

# Evolução da Computação de Alto Desempenho sob a Ótica da Lista TOP500

MAC0344 - Arquitetura de Computadores  
Prof. Siang Wun Song

Slides usados: <https://www.ime.usp.br/~song/mac412/top500.pdf>

IME-USP

# Computação de alto desempenho

- Veremos o Estado-de-Arte da Computação de Alto Desempenho, sob a ótica da TOP500. Passar a Lista 1 de exercícios.
- Ao final dessa aula:
  - Vocês verão que hoje todos os supercomputadores usam computação paralela, alguns com milhões de processadores (*cores* ou núcleos).
  - Isso se deve ao avanço da tecnologia VLSI (microeletrônica) com o aumento da capacidade de uma pastilha de Silício, que pode conter cada vez mais componentes eletrônicos minúsculos.
  - Aumentar a frequência de relógio é uma forma de aumentar o desempenho, mas tem o limitante de dissipação de calor que impede o seu rápido aumento. Daí a solução por computação paralela.

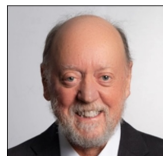


TOP500: lista dos 500 computadores mais poderosos do mundo.

- Divulgada duas vezes por ano: em junho e novembro
- Interesse tanto para fabricantes como para compradores potenciais
- Benchmark: LINPACK - solução de um sistema linear de  $n$  equações a  $n$  incógnitas.
- Os 500 computadores com melhor desempenho LINPACK entram na lista TOP500.
- Muito material é disponível no site: <http://www.top500.org/>



Dr. Jack Dongarra

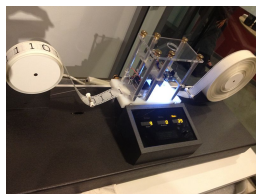
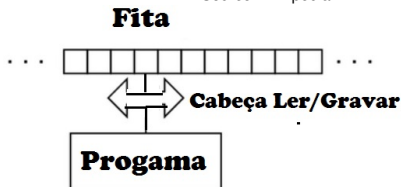
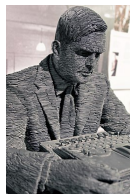


Source: ACM Association for  
Computing Machinery

- A lista Top500 é mantida e administrada por [Jack Dongarra](https://en.wikipedia.org/wiki/Jack_Dongarra) - [https://en.wikipedia.org/wiki/Jack\\_Dongarra](https://en.wikipedia.org/wiki/Jack_Dongarra).
- Pesquisador na área de Algoritmos Numéricos.
- Pelas suas contribuições no desenvolvimento de algoritmos paralelos, foi recipiente do **Turing Award** de 2021.

# Turing Award - em homenagem a Alan Turing

Source: Wikipedia



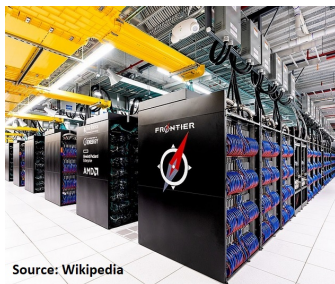
- Alan Mathison Turing (1912 - 1954)
- Inglês, matemático, cientista da computação, cripto-analista. Considerado fundador da Teoria da Computação.
- Máquina de Turing, Computabilidade, Indecidibilidade (Problema da Parada)
- Turing Award: prêmio anual criado em 1966, considerado o Prêmio Nobel da Computação. Em 2014, o prêmio aumentou para US\$ 1 milhão.

Medida de desempenho:

1 FLOPS = uma operação ponto flutuante por segundo

- Mega FLOPS ou MFLOPS =  $2^{20} \cong 10^6$  op. aritméticas por segundo
- Giga FLOPS ou GFLOPS =  $2^{30} \cong 10^9$
- Tera FLOPS ou TFLOPS =  $2^{40} \cong 10^{12}$
- Peta FLOPS ou PFLOPS =  $2^{50} \cong 10^{15}$
- Exa FLOPS ou EFLOPS =  $2^{60} \cong 10^{18}$
- Zetta FLOPS ou ZFLOPS =  $2^{70} \cong 10^{21}$
- Yotta FLOPS ou YFLOPS =  $2^{80} \cong 10^{24}$

# O número 1 da lista TOP500 - em junho 2022



## Primeiro computador a chegar a alcançar ExaFLOPS.

- Frontier - Oak Ridge National Lab (E.U.A.)
- Total de 8.730.112 *cores* ou núcleos
- Processadores AMD EPYC 64C 2GHz
- LINPACK 1.102 PetaFLOPS ou 1,102 ExaFLOPS
- Velocidade de pico 1,686 ExaFLOPS

# Supercomputador número 2 da lista TOP500

Até antes de junho/2022, o Fugaku ocupava a posição Top 1.



Fugaku supercomputer by Fujitsu. Picture: Reuters

- Fugaku (Japão)
- Fujitsu 48-core ARM processor
- Total de 7.299.072 *cores*
- LINPACK 415,5 PFLOPS
- Velocidade de pico 513,8 PFLOPS

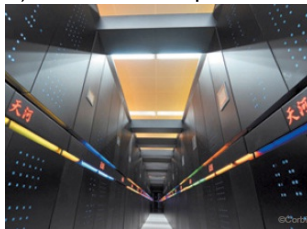


# Alguns campeões anteriores



Source: Jack Dongarra, Report on the Sunway TaihuLight System, June 2016

Sunway (China) SW26010 chip (TOP 1 - Junho 2016 a junho 2018 )



Tianhe (China) Xeon Phi (TOP 1 - Junho 2013 a novembro 2015)

# Alguns campeões anteriores



Roadrunner (U.S.A) - IBM PowerXCell (TOP 1 - Junho 2008 a junho 2009)



Blue Gene (U.S.A) - IBM PowerPC 440 (TOP 1 - Novembro 2005 a junho 2007)



Earth Simulator (Japan) - NEC SX-ACE (TOP 1 - Junho 2002 a junho 2004 )

# Qual será o primeiro ... em novembro deste ano?

Em novembro deste ano sai uma nova lista  
TOP500

e um novo TOP 1 pode surgir.

# Uma máquina da USP esteve na TOP500

- Pergunta: quantas máquinas brasileiras na lista TOP500 em junho do ano passado ainda estão na presente lista?  
Os curiosos podem consultar o site top500.

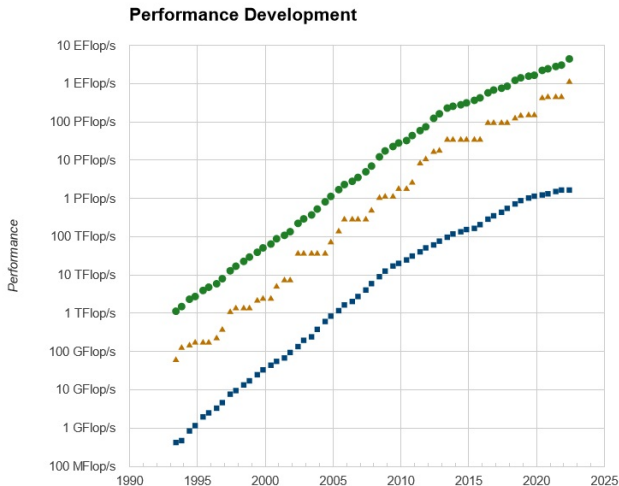


*Na lista TOP500 de novembro/2006 a USP estava na posição 363, com 3,182 TFLOPS Linpack :-)*

*A alegria só durou 6 meses pois saiu da lista em junho/2007 - :-)*

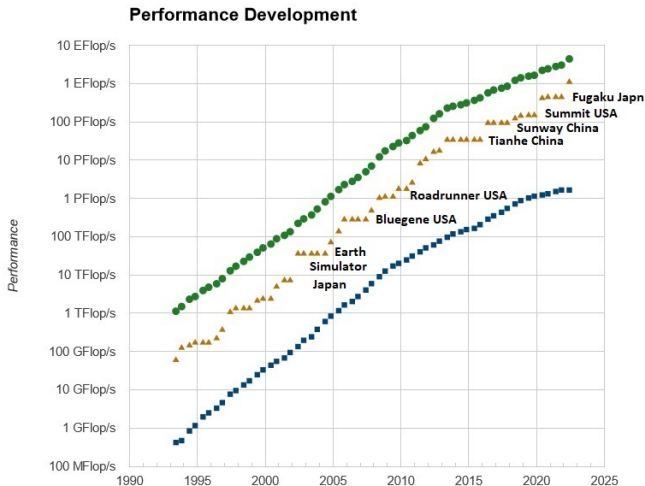
# Desempenho ao longo do tempo

Note o crescimento exponencial.



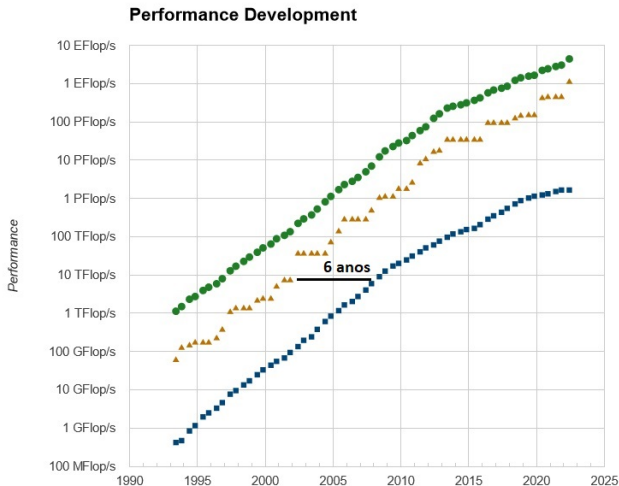
# Desempenho ao longo do tempo - Alguns Campeões

Note o crescimento exponencial.



# O primeiro se torna o último em 6 anos

Note o crescimento exponencial.



# Meu computador já foi TOP 1



Fonte: NVIDIA

- O desktop que eu tinha na minha sala da UFABC quando fui professor visitante lá já foi TOP1 :-)  
Duas placas NVIDIA Geforce GTX-680: 3.072 processadores, veloc. pico de 4,5 TFLOPS.
- O número 1 da TOP500 no período 1997 a 2000 é o Intel ASCI Red com veloc. de pico de 1,3 TFLOPS.
- Esse meu computador seria o número 1 da TOP500 até novembro 2000 :-)



- O que vem depois de ExaFLOPS?

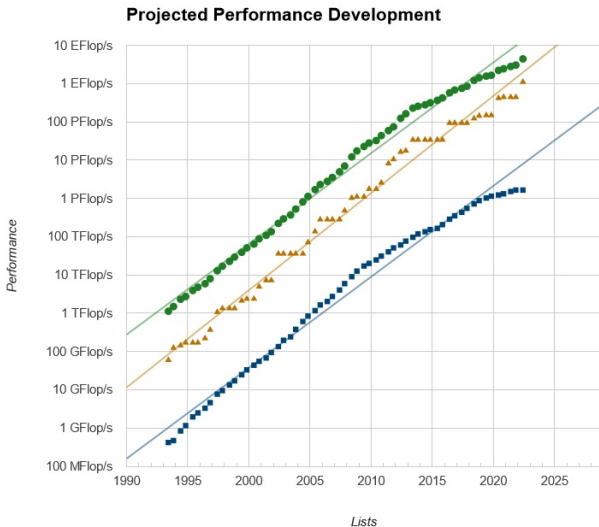
Resposta: ZettaFLOPS

$$1 \text{ ZettaFLOPS} = 2^{70} \cong 10^{21}$$

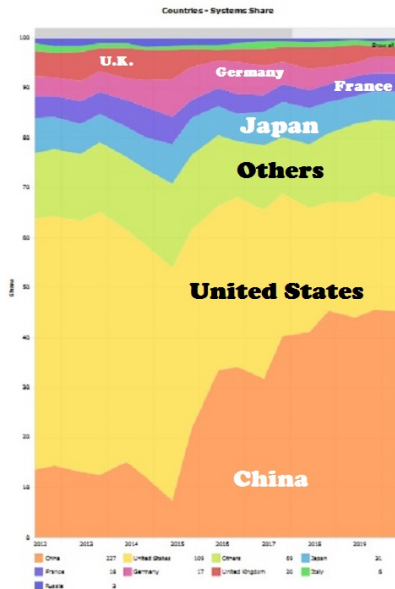
- Pergunta: Em que ano teremos computadores de desempenho de ZettaFLOPS?

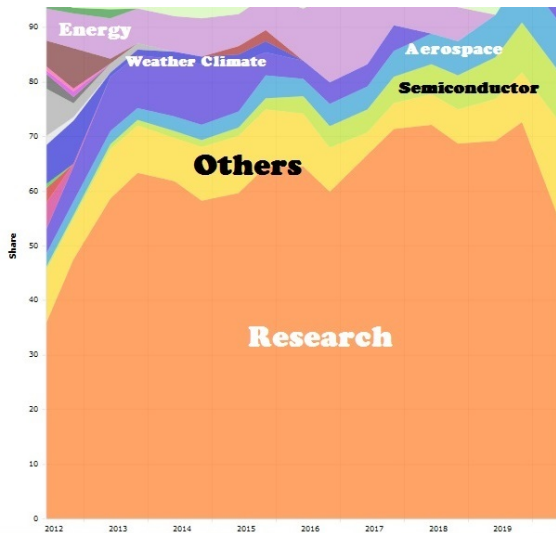
Ver a próxima figura.

# Projeção do Desempenho



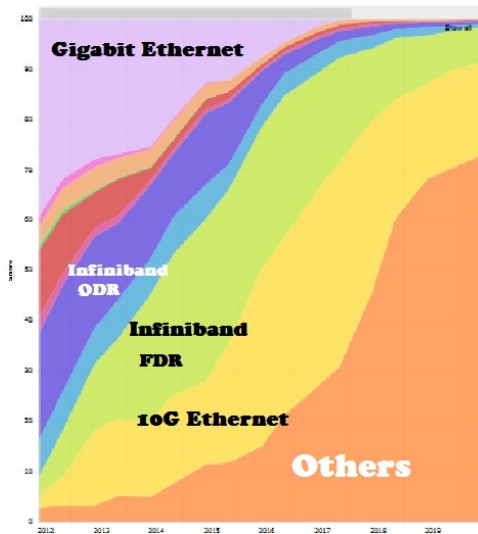
# Países Compradores





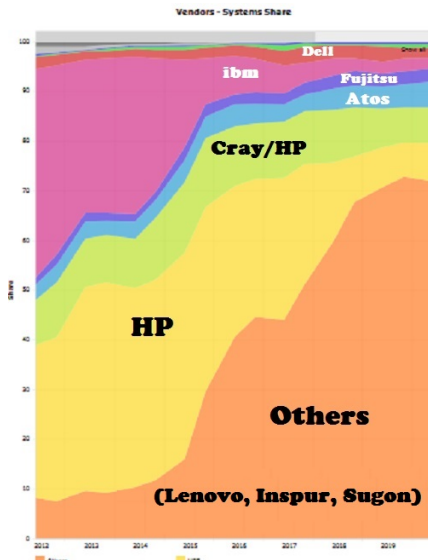
- . Petróleo
- . Previsão tempo e clima
- . Indústria: aviação, automóveis

# Interconexão



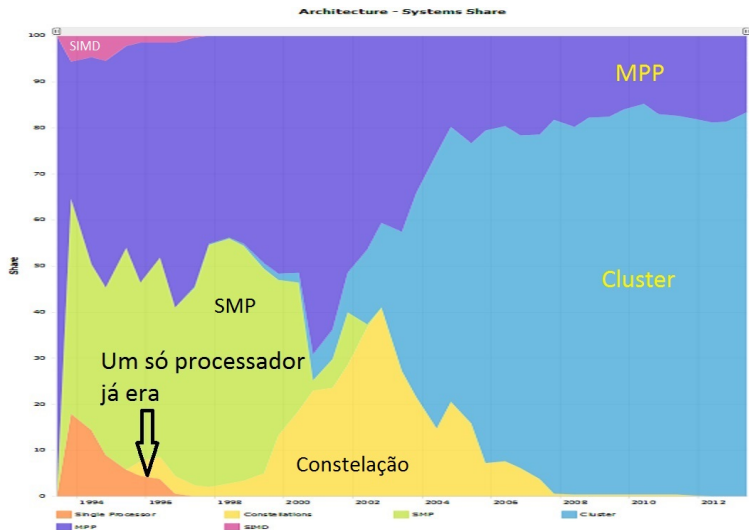
- Área de alta competição.
- Difícil prever qual melhor rumo a seguir.
- Algumas empresas permanecem; outras não.
- Notem uma grande variação ao longo do tempo.

# Fabricantes

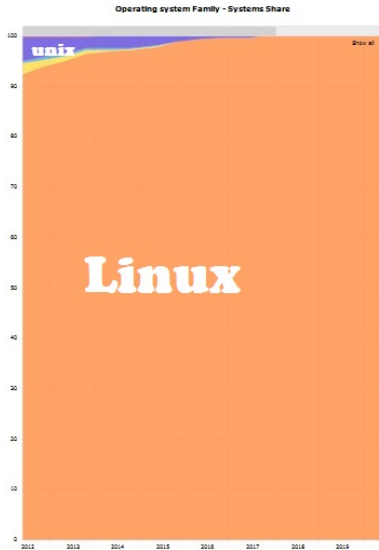


- Um só processador.
- SMP - Symmetric Multi Processor. *uma memória  
vários processadores*
- MPP - Massively Parallel Processor. *uma memória  
para cada*
- Cluster - Um agregado ou uma rede de *processador.*  
*workstations.*
- Constellation - “cluster of clusters”.





# Sistema Operacional



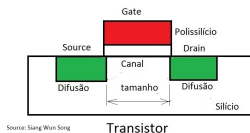
O avanço do hardware em termos de:

- Capacidade de processamento e armazenamento.
- Tamanho.
- Preço.

Esse avanço está relacionado ao avanço da tecnologia de microeletrônica ou VLSI (Very Large Scale of Integration).

# Avanço da Microeletrônica - pastilhas de silício

- Processador e memória são feitos de silício.
- O elemento básico dos circuitos digitais é o transistor MOS (Metal Oxide Semiconductor).
- Um transistor MOS é uma espécie de chave interruptora minúscula, de ordem de algumas dezenas de nanômetros quadrados de área.
- Presença de carga elétrica (voltagem alta) no Gate permite a condução de eletricidade entre os pontos Drain e Source, ao passo que a ausência de carga (voltagem baixa) no gate impede a condução.
- Veremos este assunto nas próximas aulas.





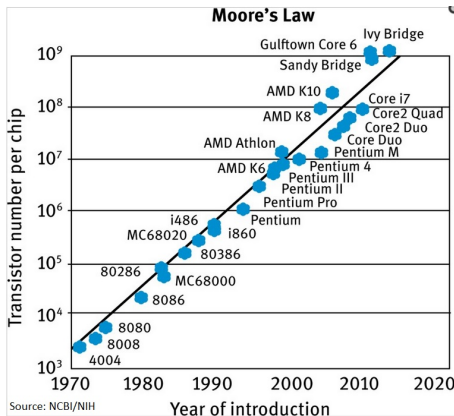
Source: Wikipedia

- Gordon Moore (1924 - )
- Engenheiro, co-fundador da Intel
- Previu o avanço da tecnologia VLSI (microeletrônica), observando o seu **crescimento exponencial**.

# Lei de Moore

"O número de transistores em uma pastilha dobra a cada 18 meses".

Não é bem uma lei. É mais uma observação ou projeção.



# Tamanho de um Transistor MOS

Tamanho (largura) de um transistor:

1963    24  $\mu\text{m}$

1978    5  $\mu\text{m}$

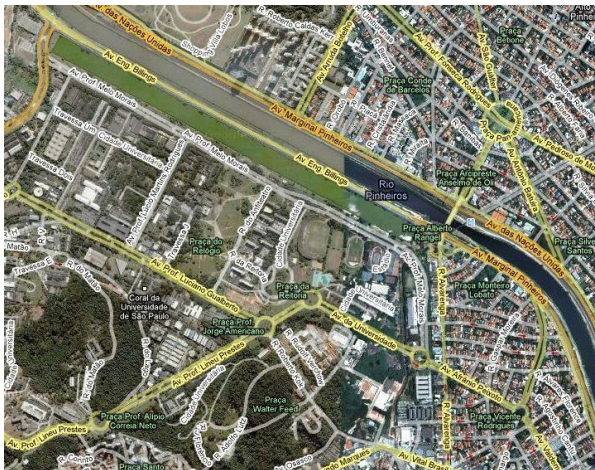
1990    1  $\mu\text{m}$

2005    0,1  $\mu\text{m}$

2017    0,01  $\mu\text{m}$

Ilustramos a seguir essa evolução, imaginando que um chip contém, ao invés de circuitos, ruas e praças de uma região geográfica.

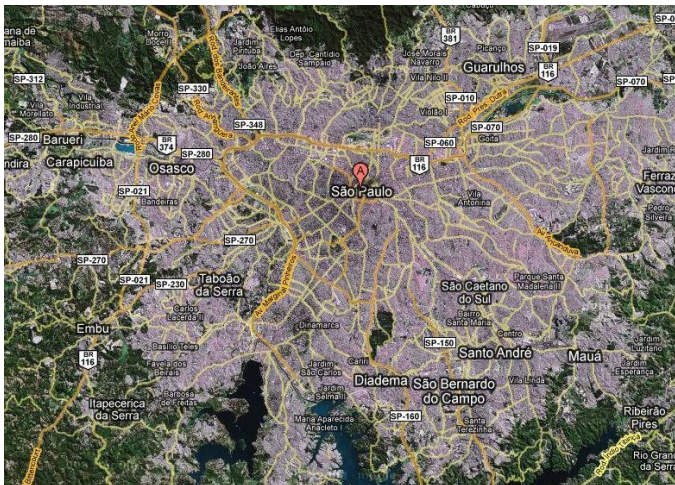
# 1963 - tamanho 24 $\mu\text{m}$



Source: Google Maps

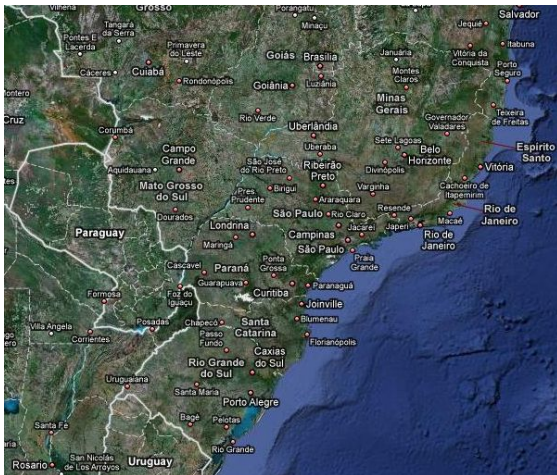


# 1978 - tamanho 5 $\mu\text{m}$



Source: Google Maps

# 1990 - tamanho 1 $\mu\text{m}$



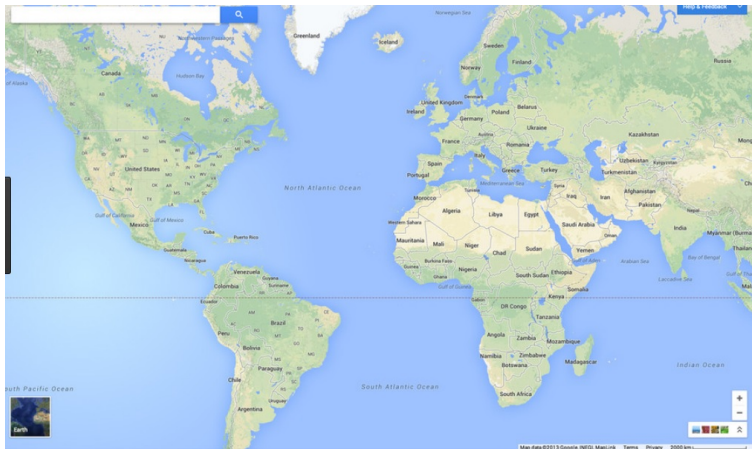
Source: Google Maps

2005 - tamanho  $0,1 \mu\text{m}$



Source: Google Maps

# 2017 - tamanho 0,01 $\mu\text{m}$



Source: Google Maps

# Pastilhas VLSI com bilhões de transistores

- Intel Tukwila quad-core chip(2008): mais de 2 bilhões de transistores -  
Tecnologia de 65 nm ou 0,065 micrômetro.  
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/7223145.stm>
- Processador Intel Core i7 usa CMOS de 45 nm ou 0,045 micrômetro.  
<http://www.intel.com/products/processor/corei7/specifications.htm>  
<http://www.intel.com/technology/45nm/index.htm>
- Em 2016: Intel 22-core Xeon Broadwell-EP com 7,2 bilhões de transistores.
- Em 2019: AWS Gaviton2 64-core ARM-based (7 nm technology) chip com 30 bilhões de transistores  
[Wikipedia: transistor count](#)

# Reflexões sobre a evolução da computação

- A computação paralela veio para ficar. Por que?
  - Um modo de aumentar a velocidade de um processador é aumentar a sua frequência do relógio, diminuindo o ciclo. Devido a problemas como dissipação de calor, a frequência não está aumentando de forma significativa ao longo do tempo.
  - Daí a popularidade cada vez maior da computação paralela: colocando-se mais *cores* numa pastilha (Lei de Moore).
- O fantástico avanço da área tem a ver com a tecnologia VLSI, conforme a projeção da “Lei” de Moore. Essa “lei” deixará de valer em breve. Que nova tecnologia surgirá?

# Como foi o meu **aprendizado**?

Responda se a afirmação é verdadeira ou falsa:

- F ① Pela lista TOP500, vivemos hoje na era de PetaFLOPS.
- ✓ ② Todos os computadores da lista TOP500 hoje possuem mais do que um processador.
- F ③ A Lei de Moore, por ser lei, vale sempre, no presente e no futuro.
- F ④ O Brasil ainda não conseguiu colocar nenhum computador na lista TOP500.
- F ⑤ Pela Lei de Moore, a frequência do relógio dobra em cada 18 meses.  
    ↖ n° de transistores

# Lista de Exercícios 1

- Fazer e entregar por email a [Lista de Exercícios 1](#).
- Tem prazo para entregar. Procure fazer logo, com a matéria fressquinha na cabeça, e entregar dentro do prazo,



# Próximo assunto: Tecnologia VLSI

Source: Wikipedia



- Próximo assunto: Tecnologia VLSI (circuitos integrados).
- Veremos o que é um transistor MOS e como portas lógicas (AND, OR, etc) são fabricadas a partir de transistores MOS.
- Estamos ainda na Geração VLSI do Silício. Bom saber a razão do avanço fantástico que estamos vivenciando.
- Não percam!