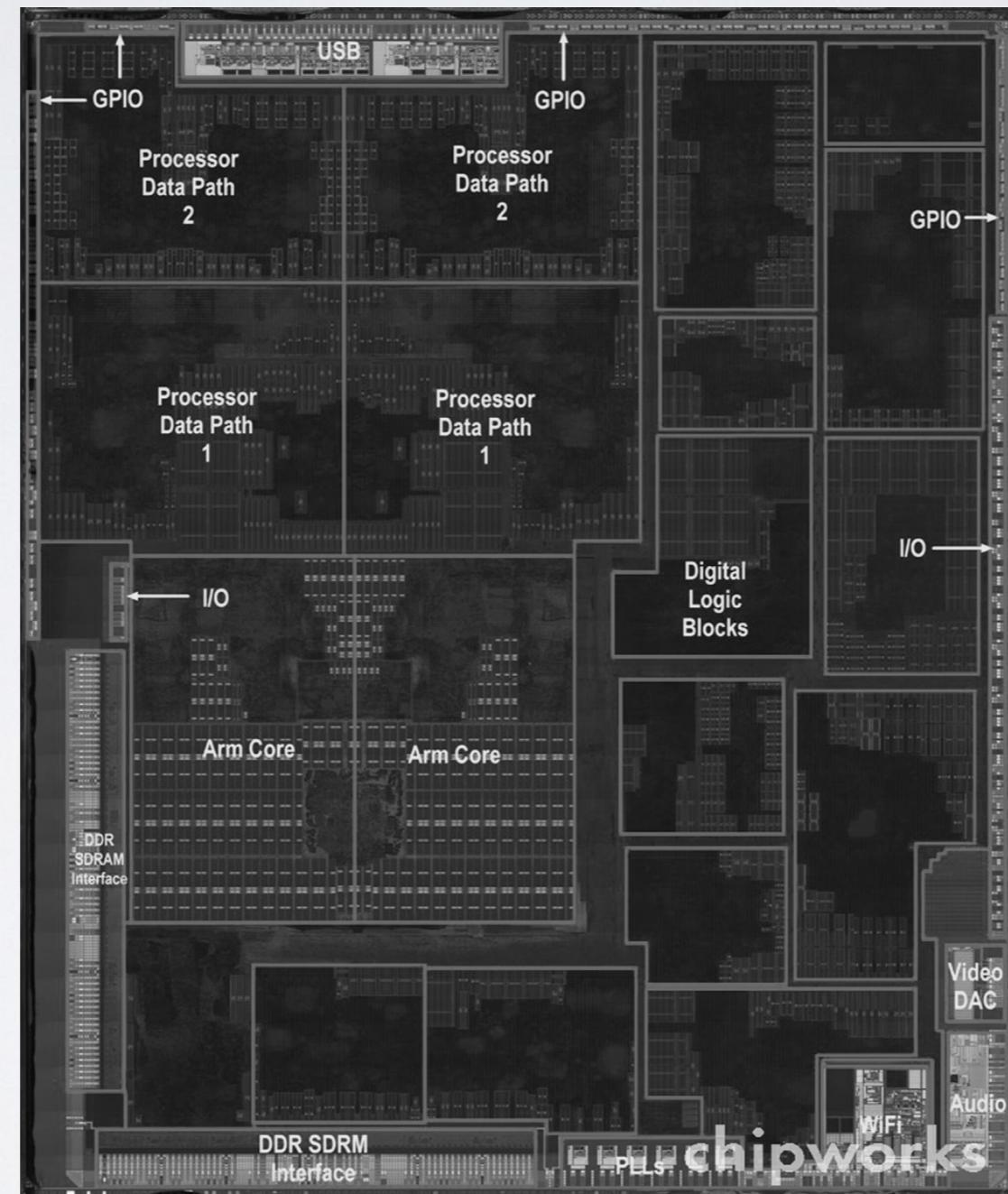


E NO INTERIOR DE UM IPAD?



E NO INTERIOR DO PROCESSADOR DO IPAD?

CPU
Apple A5



ARMAZENAMENTO DE DADOS

- Memória volátil (principal)
 - On Power Off, as instruções e dados são perdidos
- Memória não-volátil (secundária)
 - Disco Magnético
 - Memória Flash
 - Disco óptico (CDROM, DVD)



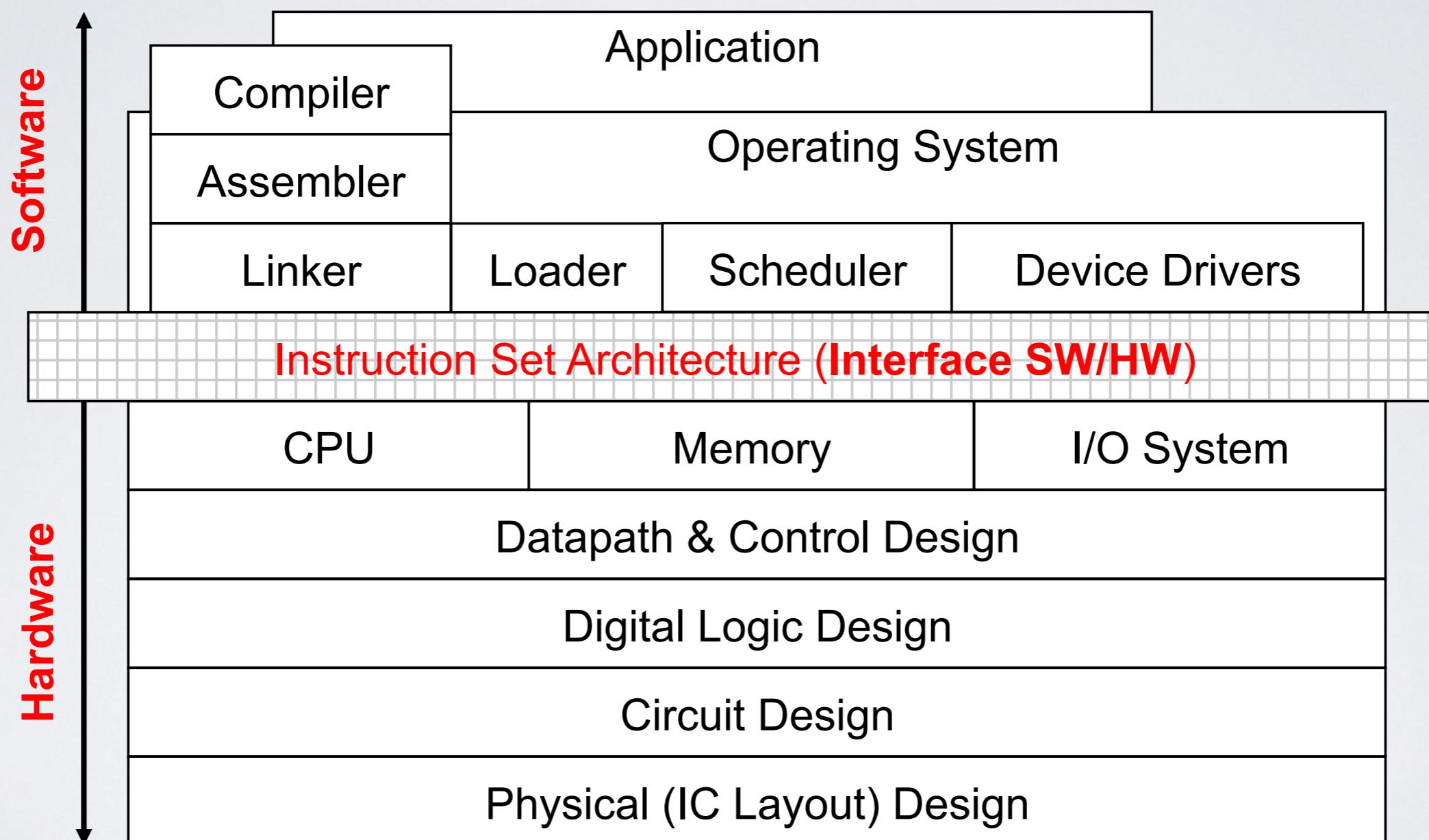
COMPUTADORES EM REDE

- Comunicações, partilha de recursos e acesso remoto a dados
- Local Area Network (LAN): Ethernet
- Wide Area Network (WAN): the Internet
- Wireless Network: WiFi, Bluetooth



ABSTRAÇÃO

MENOR COMPLEXIDADE



O QUE INFLUÊNCIA O DESEMPENHO?

- Algoritmo
 - Determina qual o N de operações a executar.
- Linguagem de programação, compilador e arquitetura
 - Determina qual o N de instruções máquina executadas por operação.
- Processador e organização de memória
 - Determina a rapidez com que são executadas as instruções
- Entrada/Saída (E/S)
 - Determina a rapidez com que as instruções de E/S são executadas

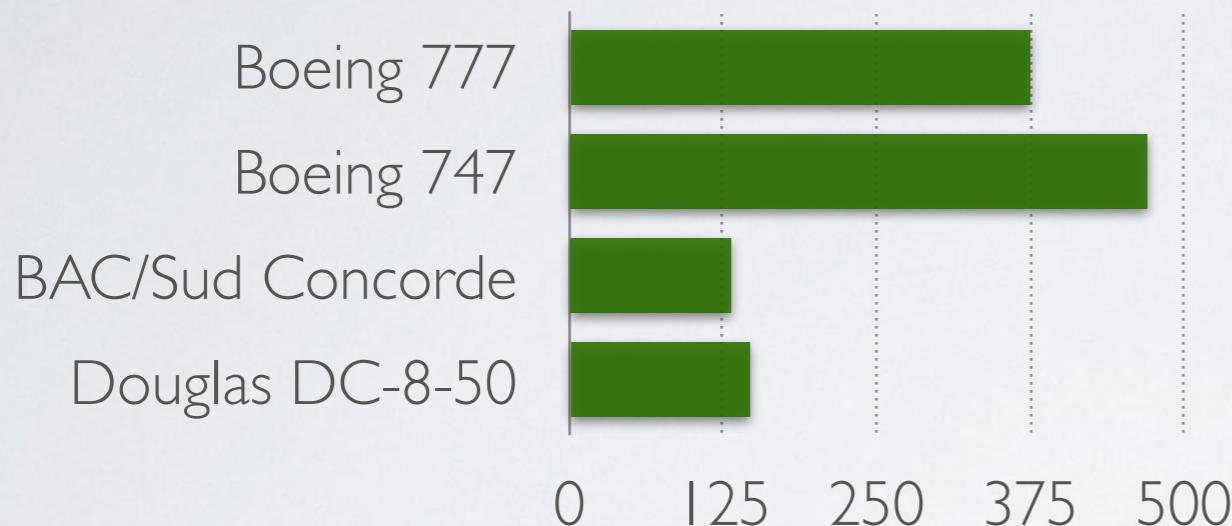
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

- Objetivos da avaliação de desempenho:
 - Definir, medir e resumir;
 - Apoiar a seleção fundamentada de sistemas;
- Compreender a motivação para a organização dos sistemas.
- Porque é que um computador é melhor que outro para um dado programa ou uma dada aplicação?
 - Que fatores do desempenho global estão relacionados com o suporte físico?
 - De que forma é que a arquitetura do conjunto de instruções afeta o desempenho?

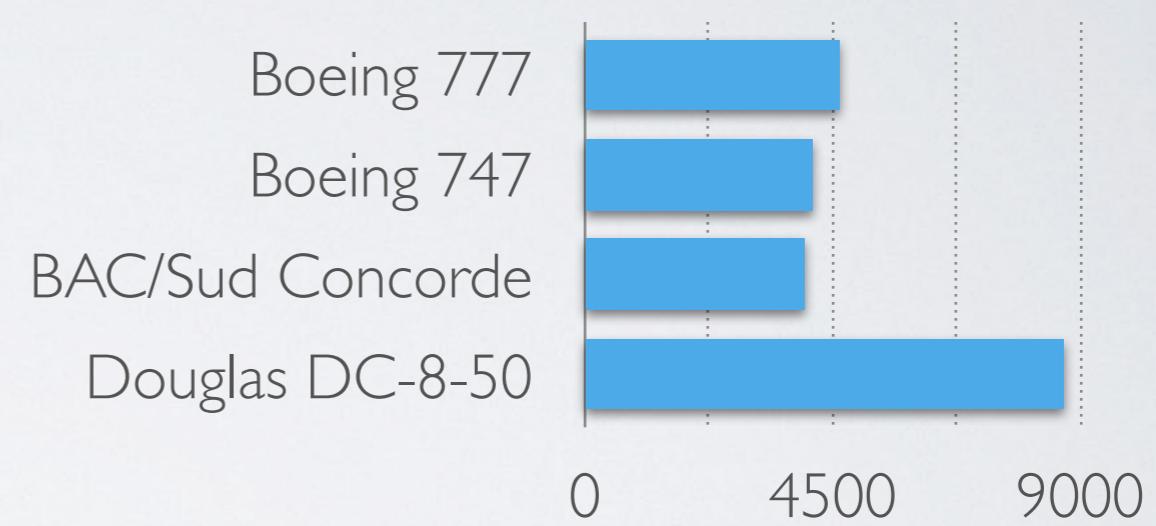
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Qual dos seguintes aviões apresenta melhor desempenho?

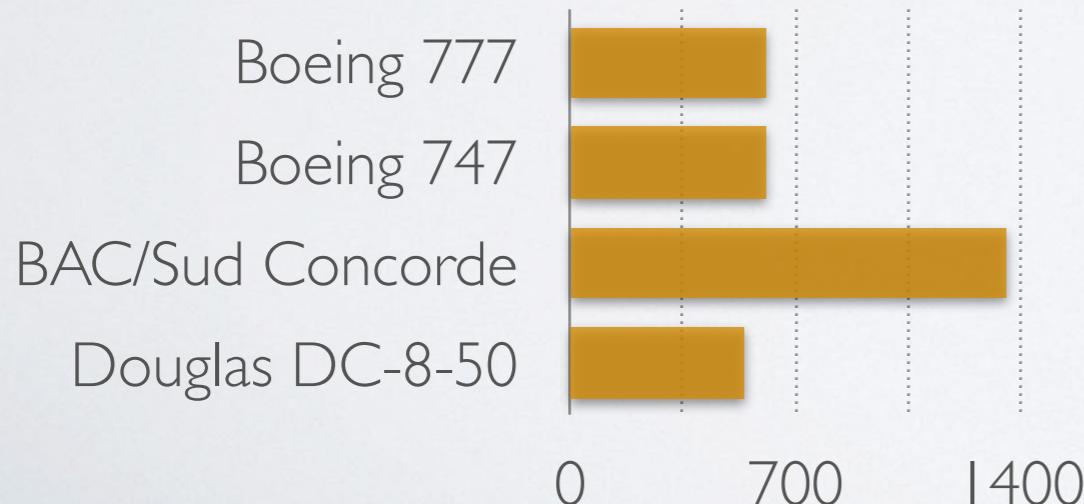
■ Passenger Capacity



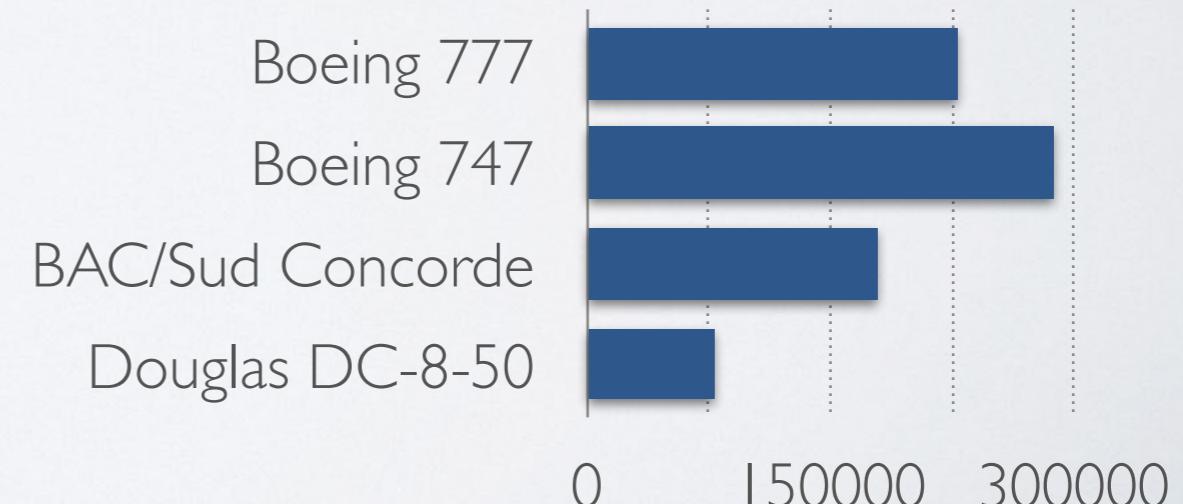
■ Cruising Range (miles)



■ Cruising Speed (mph)



■ Passengers x mph



AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

- Os critérios usados para determinar o desempenho dependem daquilo que se pretende fazer com a resposta.
- No exemplo anterior:
 - Maior velocidade: Concorde (<133 passageiros)
 - Maior capacidade: Boeing 747
 - Maior alcance: DC-8

COMO MEDIR O DESEMPENHO?

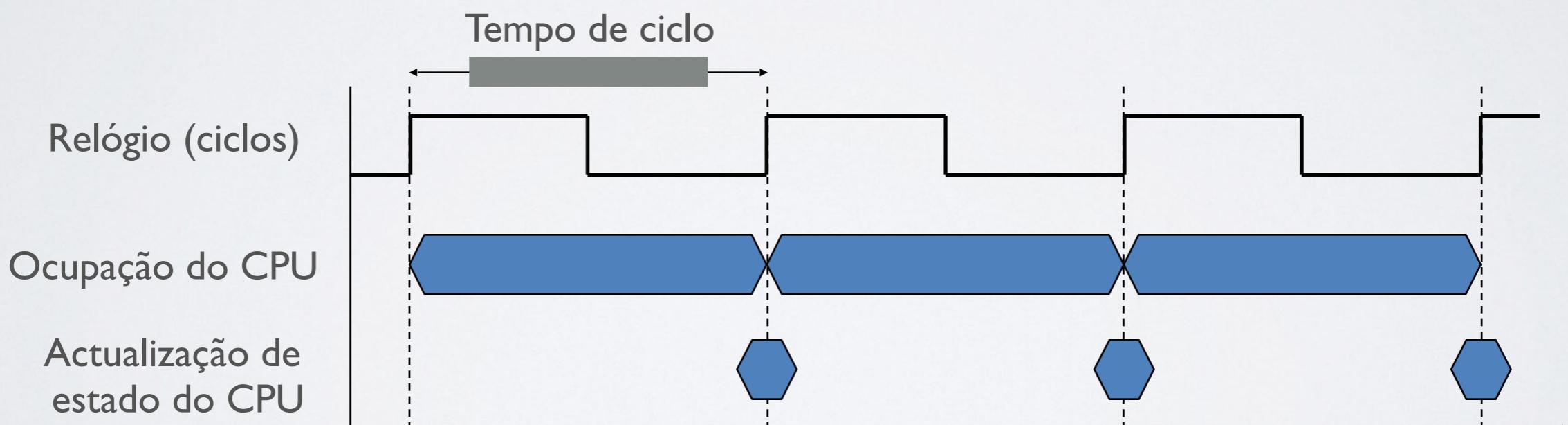
- Duas perspetivas:
 - Utilizador: tempo de execução dos programas ⇒ **execution time**.
 - Gestor de um datacenter: número de tarefas executadas por dia; Sistema de Multibanco: número de transações possíveis de efetuar por minuto ⇒ **throughput**.
- Perspetiva em ASM ⇒ centrada no tempo de execução.
- **NOTA:** Em Sistemas Operativos abordam-se ambas as perspetivas.

DESEMPENHO DE COMPUTADORES: TEMPO

- **Tempo de Execução (Execution time):** o intervalo de tempo entre o início e o fim de uma tarefa.
 - Quanto tempo demora o programa a executar?
 - Quanto tempo demora a resposta da base de dados?
- **Débito (Throughput):** Quantidade total de trabalho por unidade de tempo.
 - Quantos programas podem ser executados simultaneamente
 - Quantas interrogações da base de dados podem ser tratadas num minuto?
- Se trocarmos o CPU de um computador por outro CPU mais rápido, o que é que melhora?
- Se acrescentarmos um computador a um laboratório, o que é que melhora?

CICLOS DE RELÓGIO DO CPU

- Todas as actividades executadas no CPU são sincronizadas por um sinal periódico comum, o sinal de relógio:



TEMPO DE EXECUÇÃO

SIGNIFICADOS

- **Tempo decorrido (*response time* ou *elapsed time*):** tempo entre o inicio e o fim da execução da tarefa. Inclui entrada e saída de dados (E/S), acessos ao disco e memória e o tempo gasto pelo SO.
- **Tempo de CPU (*CPU time*):** Tempo que o processador gasta a executar o programa do utilizador. Não inclui o tempo de execução de outros programas nem o tempo de E/S. Divide-se em duas componentes:

$$\text{CPU time} = \text{System CPU time} + \text{User CPU time}$$

- **Tempo de sistema (System CPU Time):** tempo que o sistema gasta em tarefas requeridas pelo programa (p. ex., acesso a disco)
- **Tempo de utilizador (User CPU time):** tempo gasto na execução das instruções do programa ⇒ **DESEMPENHO DO CPU (CPU PERFORMANCE)**

DESEMPENHO DO CPU

CPU PERFORMANCE

- Tempo de execução de um programa:

$$\begin{aligned} T_{\text{execução}} &= N_{\text{ciclos}} \times T_{\text{relógio}} \\ &= N_{\text{instruções}} \times CPI \times T_{\text{relógio}} \\ &= N_{\text{instruções}} \times CPI / f_{\text{relógio}} \end{aligned}$$

$N_{\text{instruções}}$ – número de instruções do programa
CPI – número de ciclos por instrução
 $f_{\text{relógio}}$ – frequência do sinal de relógio

- Melhorar o desempenho implica:

- I) Diminuir o Nº de instruções
OU
- 2) Diminuir CPI
OU
- 3) Aumentar frequência do relógio

CPI - CLOCKS PER CICLE

- O número de ciclos de relógio por instrução depende do tipo de instrução:

$$\text{CPI}_{\text{médio}} = \sum_{\text{instrução}} (\text{CPI}_{\text{instrução}} \times f_{\text{instrução}})$$

- O CPI de um processador é sempre um valor médio do nº de ciclos de relógio em que cada instrução é executada. Essa média é pesada pela frequência de execução de cada instrução (i.e. o CPI varia com o(s) programa(s) usados para o medir)

DESEMPENHO DO CPU

FACTORES QUE INTERFEREM

$$T_{execução} = \frac{N_{instruções} \cdot CPI}{f_{relógio}}$$

Organização do sistema
Hardware

Conjunto de instruções
Organização do sistema

Compilador
Conjunto de instruções

$N_{instruções}$ – número de instruções do programa
 CPI – número de ciclos por instrução
 $f_{relógio}$ – frequência do sinal de relógio

DEFINIÇÃO DE DESEMPENHO RELATIVO

- Como estamos interessados no tempo de execução, a definição de desempenho é:

$$Desempenho = \frac{1}{Tempo\ de\ Execução}$$

- A afirmação: “X é n vezes mais rápido que Y” significa que:

$$\frac{Desempenho_A}{Desempenho_B} = \frac{\frac{1}{Tempo\ de\ execução_A}}{\frac{1}{Tempo\ de\ execução_B}} = \frac{Tempo\ de\ execução_B}{Tempo\ de\ execução_A} = n$$

LEI DE AMDAHL

- **Erro comum:** Esperar que uma melhoria do desempenho de uma parte de um computador leve a uma melhoria proporcional do desempenho global.
- **“Lei” de Amdahl:** A melhoria de desempenho causada por uma dada modificação é limitada pelo tempo durante o qual a modificação pode ser usada.

LEI DE AMDAHL (2)

$$t_m = \frac{t_u}{\alpha} + t_n$$

t_m : tempo de execução com o melhoramento

t_u : tempo durante o qual o melhoramento é usado

t_n : tempo durante o qual o melhoramento *não* é usado

α : factor de melhoria.

Conclusão importante \Rightarrow Optimizar o caso comum

LEI DE AMDAHL

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

- Um programa demora 100 s a executar. Desse tempo, 80 s são utilizados em multiplicações.
De quanto é necessário melhorar o desempenho da unidade de multiplicação, para que o programa execute 4 vezes mais rápido?

100s/4

$$25 = \frac{80}{\alpha} + (100 - 80)$$
$$\alpha = \frac{80}{5} = 16$$

$$t_m = \frac{t_u}{\alpha} + t_n$$

t_m : tempo de execução com o melhoramento
 t_u : tempo durante o qual o melhoramento é usado
 t_n : tempo durante o qual o melhoramento *não* é usado
 α : factor de melhoria.

DESEMPENHO RELATIVO

EXEMPLO

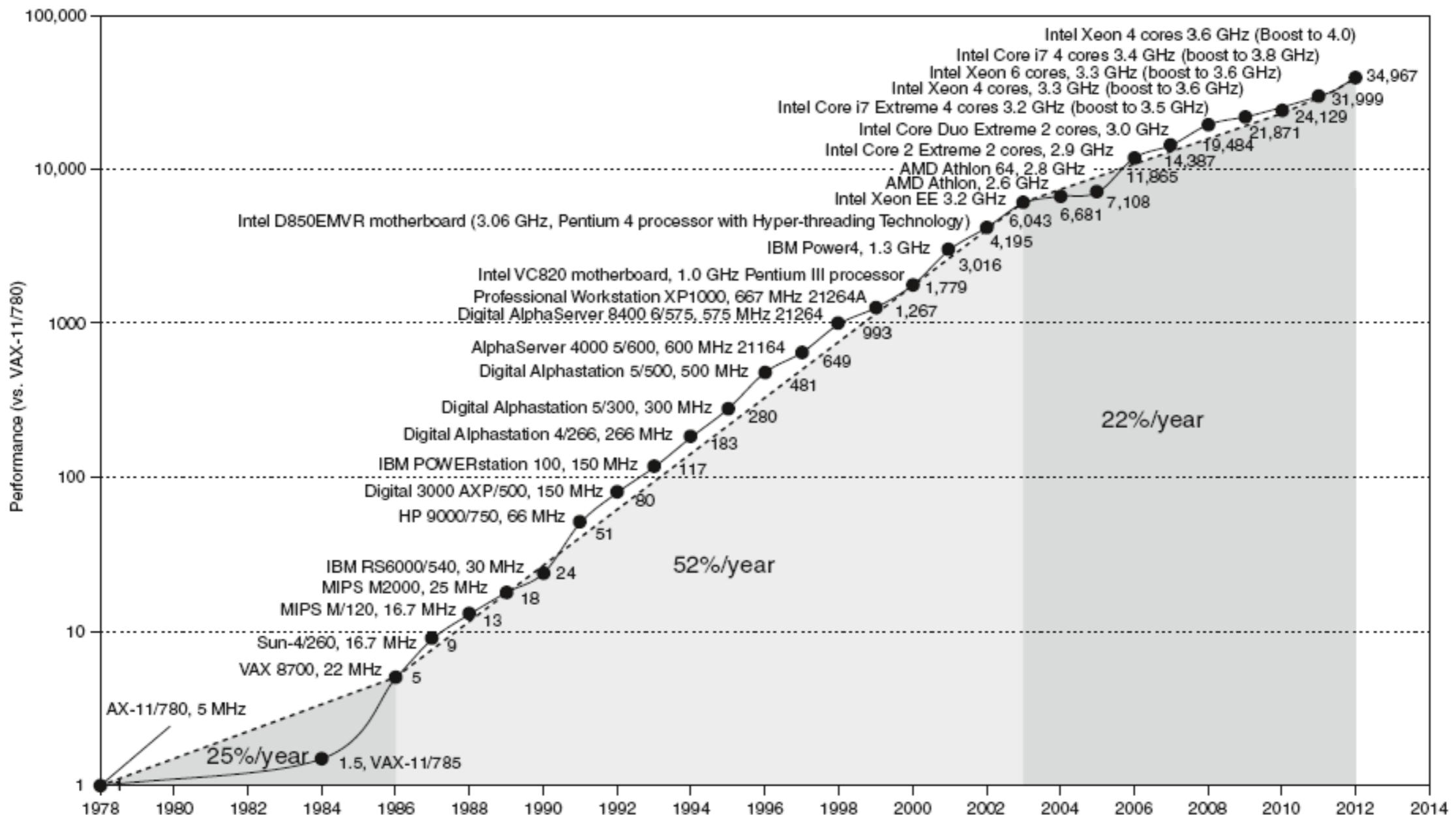
- Exemplo: tempo necessário para executar um programa
 - Programa A demora 10s e Programa B demora 15s
 - Calculo do Desempenho:

$$\frac{\text{Tempo de execução}_B}{\text{Tempo de execução}_A} = \frac{15\text{ s}}{10\text{ s}} = 1.5$$

- Podemos concluir que o Programa A é 1.5 vezes mais rápido do que o Programa B.

EVOLUÇÃO DO DESEMPENHO DOS PROCESSADORES

(RELATIVAMENTE AO VAX-11/780)



MEDIDAS DE DESEMPENHO

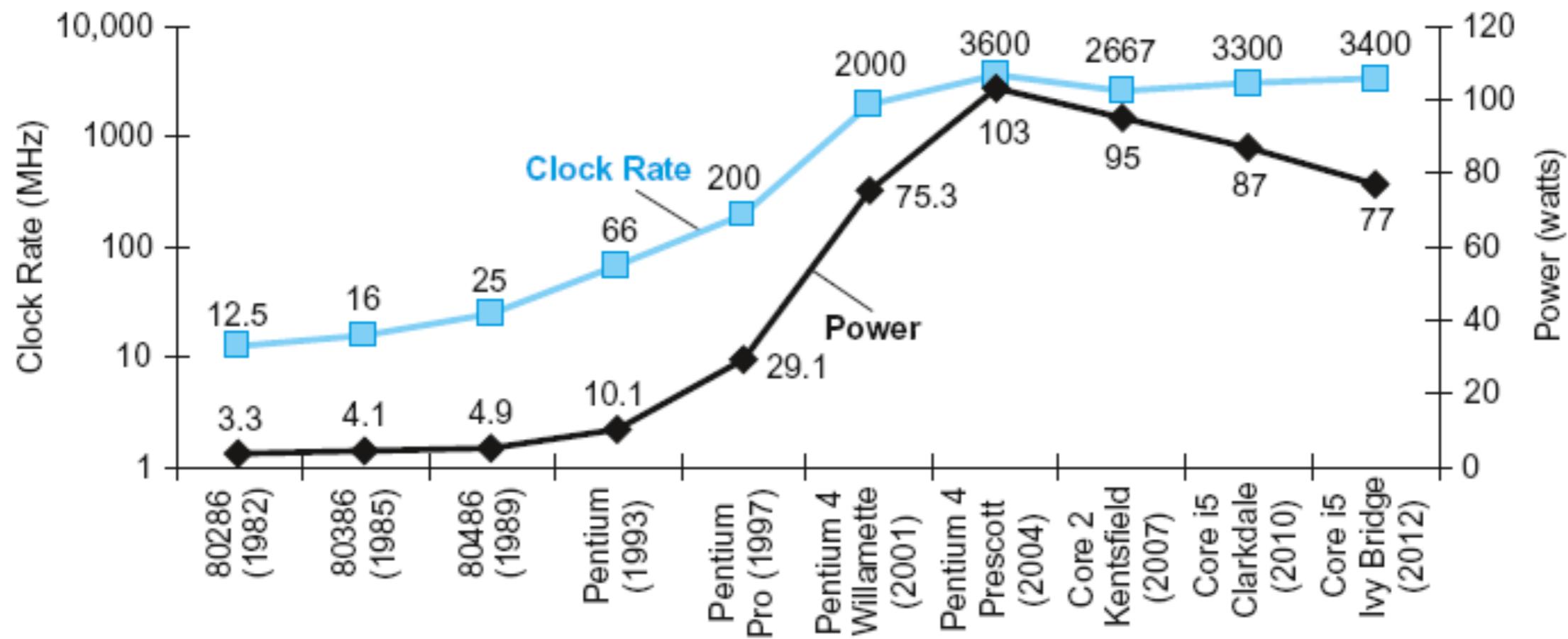
- CPU time = N° de instruções * CPI / Frequência de relógio
- Que programa(s) escolher para medir o desempenho?
 1. Escolher um conjunto de programas que seja representativo do tipo de utilização dos computadores – SPEC program suite: SPECint + SPECfp
 2. Usar um programa em que cada tipo de instrução aparece com a mesma regularidade no conjunto de programas escolhidos para **benchmarks sistemáticos** – Dhrystone, Whetstone, ...
- MIPS = Frequência de relógio (MHz) / CPI (Millions of Instructions Per Second)
 - só tem significado para comparar processadores com a mesma arquitetura

OUTRO CRITÉRIO: POTÊNCIA CONSUMIDA

- Fator crítico em sistemas portáteis – autonomia da bateria
- Capacidade de dissipação do calor produzido num chip é limitada
- Depende da frequência de relógio

NOTA: No caso de processadores *multi-core*, para o mesmo desempenho temos uma menor frequência de relógio, logo menor consumo energético.

POTÊNCIA CONSUMIDA EM DIFERENTES PROCESSADORES



CARATERIZAÇÃO DO CONSUMO DE POTÊNCIA SPECPOWER

2.3 GHz AMD Opteron X4 com 16 GB de DDR2-667 DRAM e um disco de 500 GB

Target Load %	Performance (ssj_ops)	Average Power (Watts)
100%	865,618	258
90%	786,688	242
80%	698,051	224
70%	607,826	204
60%	521,391	185
50%	436,757	170
40%	345,919	157
30%	262,071	146
20%	176,061	135
10%	86,784	121
0%	0	80
Overall Sum	4,787,166	1,922
$\Sigma ssj_ops / \Sigma power =$		2,490

FALÁCIA: BAIXO CONSUMO EM VAZIO

- *i7 benchmark:*
 - Com uma utilização de CPU de 100% ⇒ Consumo 258 W
 - Com uma utilização de CPU de 50% ⇒ Consumo 170 W (66%)
 - Com uma utilização de CPU de 10% ⇒ Consumo 121 W (47%)
- *Data center da Google:*
 - Opera maioritariamente com uma utilização de 10% a 50% de CPU
 - Opera a 100% menos de 1% do tempo

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O desempenho do processador depende de vários factores:
 - Hardware (circuitos, tecnologia de fabrico)
 - Organização (datapaths, unidade de controlo, etc.)
 - Conjunto de instruções
 - Compilador (e a qualidade do programador!!!)
- A frequência do relógio apenas está ligada aos dois primeiros factores.

GENE AMDAHL: COMPUTER PIONEER

ALEXIS DANIELS

FIM

