

# Uma breve história da supercomputação (2021)

Stephan Stephany - COPDT/INPE

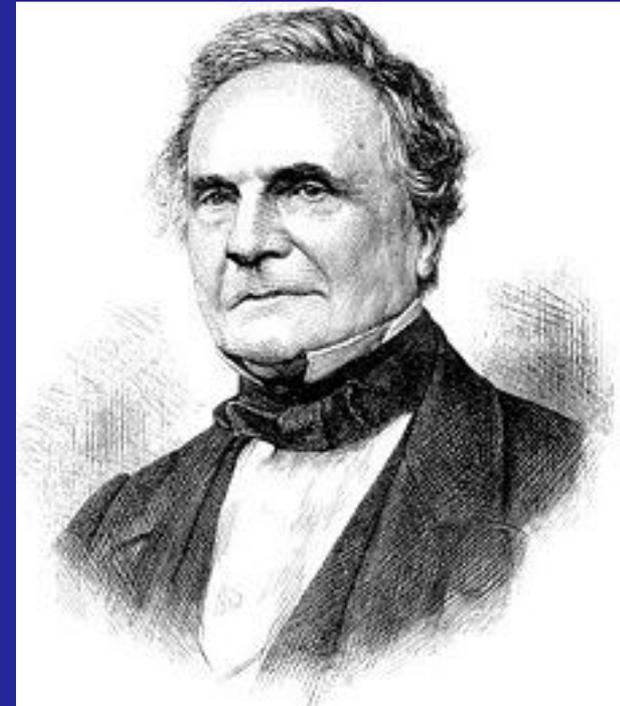
**CAP/Computação Aplicada - INPE**

# A gênese dos computadores:

2

## Charles Babbage (1791-1871)

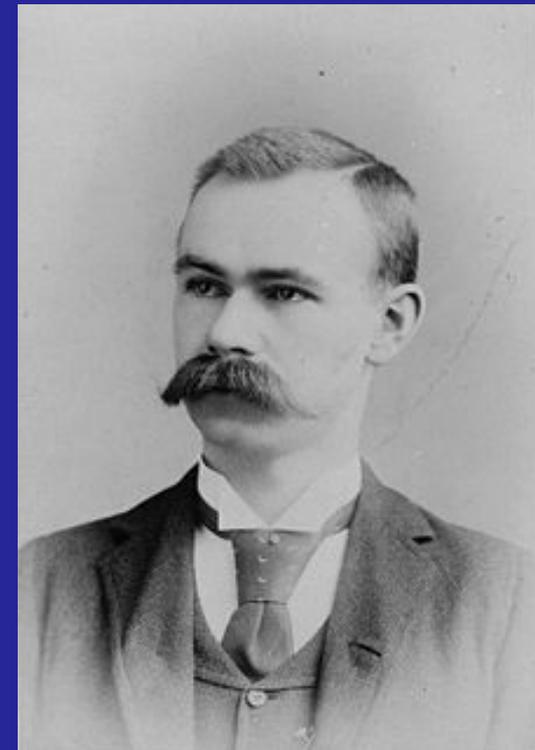
- **Difference engine**, uma calculadora mecânica 13 t
- **Analytical engine**, seria o 1º. computador mecânico, não concluído, e que teve **Ada Lovelace** (1815-1852), matemática, como a 1ª. programadora história



# A gênese dos computadores:

## Herman Hollerith (1860-1929)

- **Máquina tabuladora de dados com cartões perfurados para o censo dos EUA de 1890).**
- **Sua empresa deu origem em 1924 à IBM (International Business Machines)**



# A gênese dos computadores: Alan Turing (1912-1954)

- **Conceito de Máquina de Turing (1936)**, uma máquina de estados finitos capaz de executar um algoritmo.
- **Máquina de Turing é um modelo de como é feita a computação e não da arquitetura dos computadores...**



# A gênese dos computadores: primeiros computadores (II Guerra Mundial)

- **Z3 de Konrad Zuse (Alemanha, 1941)**
- **Atanasoff-Berry Computer ABC (EUA, 1943)**
- **Colossus de Tommy Flowers (UK, 1944)**
- **Harvard Mark I de Howard Aiken (EUA, 1944)**
- **ENIAC de Eckert e Mauchly (EUA, 1944)**

**Atanasoff-Berry Computer ABC** (EUA, 1943) foi o 1o. Comp, eletrônico digital, binário, “a válvula”, não Turing-completo, para sistemas de eqs. lineares.

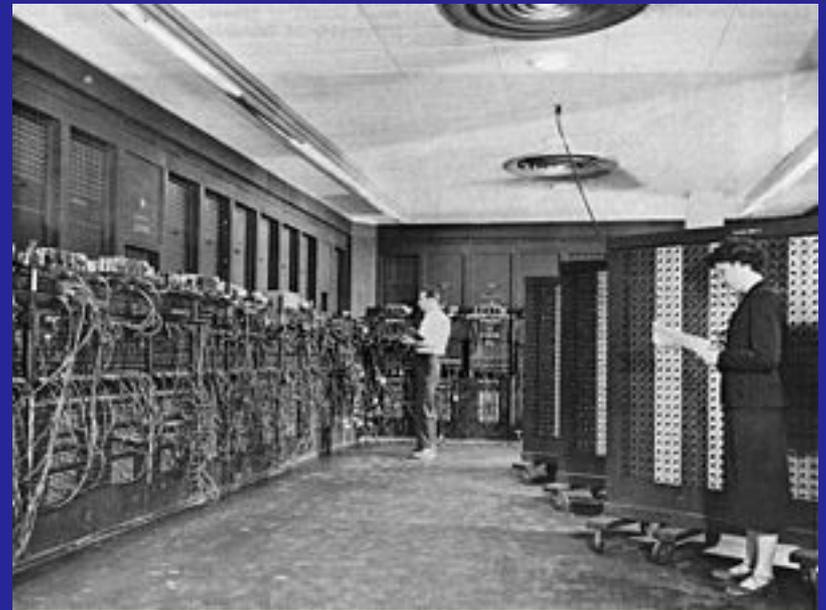
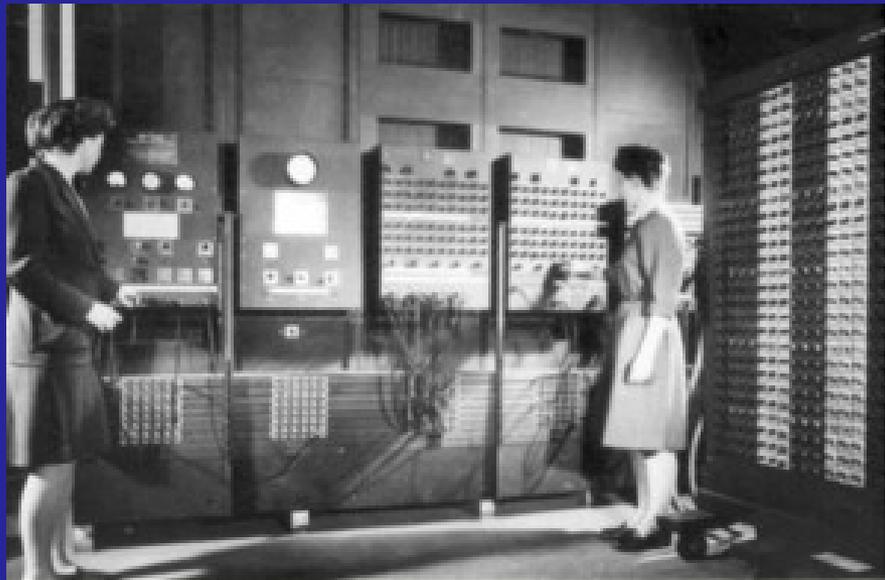
**Z3 de Konrad Zuse** (Alemanha, 1941) foi o 1o. computador digital de propósito geral, binário, eletromecânico, Turing-completo, programável por cartão perfurado (**Z4 foi o 1º comercial**).

**Colossus de Tommy Flowers** (Inglaterra, 1944) 1º comp. elétrico digital, binário, “a válvula”, não Turing-completo, para criptoanálise.

**Harvard Mark I de Howard Aiken** (EUA, 1944) programável por cartão perfurado, decimal, “a relê”.

# A gênese dos computadores: <sup>7</sup>

## ENIAC - Electronic Numerical Integrator And Computer (1943-1955)



**ENIAC, cada programa era “carregado”  
plugando-se fios para obter a configuração  
correspondente ao programa.**

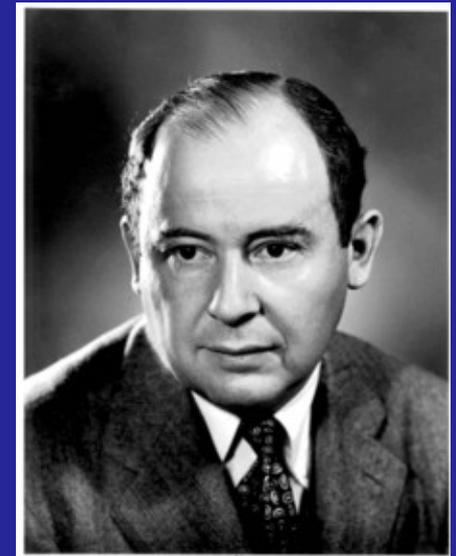
# A gênese dos computadores: 8

## ENIAC - Electronic Numerical Integrator And Computer (1944)

- Computador eletrônico digital, decimal, “a válvula”, Turing-completo, de propósito geral, programável “à mão”, usado também em previsão numérica do tempo (1950) 24hs x 24hs ...

- John Presper Eckert (1919-95) & John Mauchly (1907-80)

- John von Neumann (1903-57)  
(arquitetura de von Neumann)



# A gênese dos computadores: Sperry Rand UNIVAC

**-John Presper Eckert & John Mauchly formaram a Eckert & Mauchly Computer Co.**

**-Grupo de pesquisadores da US Navy formou a Engineering Research Associates (ERA)**

**-Ambas foram compradas pela Sperry Rand**



# A gênese dos computadores: Sperry Rand UNIVAC

-**Sperry Co.** comprou em 1955 a **Remington Rand** e surgiu a **Sperry Rand**. Em 1978 vendeu divisões e voltou a ser **Sperry Co.** que em 1986 fundiu-se com a **Burroughs** para formar a **UNISYS**.

-**UNIVAC I** (*UNIVersal Automatic Computer I*) foi o primeiro computador vendido comercialmente nos EUA (1951) com 46 sistemas vendidos, sendo usado no censo de 1951 e também na eleição presidencial de 1952 (em 1959 gov. SP comprou UNIVAC-120 - consumo água)

# A gênese dos computadores: BRASIL - anos 60

**Surgiram nessa década vários computadores experimentais brasileiros (ITA, POLI, etc.)**

<b>Ano</b>	<b>Empresa</b>	<b>Equipamento</b>
1960	Jóquei Clube de São Paulo	IBM
1960	Anderson Clayton	Ramac-IBM 305
1960	Esso Brasileira de Petróleo	Sistema IBM 1401
1960	IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia	UNIVAC, da Remington
1961	Contadoria Geral de Transportes do Estado de São Paulo	IBM 1401
1961	General Electric do Brasil	Ramac-IBM 305

# A gênese dos computadores: CDC - Control Data Co.

- Snow White (IBM) & 7 dwarfs:** Burroughs, NCR, Control Data Corporation, General Electric, RCA, Honeywell.
- IBM & “the bunch”** (Burroughs, Univac, NCR, Control Data, Honeywell).
- Em 1957 um grupo da antiga ERA saiu da UNIVAC/Sperry-Rand para formar a Control Data Co. incluindo Seymour Cray.**

# A gênese dos computadores:

## CDC - Control Data Co.

-CDC-6600 (1964) - 1o. supercomputador da história, 500 Kflop/s - 1 Mflop/s (10 x mais rápido que concorrentes como o IBM-360) em projeto liderado por **Seymour Cray**.

**Thomas J. Watson Jr. (IBM):** *How is it that this tiny company of 34 people can be beating us when we have thousands of people?* **Cray:** *You just answered your own question.*

-CDC-7600 (1969) - 2 Mflop/s, mas pouco confiável (problemas h/w), pipelining.

# Supercomputadores: Seymour Cray (1925-1996)

14

Deixou a CDC em 1972 para fundar a **Cray Research Inc. (CRI)** que projetou o **CRAY-1 (1976, 250 Mflop/s)**, sucesso comercial

**CRAY X-MP (1982) 4 x 200 Mflop/s**

**CRAY-2 (1985) 1.9 Gflop/s**

**CRAY Y-MP (1988) 8x333 Mflop/s**



Cray Computer Co. (CCC, 1989) faliu (1995). CRI fundiu-se c/ Silicon Graphics (SGI) em 1986. Depois surgiu a Cray Inc. em 2000, depois HPE.

# Supercomputadores:

## CRAY-1 (1976)

- **1 processador vetorial, uso pioneiro de circuitos integrados, pipelining, registradores escalares e vetoriais (8x64 DP), clock de 12.5 ns (80 MHz), 24-bit memory 8 MB em 16 bancos com ciclo 50 ns. Desempenho de 160 mip/s (2x80 MHz) ou 136 Mflop/s, chegando a 250 Mflop/s com instruções vetoriais, refrigerado a freon.**
- **Sucesso comercial: 80 unidades a US\$ 5-8 milhões p/governo EUA, previsão de tempo, etc.**

# Supercomputadores: CRAY-1 (1976) & CRAY-2 (1985)



**Cray-1**

**115 kW 5.5 ton**

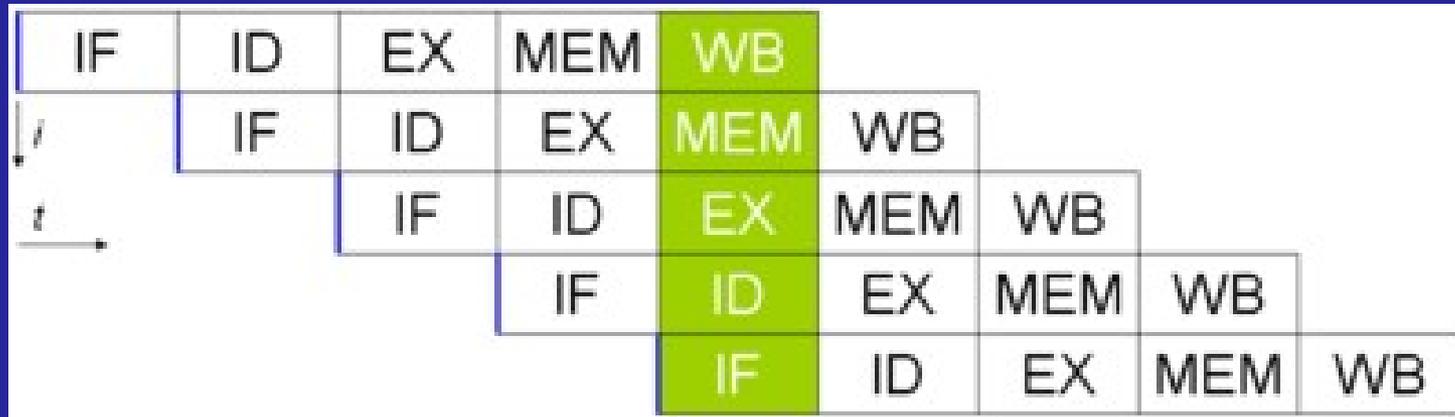
**Cray-2 (4 cpu's)  
1.9 Gflop/s peak  
195 kW 2.5 ton**



# Mainframes, estações de trabalho e PC's

- **Mainframes: de escrever programa a mão e perfurar cartões e pegar listagens para terminais de usuários**
- **Microcomputadores/microprocessadores foram evoluindo (IBM PC 1981)**
- **Estações de trabalho - anos 90**
- **UNIX & linguagem C (Bell Labs década de 70)**
- **LINUX - p/ Intel x86 e expandida... (PADRÃO)**

# A busca por desempenho: **PIPELINING**



1 CPU de 1 GHz e 2 pipelines FP = 2 Gflop/s?

- Fluxo de instruções independentes!
- Todos estágios duração 1 ns (max)
- Ex: AMD Opteron 12/17 estág. INT/FP

# A busca por desempenho: **RISC x CISC**

- Hardware -> <- software
- **CISC** (complex instruct. set computing)
- **Microprogramação**
- **RISC** (reduced instruct. set computing)  
“simples e poucas”, melhor pipelining, instr. exclusivas acesso memória; ex. RISC-6000 IBM
- máquinas atuais: “mistura” CISC/RISC

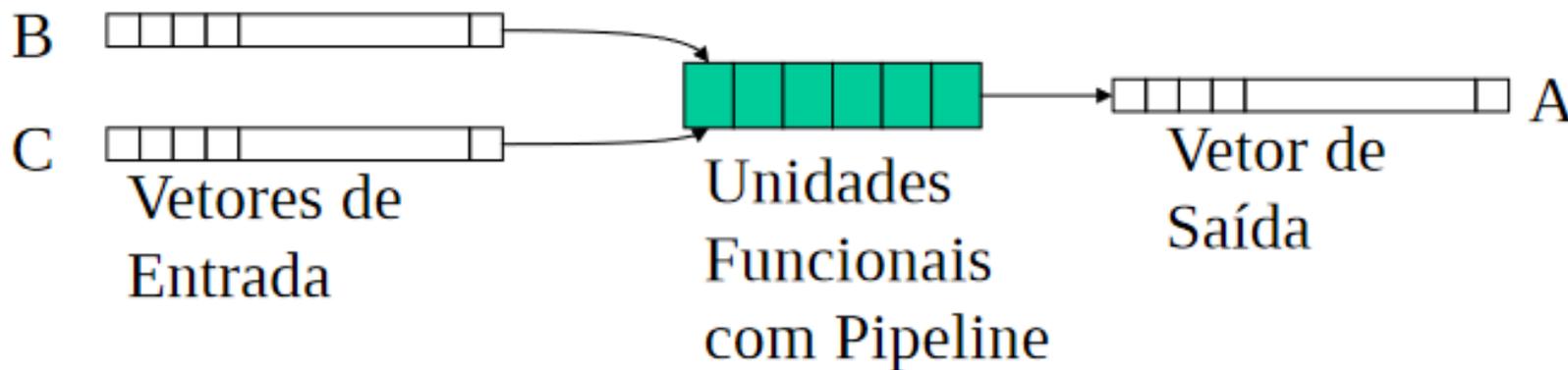
# A busca por desempenho: VETORIZAÇÃO - I

- **Processadores vetoriais: instruções vetoriais, registradores vetoriais e pipelining eficiente - em extinção?**
- **Aceleradores/servidores AURORA TSUBASA/NEC**  
**[https://www.nec.com/en/global/solutions/hpc/sx/vector\\_engine.html](https://www.nec.com/en/global/solutions/hpc/sx/vector_engine.html)**
- **Vetorização implementada em máquinas escalares (PCs) por instruções multimídia MMX/SSE suportadas por compiladores;**

# A busca por desempenho: VETORIZAÇÃO - II

- Exemplo:  $A = B + C$

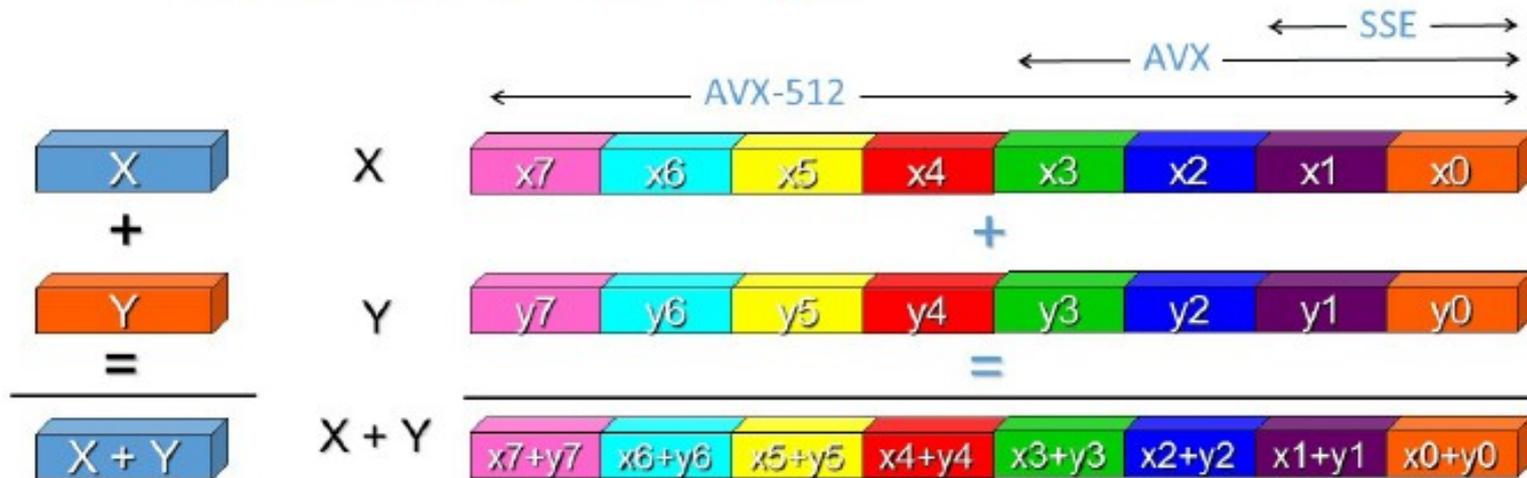
$A, B, C$  : vetores



# A busca por desempenho: VETORIZAÇÃO - III

Vetorização nos processadores/cores atuais com registradores vetoriais de até 512 bits (por ex. Intel - instruções AVX-512)

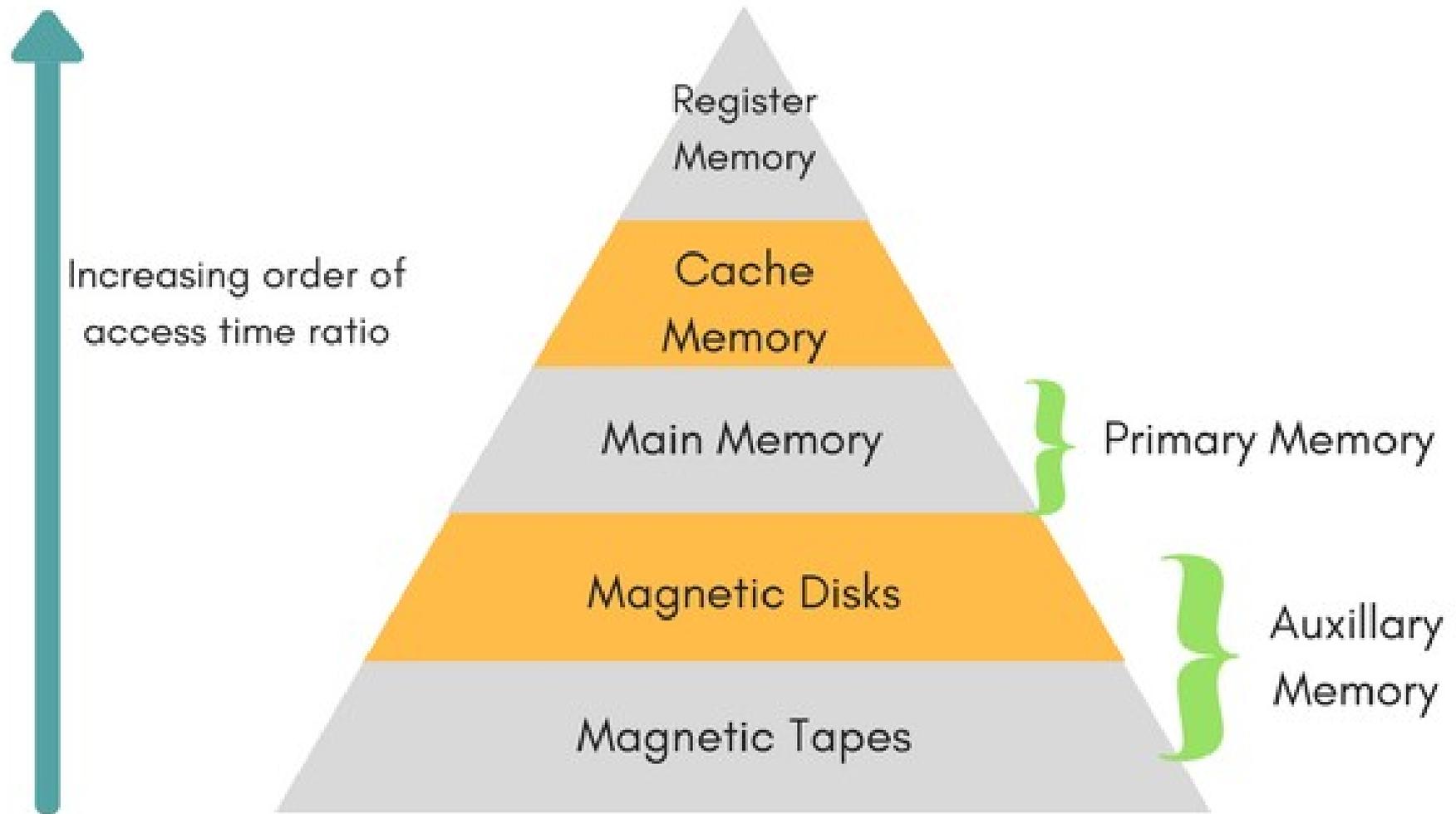
```
double *x, *y, *z;
for (i=0; i<n; i++) z[i] = x[i] + y[i];
```



# A busca por desempenho: OTIMIZAÇÃO DA MEMÓRIA

- **clock dos processadores é sempre mais rápido que o da memória...**
- **uso de hierarquia de memória (níveis de cache), memória virtual, etc.**
- **Arquiteturas para evitar contenção ao acesso à memória entre procs./cores.**
- **cache hit > 95% !!!!**
- **memória abundante (64-bits) e barata**

# Hierarquia de memória



# Intel Skylake – Hierarquia de Cache (Cray XC-50, Bull Santos Dumont)

**L1 instruction cache: 32 KB, private to each core; 64 B/line; 8-way; ; fastest latency: 4 cycles**

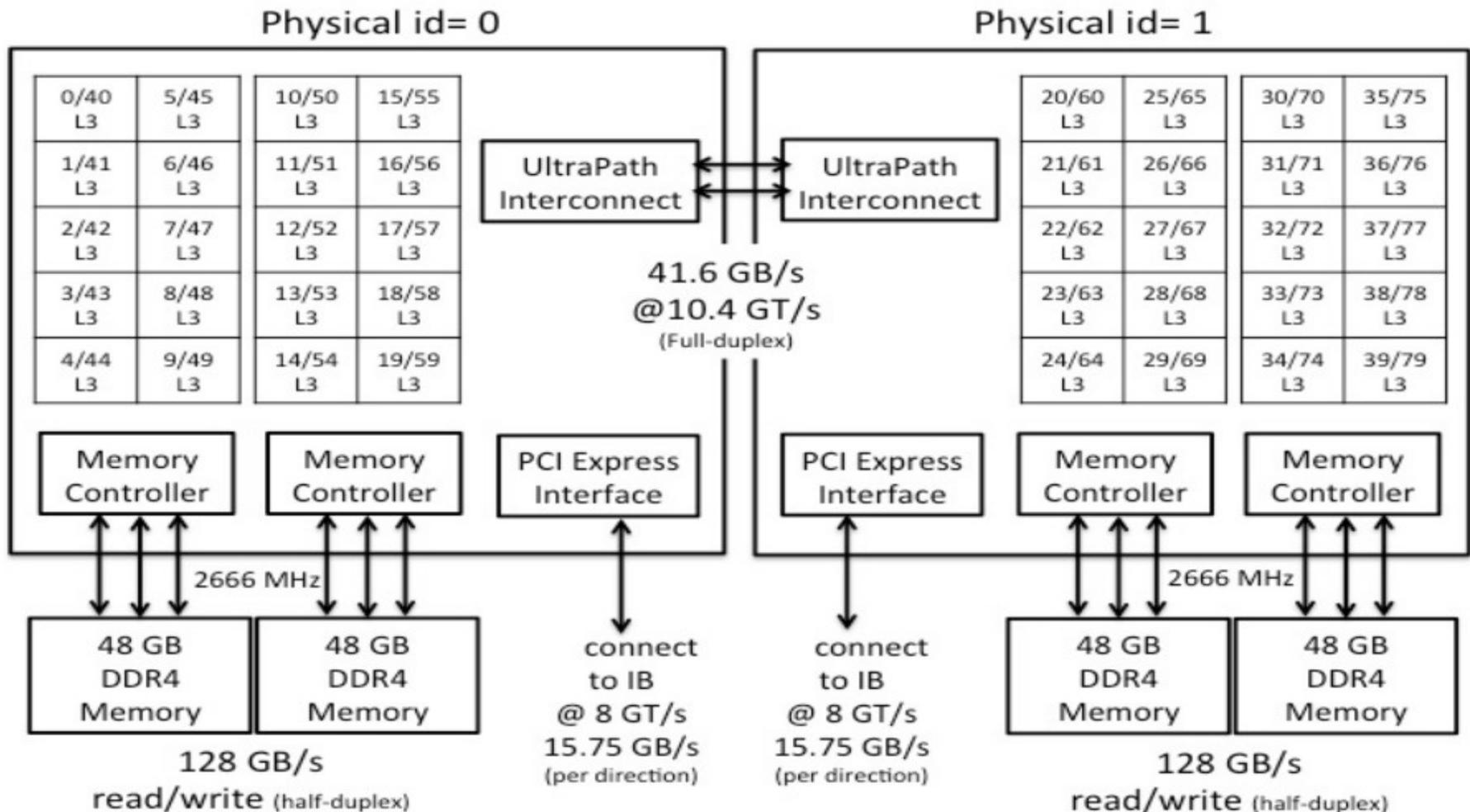
**L1 data cache: 32 KB, private to each core; 64 B/line; 8-way; fastest latency: 4 cycles**

**L2 cache: 1 MB, private to each core; ; 64 B/line; 16-way; fastest latency: 12 cycles**

**L3 cache: shared non-inclusive 1.375 MB/core; total of 27.5 MB, shared by 20 cores in each socket; fully associative; fastest latency: 44 cycles**

# Ex. cache - Intel Skylake scalable performance (SP) node

## Configuration of a Skylake-SP Node



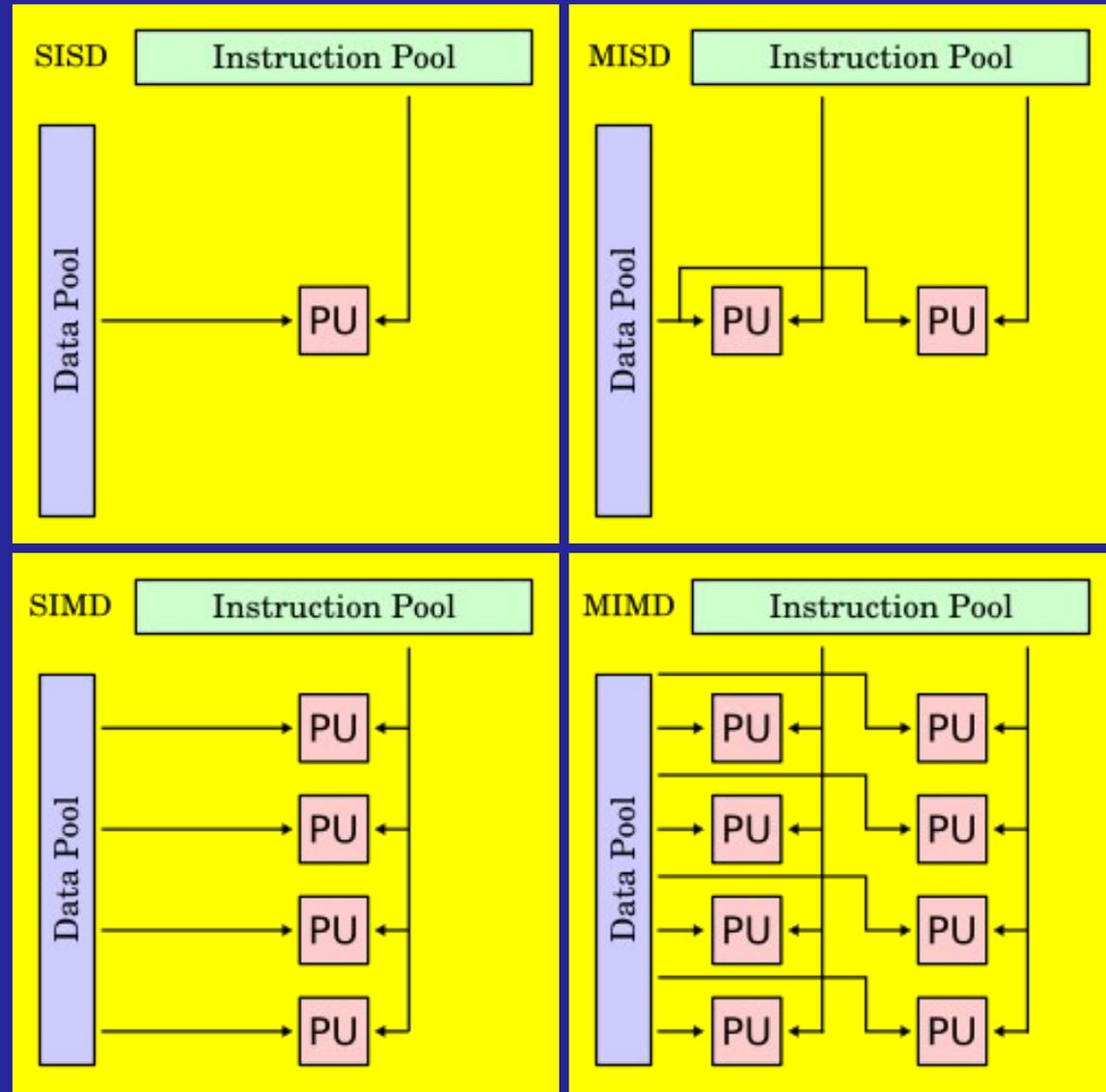
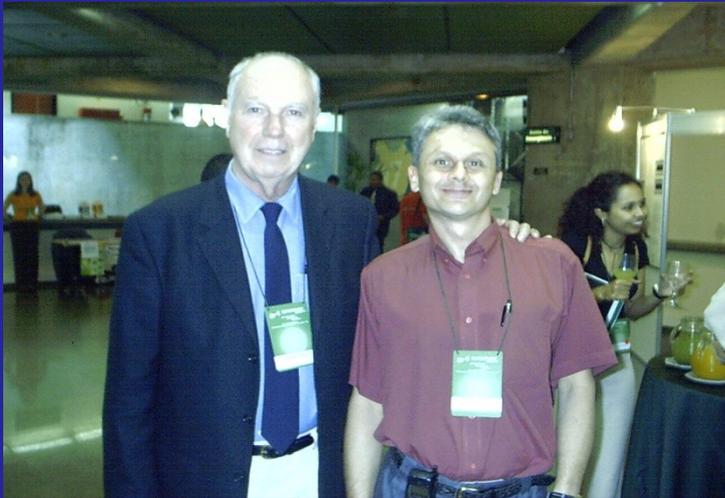
# A busca por desempenho: PARALELISMO

- Instruction level paralelism - explora técnicas para executar várias instruções concorrentemente - depende do H/W do processador e compilador otimizante (fluxo contínuo instruções independentes)
- multi-threading
- Multiprocessamento exige programação paralela, bibliotecas (MPI, OpenMP, etc.)

# A busca por desempenho: PARALELISMO

- escalabilidade - vai rodar mais rápido (*speed-up*) com mais processadores?
- granularidade, custos de computação e de comunicação.
- balanceamento de carga
- gargalos sequenciais, lei de Amdahl !!!
- novos algoritmos paralelos !!!

# A busca por desempenho: TAXONOMIA DE FLYNN (1966)

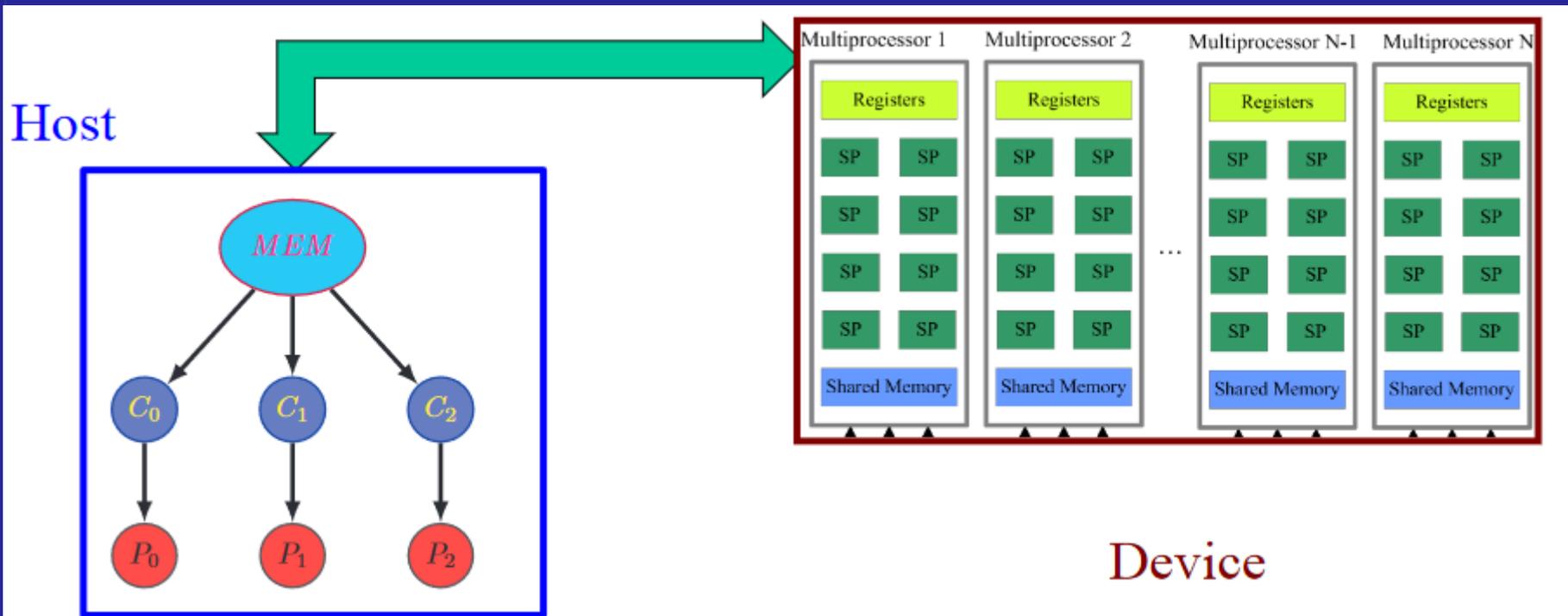


# A busca por desempenho: ACELERADORES DE PROCESSAMENTO

- GPU, Intel Phi, FPGA, vector engine NEC,
- portabilidade de código?
- dependência CUDA e/ou compiladores específicos
- bibliotecas OpenAcc, OpenMP, OpenCL perdem em desempenho...

# A busca por desempenho: SISD -> MIMD e SIMD/SIMT

- H/W MIMD = multiproc. + multicore
- H/W SIMD (instruc. vetor. proc. escalar.)
- H/W SIMT (instruc. vetor. GPU's - warp)



# A busca por desempenho: BENCHMARKS

- benchmarks - o que são?
- várias métricas de desempenho
- Gflop/s, Tflop/s, Pflop/s, Eflop/s ???
- benchmarks: [www.spec.org](http://www.spec.org)
- lista TOP-500: [www.top500.org](http://www.top500.org) emprega  
LinPack & HPCG
- e o seu software?

# Quem precisa de supercomputadores?

- HPC = HIGH PERFORMANCE COMPUTING
- **previsão do tempo, modelagem ambiental, mecânica dos fluídos computacional, bombas atômicas, sismologia, etc.**
- **indústria do petróleo (Petrobrás)**
- **indústria entretenimento, Internet**
- **decriptografia, contraespionagem, etc.**
- **serviços públicos (correios, receita, etc.)**

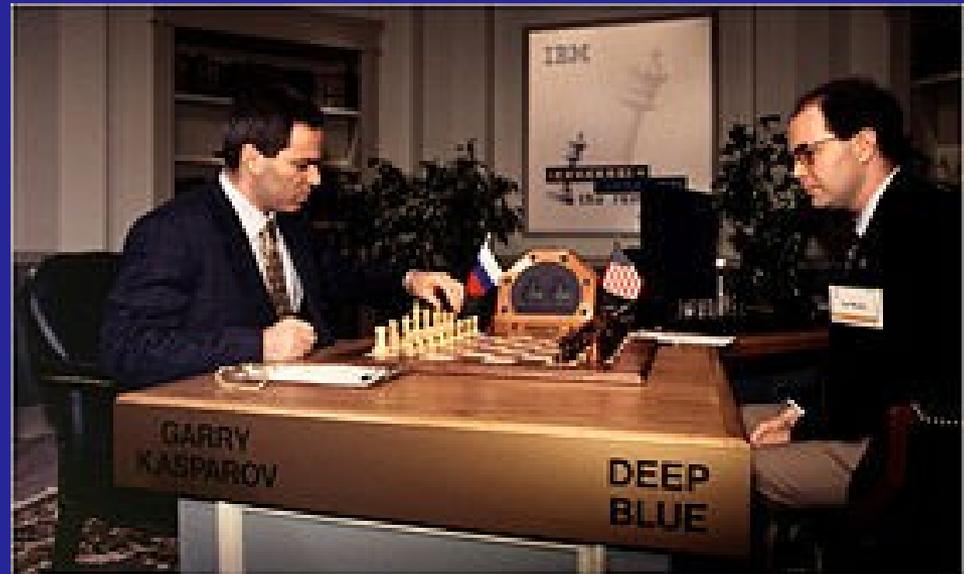
# Quem precisa de supercomputadores?

- **5 centros de supercomputação do National Science Foundation (EUA), como o NCSA da Univ. Illinois at Urbana-Champaign.**
- **supercomputadores dos laboratórios nacionais EUA como o ASCI Blue Mountain de Los Alamos.**
- **7 CENAPAD's - Sistema Nacional Processamento de Alto Desempenho (LNCC, COPPE/UFRJ, UFMG, UNICAMP, UFRGS, UFPE, CPTEC/INPE)**

# Supercomputadores:

## Deep Blue IBM x Garry Kasparov

- para jogar xadrez x campeão mundial
- venceu torneio em 1997
- 30 procs. RISC-6000 & H/W específico (xadrez)
- 11.38 Gflop/s



# Supercomputadores:

## Earth Simulator (Yokohama, Japão)

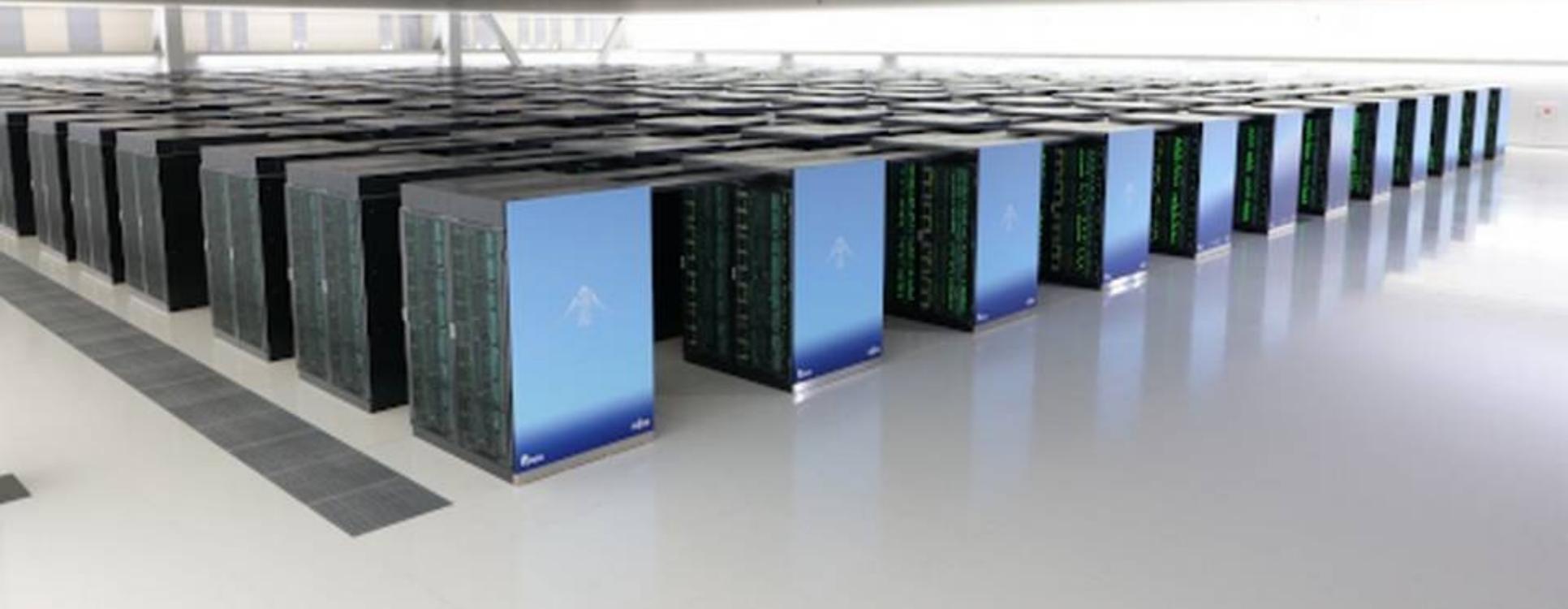
-O mais rápido **2002-2004** para executar modelos climáticos globais, de aquecimento global e de geofísica, modelando atmosfera e oceanos.

arquitetura do NEC SX-6: 640 nós x 8 procs.  
Vetoriais = 5.120 ou 56 Gflop/s por nó ou 36 Tflop/s totais, 16 GB memória, 700 TB disco e 6.400 kilowatt de consumo de eletricidade !!! (1.500 chuveiros elétricos)

# Supercomputador FUGAKU - FUJITSU

(process. ARM - Advanced RISC Machine)  
(o mais rápido na TOP500 nov./2020)

7,6 milhões cores, nós 2x proc. 48-core  
ARM, quase 80 mil nós, aprox. 400  
gabinetes



# COMPUTAÇÃO VERDE

**Diminuição consumo energia (“baixar” clock, usar múltiplos cores - 64?, miniaturizar, etc.) Hoje, supercomputadores com até **26 (Gflop/s)/W****

- Intel Pentium 100 MHz ( 10 W )
- Intel Pentium IV 3.6 GHz ( 115 W )
- Intel Itanium-2 1.66 GHz ( 122 W )
- Intel Xeon 3.2 GHz ( 110 W )
- Intel Xeon 3.5 GHz dualcore ( 150 W )
- Intel Core Duo 2.16 GHz ( 31 W )
- Intel Pentium M 2.16 GHz ( 27 W )
- AMD Turion-64 2.4 GHz ( 35 W )

# Supercomputadores:

39

## **SANTOS DUMONT – LNCC 2015 (upgrade em 2019)**



# Supercomputadores:

40

## SANTOS DUMONT – LNCC 2015 (upgrade em 2019)



# Supercomputadores:

41

## **SANTOS DUMONT – LNCC 2015 – configuração original**

- **504 nodes B710 com 2 x 12-core Intel Xeon Ivy Bridge 2.4 GHz (64 GB memória)**
- **198 nodes B715 (idem ao B710) + GPU Nvidia K40**
- **54 nodes B715 (idem ao B710) + Intel Xeon PHI**
- **1 node MESCA-2 com 16 x 15-core CPU Intel Xeon Ivy Bridge 2.4 GHz (6 TB memória)**

# Supercomputadores:

42

## **SANTOS DUMONT – LNCC** **Upgrade 2019 (nós adicionais)**

- **282 nodes Sequana-X (CPU) com 2x 24-core Intel Xeon Cascade Lake Gold 6252, sendo 246 nodes (384 GB memória) e outros 26 nodes (768 GB memória)**
- **94 nodes Sequana-X (GPU), com 2x 24-core Intel Xeon Cascade Lake Gold 2.1 GHz, e 4x GPUs Nvidia Volta V100 16 GB NVLink (384 GB memória)**
- **1 node para IA com 2x 20-core Intel Xeon Skylake Gold 2.4 GHz e 8x GPUs Nvidia Tesla V100 16 GB com NVLink (384 GB memória)**

# Supercomputadores:

43

## INPE – CPTEC

**-NEC SX-3 (1994)** - apenas 1 nó, 1 único processador vetorial, ciclo de 2.5 ns (400 MHz) com 8 pipelines, 3.2 Gflop/s, refrig. água., 1º. supercomp. do Brasil?

**-NEC SX-4 (1998)** - 1 nó com 8 processadores vetoriais, com 2 Gflop/s por proc. ou 16 Gflop/s totais, memória



# Supercomputadores:

## INPE - CPTEC

**NEC SX-6 (2002/2004) - 12 nós x [8 process. vetoriais] (96), memória 768 GB, 16 TB disco, 50 km cabos, peso 13.5 t, 8 Gflop/s por proc. ou 768 Gflop/s.**

**UNA-1 NEC/Sun (2007) - 275 nós escalares 2 x dual-core Opteron 64-bits 2.6 GHz total 1.100 procs. 5.2 Gflop/s por core ou 5.72 Tflop/s e rede Infiniband.**

# Cluster Beowulf COPDT/INPE 2001-2005 (Projeto FAPESP R\$40.000)

45

→ **suite compiladores PGI, 17 nós  
monoprocessados single-core, AMD 1.33 GHz  
(upgrade p/ 1.66 GHz), 512 MB/nó, switch Fast  
Ethernet (100 Mbits/s)**



# Cluster híbrido (GPU/Intel-Phi/FPGA) COPDT/INPE

- **16 nodes (2 x 8-core procs. Intel Xeon E5-2660 2.2GHz)**
- **2 x 512 GB Mem DDR3 12 MB L3 (128 GB/node)**
- **8 Infiniband 56 G bps connectors & switch**
- **16 x nVidia Tesla K20C Kepler GPU Card (2/node)**
- **8 x 1620W Platinum Level power supply**
- **8 HDD 600 GB SAS 10K RPM**
- **8 Virtex-5 FPGA (1/node)**
- **1 Virtex-5 LXT ML555 FPGA Development Kit**

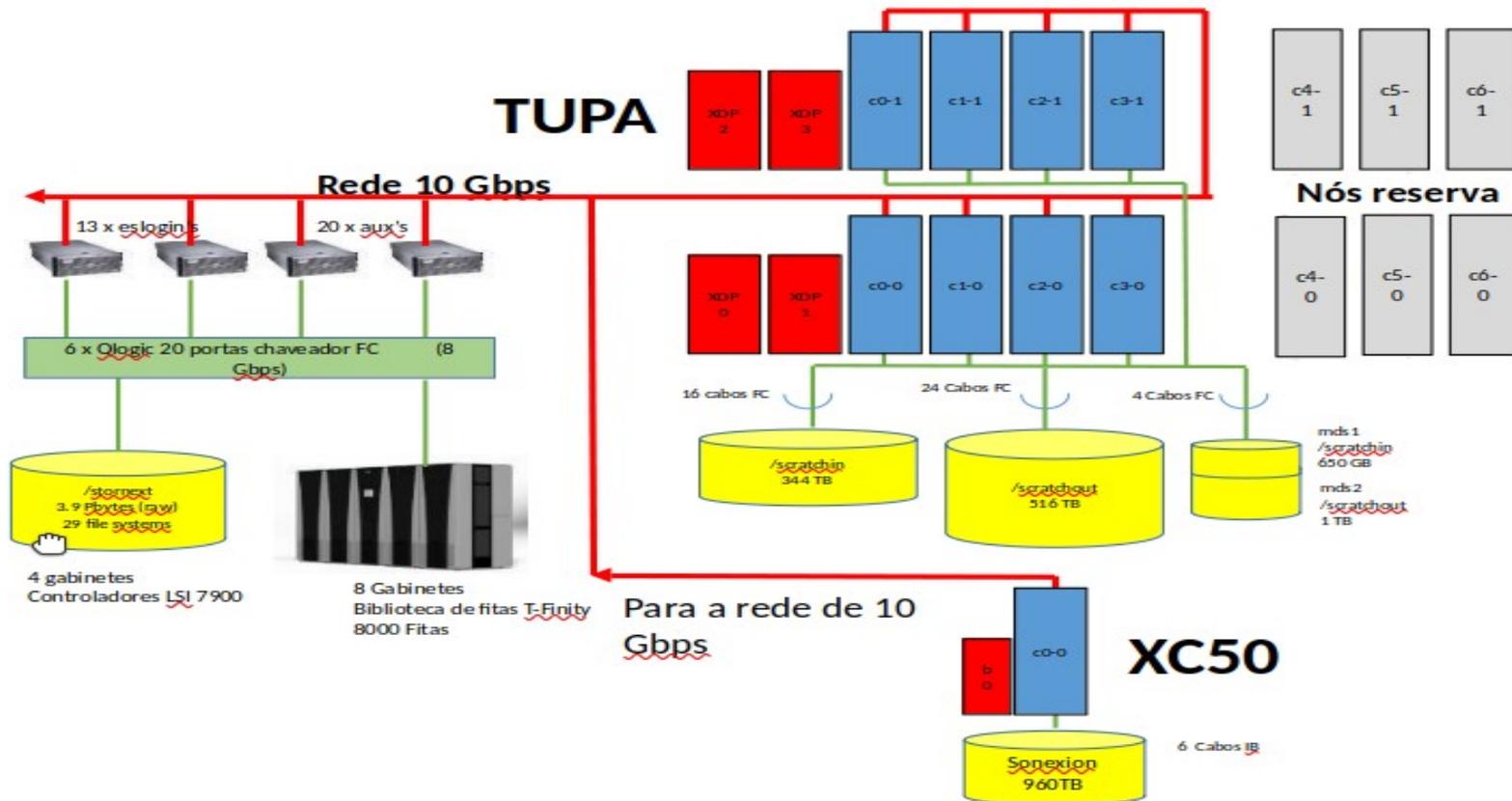
# Supercomputadores: TUPÃ (2010-2018) - CPTEC/INPE

**CRAY XE-6 - 65 nós “auxiliares” + 1304 nós  
processamento 2 x 12-core AMD Opteron 2.1 GHz  
memória 32 GB/nó, Cray Gemini Interconnect, 258  
Tflop/s ou 205 (Linpack)**



# Supercomputadores: XC-50 (2018) - CPTEC/INPE

**CRAY XC-50 - 102 nós 2x20-core Intel Xeon  
Skylake (4080 cores) rede Aries, 313 Tflop/s**



# Ranking Top 500 - mundial

[www.top500.org](http://www.top500.org)

- <https://www.top500.org/lists/top500/2020/11/>
- <https://www.top500.org/lists/hpcg/hpcg-november-2020/>
- <https://www.top500.org/lists/green500/2020/11/>
- <https://www.top500.org/lists/top500/2019/11/>
- <https://www.top500.org/lists/top500/2017/11/>

# Ranking Top 500 (Brasil - nov/2020)<sup>50</sup>

Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
65	<b>Atlas</b> - Bull 4029GP-TVRT, Xeon Gold 6240 18C 2.6GHz, NVIDIA Tesla V100, Infiniband EDR, Atos Petróleo Brasileiro S.A Brazil	91,936	4,376.0	8,848.5	547
97	<b>Fênix</b> - Bull 4029GP-TVRT, Xeon Gold 5122 4C 3.6GHz, NVIDIA Tesla V100, Infiniband EDR, Atos Petróleo Brasileiro S.A Brazil	60,480	3,161.0	5,371.8	390
276	<b>Santos Dumont (SDumont)</b> - Bull Sequana X1000, Xeon Gold 6252 24C 2.1GHz, Mellanox InfiniBand EDR, NVIDIA Tesla V100 SXM2, Atos Laboratório Nacional de Computação Científica Brazil	33,856	1,849.0	2,727.0	
431	<b>Ogbon Cimatec/Petrobras</b> - Bull Sequana X1000, Xeon Gold 6240 18C 2.6GHz, Mellanox InfiniBand EDR, NVIDIA Tesla V100 SXM2, Atos SENAI CIMATEC Brazil	27,768	1,605.0	2,323.3	

# Ranking Top 500 (Brasil - jun/2016) 51

RANK	SITE	SYSTEM	CORES	RMAX (TFLOP/S)	RPEAK (TFLOP/S)	POWER (KW)
265	Laboratório Nacional de Computação Científica Brazil	<b>Santos Dumont GPU</b> - Bullx B710, Intel Xeon E5-2695v2 12C 2.4GHz, Infiniband FDR, Nvidia K40 Bull, Atos Group	10,692	456.8	657.5	
323	SENAI CIMATEC Brazil	<b>CIMATEC Yemoja</b> - SGI ICE X, Intel Xeon E5-2690v2 10C 3GHz, Infiniband FDR SGI	17,200	405.4	412.8	
364	Laboratório Nacional de Computação Científica Brazil	<b>Santos Dumont Hybrid</b> - Bullx B710, Intel Xeon E5-2695v2 12C 2.4GHz, Infiniband FDR, Intel Xeon Phi 7120P Bull, Atos Group	24,732	363.2	478.8	
433	Laboratório Nacional de Computação Científica Brazil	<b>Santos Dumont CPU</b> - Bullx B71x, Intel Xeon E5-2695v2 12C 2.4GHz, Infiniband FDR Bull, Atos Group	18,144	321.2	348.4	

# Ranking Top 500 (Brasil - jun/2015)<sup>52</sup>

Rank	System	Cores	(TFlop/s)	(TFlop/s)	(kW)
146	<b>Santos Dumont GPU</b> - Bullx B710, Intel Xeon E5-2695v2 12C 2.4GHz, Infiniband FDR, Nvidia K40, Atos Laboratório Nacional de Computação Científica Brazil	10,692	456.8	657.5	371
165	<b>CIMATEC Yemoja</b> - SGI ICE X, Intel Xeon E5-2690v2 10C 3GHz, Infiniband FDR, HPE SENAI CIMATEC Brazil	17,200	405.4	412.8	2,580
178	<b>Santos Dumont Hybrid</b> - Bullx B710, Intel Xeon E5-2695v2 12C 2.4GHz, Infiniband FDR, Intel Xeon Phi 7120P, Atos Laboratório Nacional de Computação Científica Brazil	24,732	363.2	478.8	859
208	<b>Santos Dumont CPU</b> - Bullx B71x, Intel Xeon E5-2695v2 12C 2.4GHz, Infiniband FDR, Atos Laboratório Nacional de Computação Científica Brazil	18,144	321.2	348.4	630
285	<b>Grifo04</b> - Itautec Cluster, Xeon X5670 6C 2.930GHz, Infiniband QDR, NVIDIA 2050, Itautec Petróleo Brasileiro S.A Brazil	17,408	251.5	563.4	366
347	<b>Top</b> - Cray XE6, Opteron 6172 12C 2.10GHz, Cray Gemini interconnect, Cray/HPE INPE (National Institute for Space Research) Brazil	31,104	214.2	261.3	

# Ranking Top 500 (Brasil - jun/2013)

53

Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
123	<b>Grifo04</b> - Itaotec Cluster, Xeon X5670 6C 2.930GHz, Infiniband QDR, NVIDIA 2050, Itaotec Petróleo Brasileiro S.A Brazil	17,408	251.5	563.4	366
146	<b>Tup</b> - Cray XE6, Opteron 6172 12C 2.10GHz, Cray Gemini interconnect, Cray/HPE INPE [National Institute for Space Research] Brazil	31,104	214.2	261.3	
220	<b>Grifo06</b> - Itaotec Cluster, Xeon E5-2643 4C 3.300GHz, Infiniband FDR, NVIDIA 2075, Itaotec Petróleo Brasileiro S.A Brazil	10,368	160.3	357.5	

# Ranking Top 500 (Brasil - nov/2010)<sup>54</sup>

Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
29	Tup - Cray XT6 12-core 2.1 GHz, Cray/HPE INPE (National Institute for Space Research) Brazil	30,720	205.1	258.0	
117	Galileu - Sun Blade x6048, Xeon X5560 2.8 Ghz, Infiniband QDR, Oracle NACAD/COPPE/UFRJ Brazil	6,464	64.6	72.4	430

# Processamento de Alto Desempenho no programa pós-grad. CAP/INPE

- **curso PAD (CAP-372)**

- **curso PAD avançado (CAP-399)**

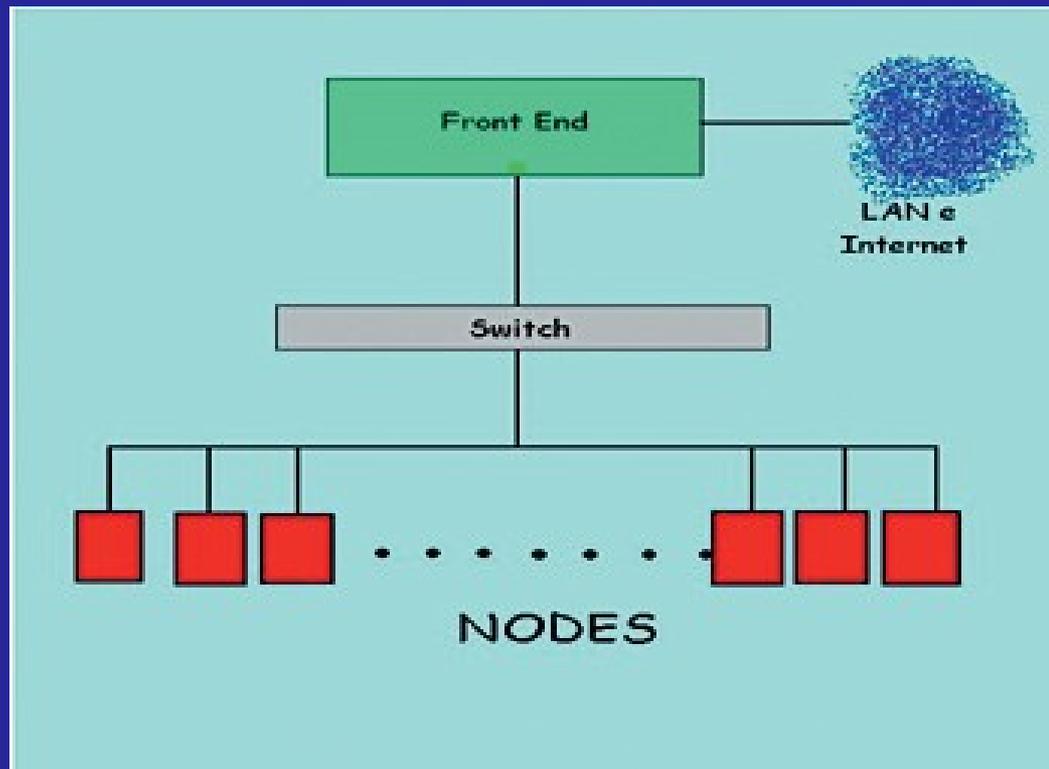
**(Celso Luiz Mendes, Stephan Stephany)**

**mestrados e doutorados em PAD, com ênfase na  
paralelização de aplicativos, acesso ao  
supercomputador Santos Dumont (LNCC)**

- **demanda por PAD (CPTEC, Embraer, Petrobrás,  
institutos de pesquisa, etc.)**

# MPI (Message Passing Interface) <sup>56</sup>

Biblioteca de comunicação por troca de mensagens ([www.mcs.anl.gov/mpi/](http://www.mcs.anl.gov/mpi/)) para computadores de **memória compartilhada e/ou distribuída** e programação com F77/F90 /C/C++



# Programas para arquiteturas multi-core

- ❖ **Semanticaente: core = núcleo = CPU**
- ❖ **Eficiência = escolha algoritmo conveniente + bom compilador (uso dos pipelines, acesso à memória, ou seja, executável otimizado) + paralelização adequada (granularidade, minimizar comunicação) + hardware (memória, bus, etc.)**
- ❖ **Não adianta paralelizar programa ineficiente...**
- ❖ **“Memory wall” ocorre pois o cache L3 e a memória principal são compartilhados !!!**

# THREADS & OPENMP

## MULTITHREADING:

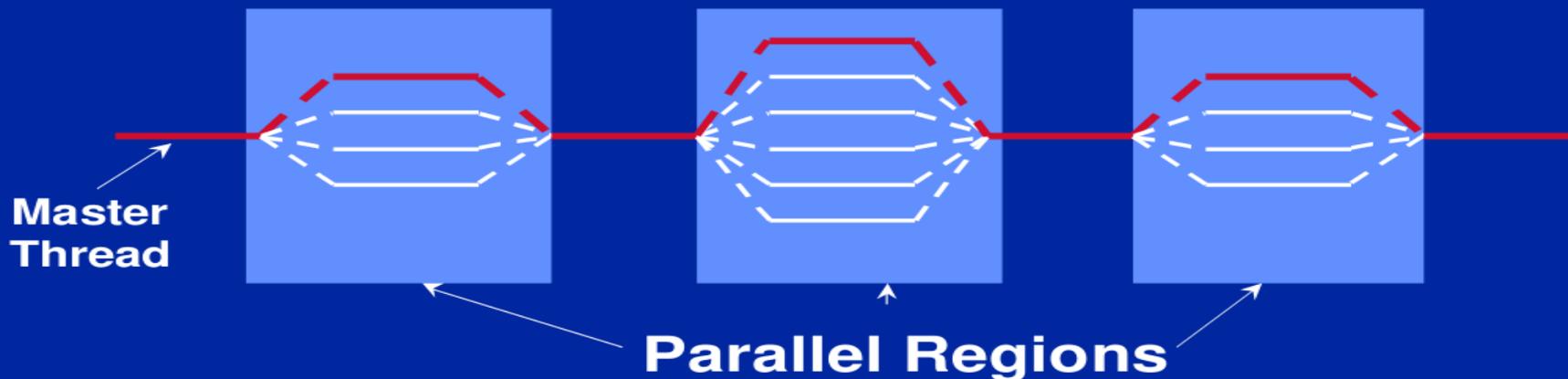
- ❖ Cores/núcleos de processadores tem 2 ou mais pipelines ponto-flutuante provendo mais um nível de paralelização;
- ❖ Sistema operacional provê escalonamento de threads em pipelines do mesmo core e/ou outros;
- OPENMP: baseado em threads ([www.openMP.org](http://www.openMP.org)), usa diretivas de paralelização baseada em threads para F77/F90 /C/C++ e execução somente em arquiteturas de **memória compartilhada**;

# Paralelismo OPENMP I

## OpenMP: Programming Model

### Fork-Join Parallelism:

- ◆ Master thread spawns a team of threads as needed.
- ◆ Parallelism is added incrementally: i.e. the sequential program evolves into a parallel program.



# Paralelismo OPENMP II

## OpenMP: How is OpenMP typically used?

- OpenMP is usually used to parallelize loops:
  - Find your most time consuming loops.
  - Split them up between threads.

Split-up this loop between multiple threads

```
void main()
{
    double Res[1000];
    for(int i=0;i<1000;i++) {
        do_huge_comp(Res[i]);
    }
}
```

Sequential Program

```
void main()
{
    double Res[1000];
    #pragma omp parallel for
    for(int i=0;i<1000;i++) {
        do_huge_comp(Res[i]);
    }
}
```

Parallel Program