

INE5607 – Organização e Arquitetura de Computadores

Unidade Central de Processamento

Aula XX: Multiprocessadores,
multicomputadores, processadores e
plataformas modernas

Prof. Laércio Lima Pilla

laercio.pilla@ufsc.br



Sumário

- Classificação de computadores
- Multiprocessadores
- Multicomputadores
- Taxonomia de Flynn
- MIPS
- Computação heterogênea
- Supercomputadores
- Considerações finais

CLASSIFICAÇÃO DE COMPUTADORES

Classificação de computadores

- Qual a importância de classificações?
 - **Identificar os critérios** de classificação
 - Analisar todas possibilidades
 - **Características semelhantes, soluções semelhantes**
 - Evitar repetição de trabalho

Classificação de computadores

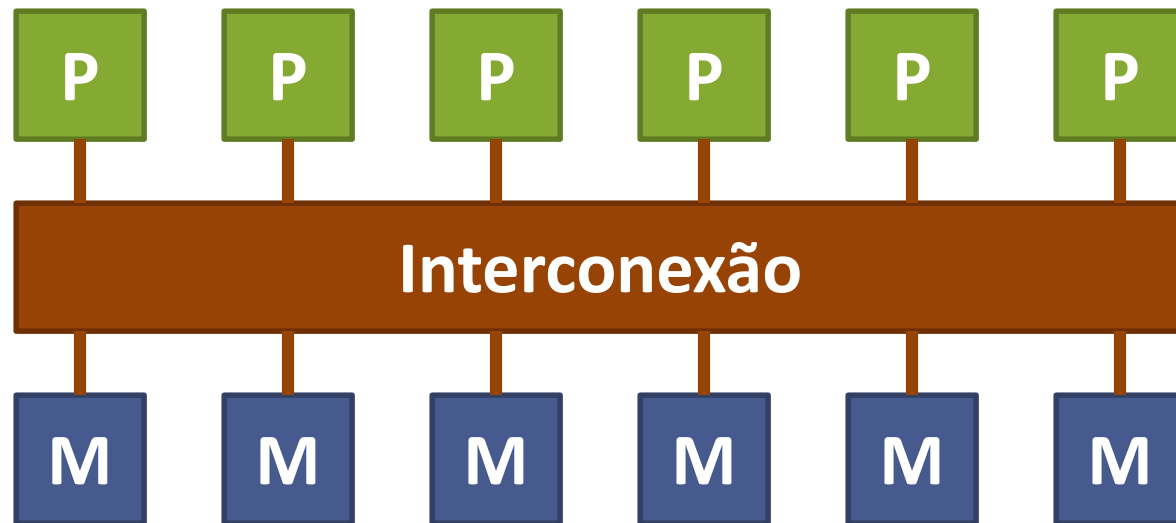
- Exemplos de classificações
 - Classificação segundo o compartilhamento de memória
 - Taxonomia de Flynn

Classificação de computadores

- Memória pode ser
 - **Compartilhada** vs **Não compartilhada**
 - Os processadores compartilham um espaço de endereçamento?
 - Importante para programação
 - **Centralizada** vs **Distribuída**
 - A memória está em um lugar só ou dividida?

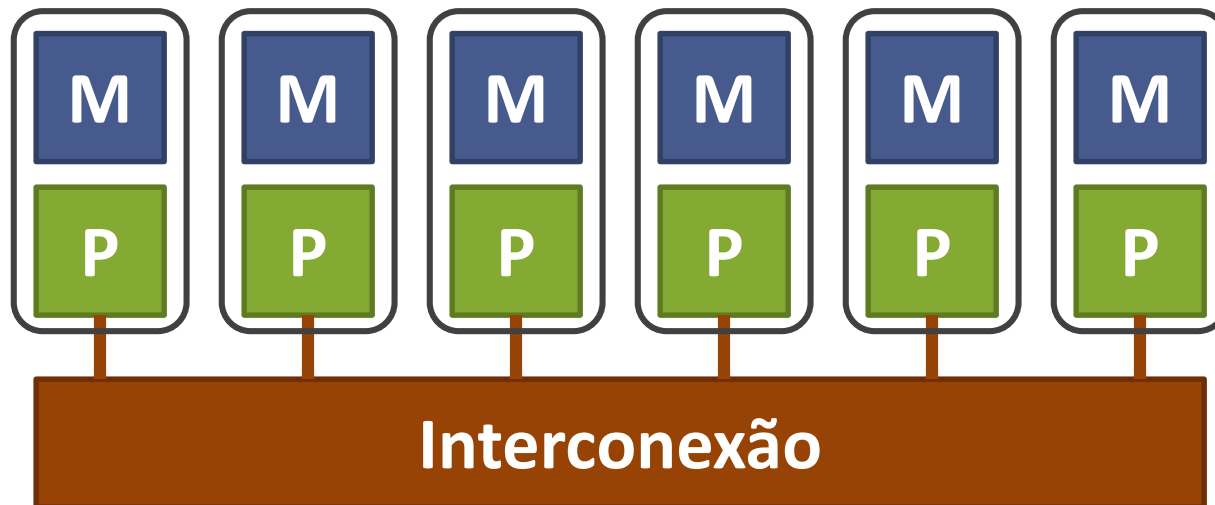
Classificação de computadores

- Multiprocessadores
 - Todos os processadores acessam uma **memória compartilhada**
 - Comunicação através da memória
 - Variáveis compartilhadas



Classificação de computadores

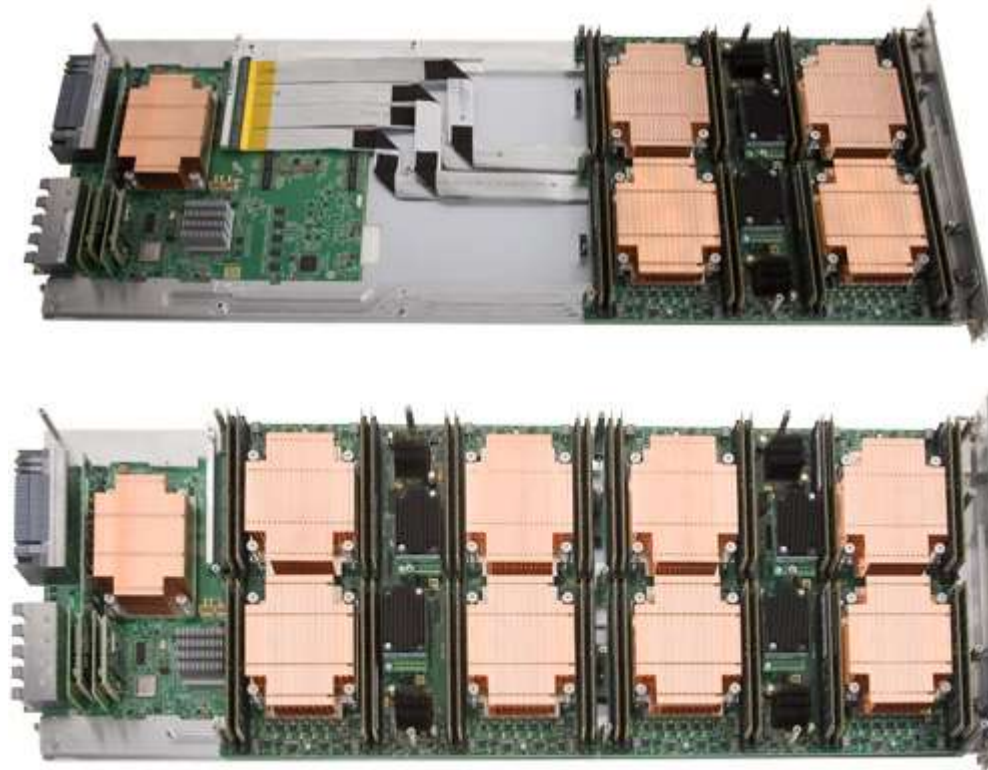
- Multicomputadores
 - Cada processador endereça sua **memória local**
 - Comunicação por **troca de mensagens**
 - Dados precisam ser mandados ou pedidos



MULTIPROCESSADORES

Multiprocessadores

- Ideia
 - Máquina com múltiplos processadores
 - Originalmente sockets diferentes



Multiprocessadores

- Exemplo de multiprocessador atual
 - Multicore!
 - **CMP: *Chip Multiprocessing***

A	A	B	B
A		B	
		B	B
A	A	B	
A	A		
		B	B
A	A		B

Multiprocessadores

- Duas formas de organizar a memória
 - **Memória centralizada**
 - UMA
 - **Memória distribuída**
 - NUMA

Multiprocessadores

- **UMA**

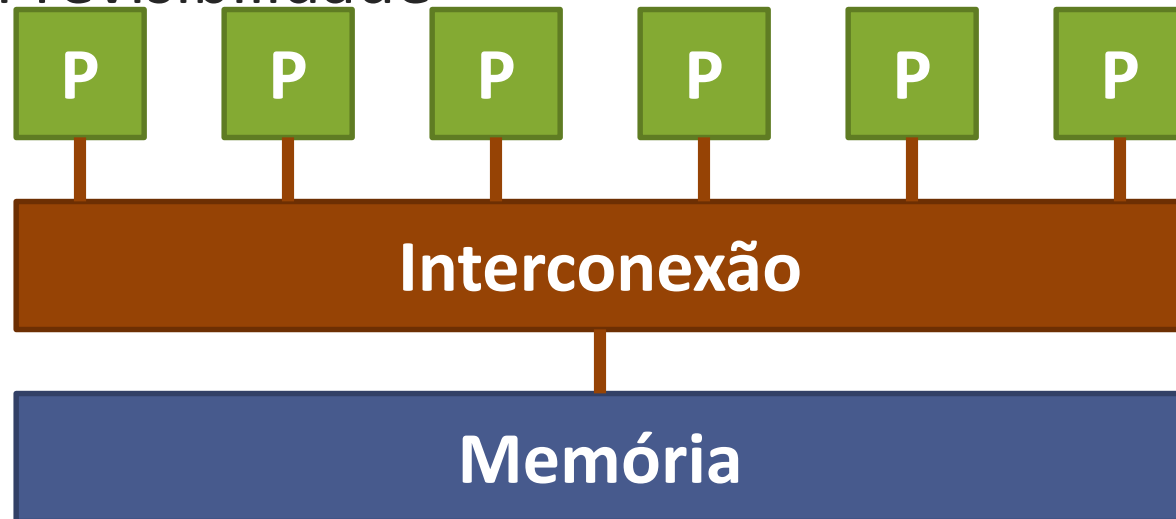
- *Uniform Memory Access*

- Memória centralizada

- Acessos levam o mesmo tempo

- Latência e largura de banda padrão para todos

- Previsibilidade

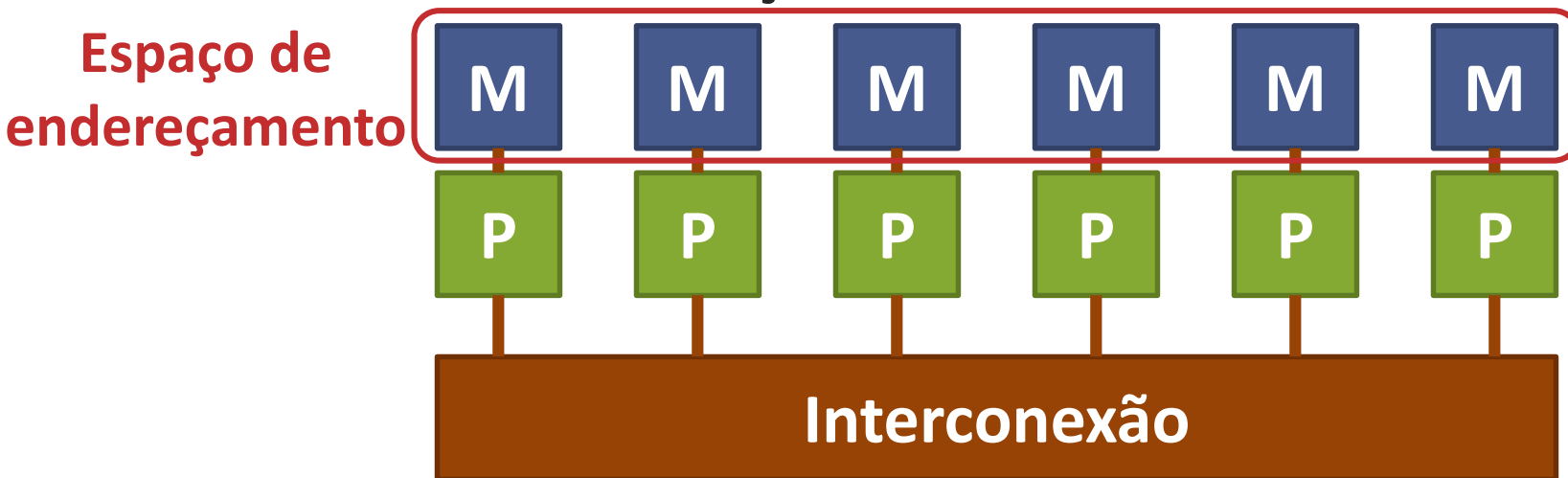


Multiprocessadores

- **NUMA**

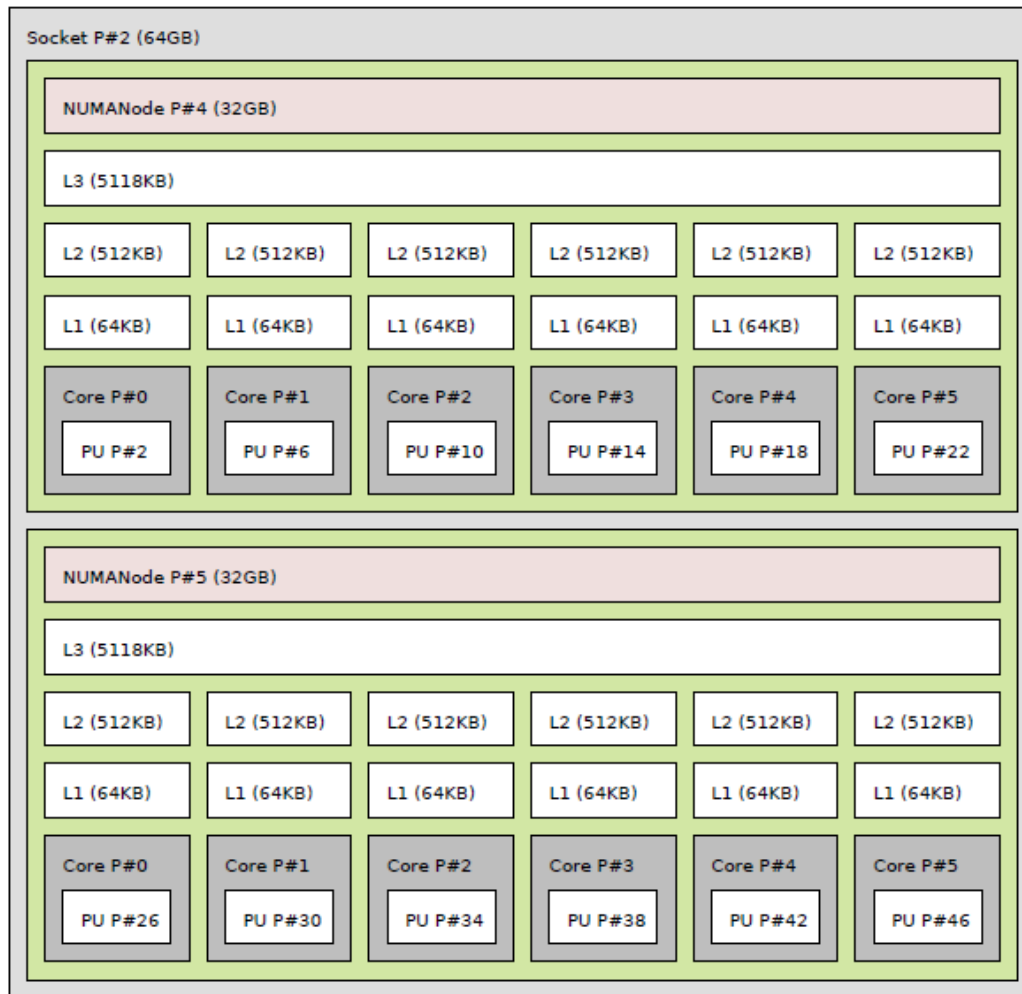
- *Nonuniform Memory Access*
- Memória distribuída
- Tempo de acesso depende se memória local ou remota

- Menor contenção



Multiprocessadores

- Exemplo MC NUMA: AMD Opteron 6174



Multiprocessadores

- Questão
 - Sua empresa desenvolve um simulador de tinta descolando da parede.
 - A simulação sequencial leva 100 segundos.
 - 95% do código é paralelizável.
 - Quanto tempo levaria a aplicação executando em quatro núcleos?

Multiprocessadores

- Questão
 - Sua empresa desenvolve um simulador de tinta descolando da parede.
 - A simulação sequencial leva 100 segundos.
 - 95% do código é paralelizável.
 - Quanto tempo levaria a aplicação executando em quatro núcleos?
 - $T(4) = T(1) * (0,05 + 0,95/4)$
 - $T(4) = 100 * (0,05 + 0,95/4) = 5 + 95/4 = 5 + 23,75$
 - $T(4) = 28,75 \text{ s}$

Multiprocessadores

- Questão
 - Duas opções de máquina para a empresa
 - Máquina UMA com 4 núcleos
 - Máquina NUMA com 4 núcleos
 - Acesso à memória 3x mais rápido
 - Metade dos acessos à memória são remotos e têm latência 4x maior do que os acessos locais
 - 40% do tempo de simulação é passado em acessos à memória
 - Qual a melhor opção?

Multiprocessadores

- Questão

- $T(\text{UMA}) = 28,75 \text{ s}$

- Acesso à memória 3x mais rápido

- Metade dos acessos à memória são remotos e têm latência 4x maior do que os acessos locais

- 40% do tempo de simulação em memória

- $T(\text{NUMA}) = 28,75 * (0,6 + 0,4 * (\text{local} + \text{remoto}) / 3)$

- local = 0,5 (50%), remoto = 0,5 * 4 (latência)

- $T(\text{NUMA}) = 28,75 * (0,6 + 0,4 * 2,5 / 3)$

- $T(\text{NUMA}) = 28,75 * 0,93 = 26,83 \text{ s}$

MULTICOMPUTADORES

Multicomputadores

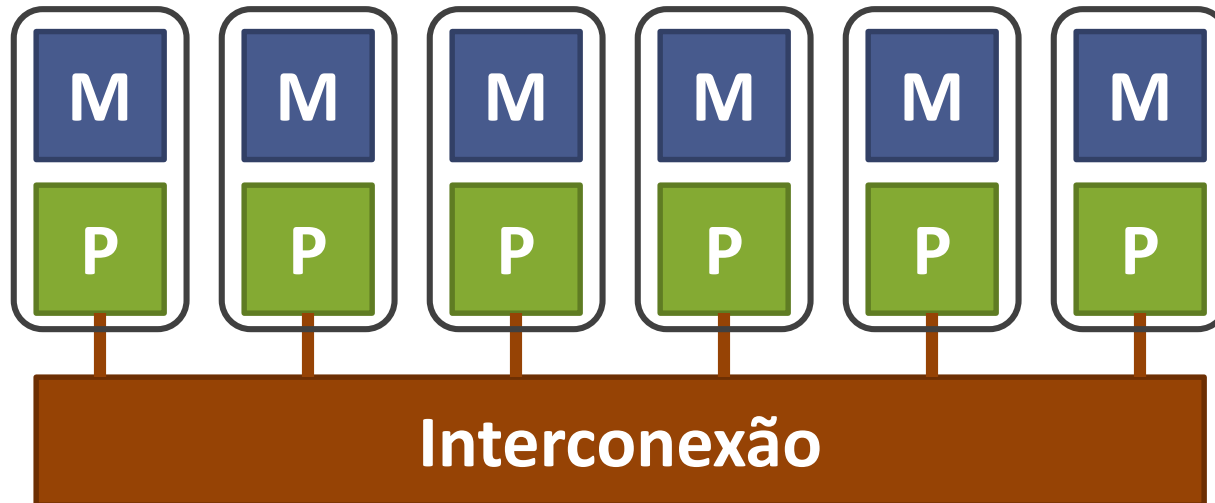
- Ideia
 - **Múltiplos computadores trabalhando em conjunto**
 - **Poder de processamento maior do que apenas um computador**
 - Alguns problemas são complexos demais para se resolver em um desktop apenas



Multicomputadores

- **NORMA**

- *NO Remote Memory Access*
- Computadores inteiros replicados
 - Cada um com sua **própria memória independente**
- Comunicação via troca de mensagens



Multicomputadores

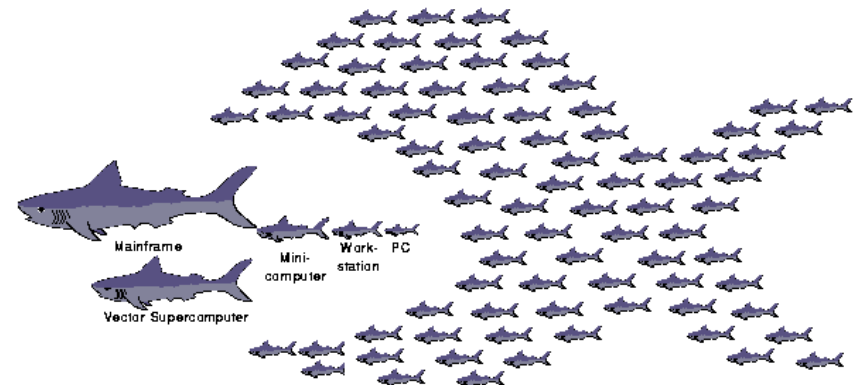
- Diferentes sabores de multicomputadores
 - Network of workstations
 - Clusters
 - Grids
 - Cloud
 - Computação voluntária

Multicomputadores

- NOW
 - *Network of Workstations*
 - **Computadores de trabalho** interligados
 - Rede de interconexão tradicional
 - Baixo custo



The Berkeley NOW Project



Multicomputadores

- *Cluster*
 - **Agregados** de computadores
 - Como NOW, mas para **alto desempenho**
 - Rede padrão ou de baixa latência
 - Componentes redundantes ou não
 - Lâminas ou não



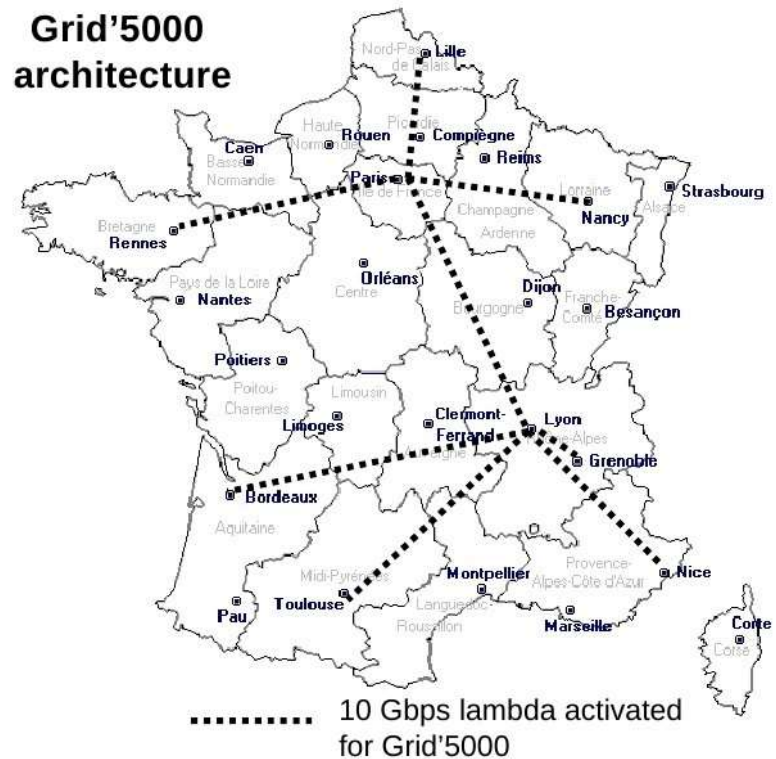
Multicomputadores

- *Grid*
 - **Computação em grade**
 - Máquina composta por **componentes distribuídos**
 - Clusters em **diferentes cidades**, por exemplo
 - Domínios diferentes, **controle não centralizado**
 - Interfaces e protocolos padrão para comunicação

Multicomputadores

- Exemplo:  **Grid'5000**
 - Grade francesa
 - Composta de clusters
 - Mais de 7000 núcleos

Grid'5000
architecture



Multicomputadores

- Cloud
 - Similar a computação em grade
 - **Recursos são utilizados sob demanda**
 - **Dinamicamente escalável**
 - Pagos segundo o uso
 - Recursos são virtualizados
 - Paralelo com a rede elétrica
 - É utilizado sem se preocupar ou entender



Multicomputadores

- Computação voluntária
 - Disponibilização de recursos de computação pessoais para projetos
 - Uso de ciclos ociosos
 - Interconexão pela Internet



<http://folding.stanford.edu/>

TAXONOMIA DE FLYNN

Taxonomia de Flynn

- Michael J. Flynn

- *Some Computer Organizations and Their Effectiveness*

- IEEE Transactions on Computers, 1972.

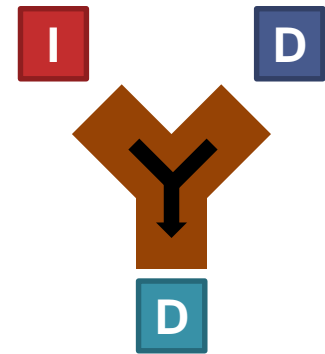
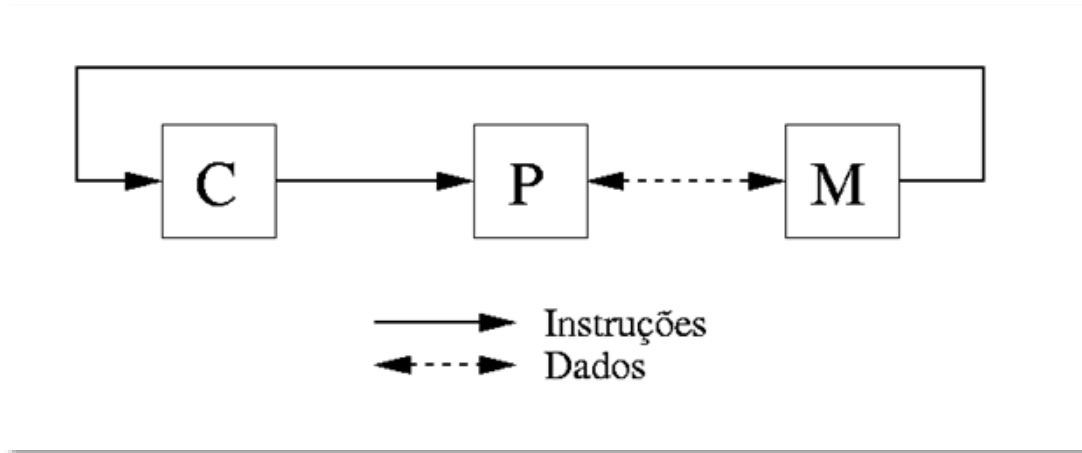
- Classificação baseada nos **fluxos de instruções e dados**



	<i>Single Data (SD)</i>	<i>Multiple Data (MD)</i>
<i>Single Instruction (SI)</i>	SISD	SIMD
<i>Multiple Instructions (MI)</i>	MISD	MIMD

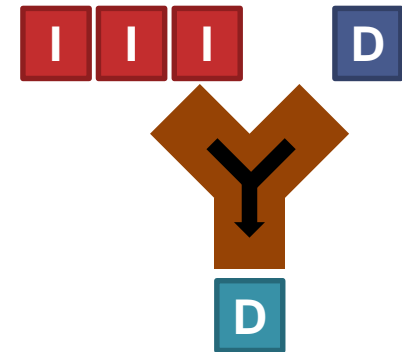
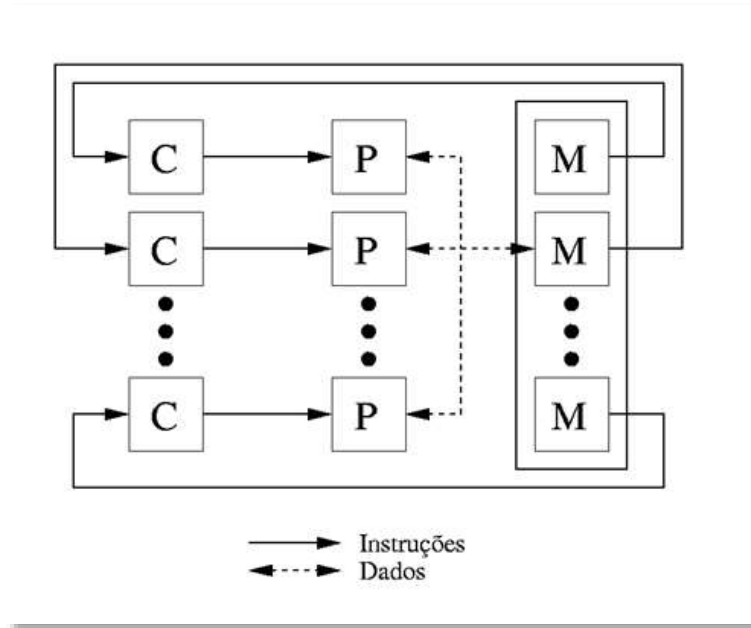
Taxonomia de Flynn

- SISD
 - *Single Instruction, Single Data*
- Presente em arquiteturas convencionais
 - Máquinas de von Neumann tradicionais
 - Um núcleo, processadores mais antigos



Taxonomia de Flynn

- MISD
 - *Multiple Instructions, Single Data*
- Classe vazia, sem implementação
 - Discussão sobre *dataflow*



Taxonomia de Flynn

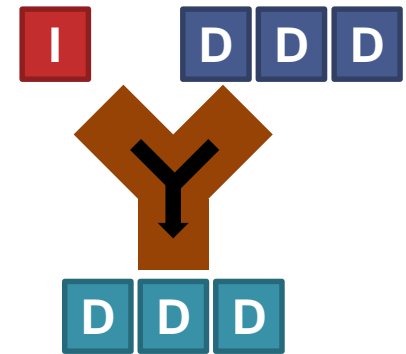
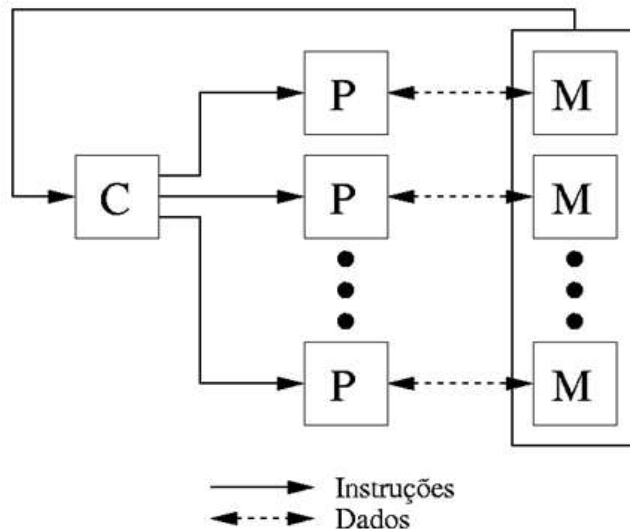
- SIMD

- *Single Instruction, Multiple Data*

- Execução **síncrona**

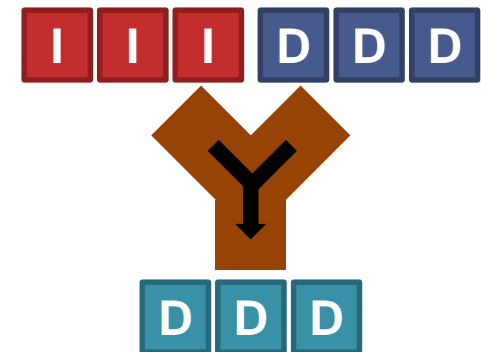
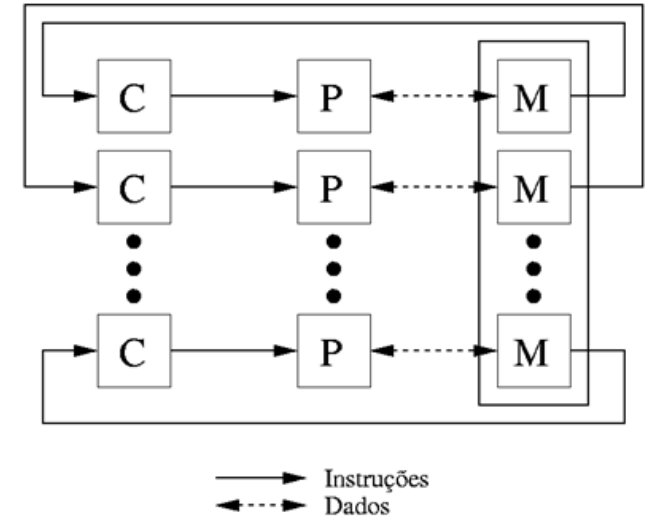
- Processadores gráficos, arquiteturas Array

- Processamento de matrizes, imagens, etc.



Taxonomia de Flynn

- MIMD
 - *Multiple Instructions, Multiple Data*
- Vários programas trabalhando sobre vários dados
 - Execução assíncrona
 - Grande gama de máquinas



MIPS

MIPS

- MIPS32
 - Exemplo usado na disciplina até o momento
 - Livros Hennessy & Patterson
 - **Mais do que um exemplo didático!**

MIPS

- **MIPS Technologies**



- Inicialmente MIPS Computer Systems

- Fabricação dos próprios chips

- Licença da ISA

- Exemplos de produtos usando MIPS

- Blu-ray players
 - Roteadores
 - Telefones

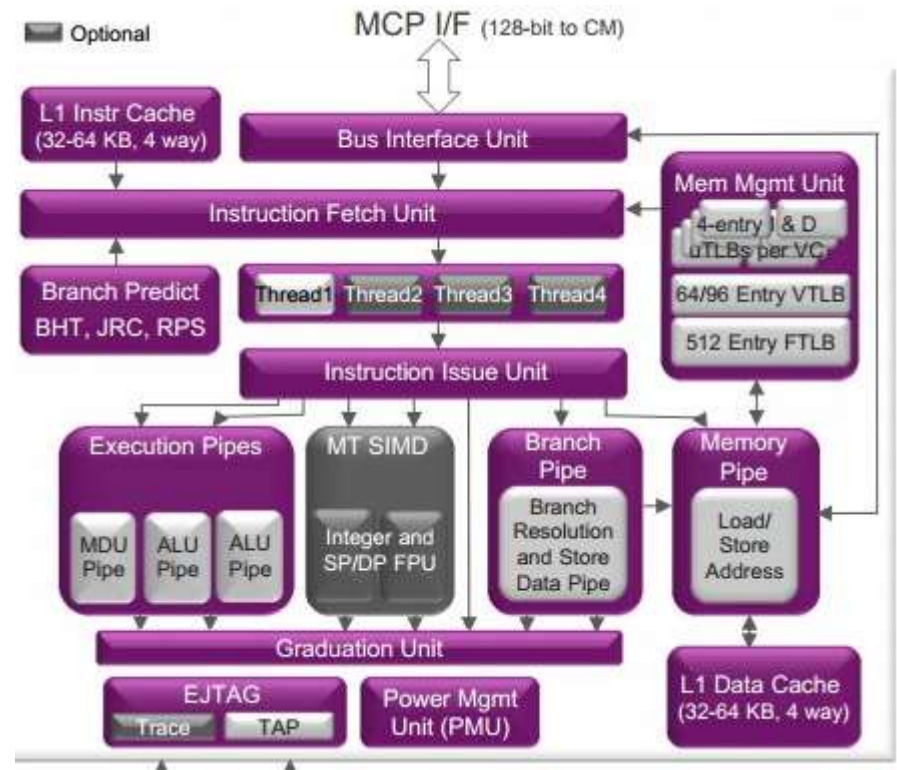


- Comprada em 2013 por Imagination Technologies



MIPS

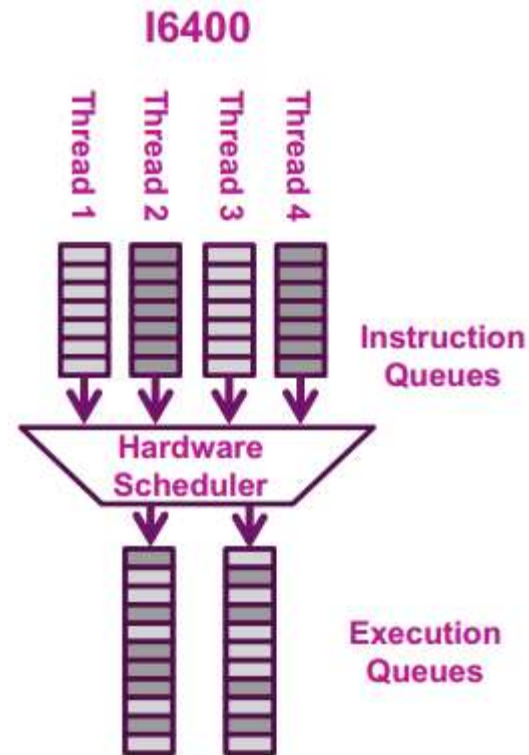
- Warrior I6400
 - Superescalar
 - 2-issue in order
 - **OU** Multithreaded
 - SMT
 - Multicore
 - Instruções SIMD



<http://www.extremetech.com/computing/189190-imaginations-warrior-cpu-breathes-new-life-into-mips-will-attack-arm-on-multiple-fronts>

MIPS

- Warrior I6400
 - Superescalar
 - 2-issue in order
 - **OU** Multithreaded
 - SMT
 - Multicore
 - Instruções SIMD



<http://www.extremetech.com/computing/189190-imaginations-warrior-cpu-breathes-new-life-into-mips-will-attack-arm-on-multiple-fronts>

MIPS

- MIPS em tablet
 - <http://arstechnica.com/gadgets/2015/03/imagination-technologies-wants-to-take-mips-mainstream-with-firefox-os-tablet/>



COMPUTAÇÃO HETEROGÊNEA

Computação heterogênea

- Computação **heterogênea** ou **híbrida** ou processadores **assimétricos** ou ...
 - Combinação de diferentes processadores
 - CPUs
 - GPUs
 - DSPs
 - ASICs
 - FPGAs
 - ...

Computação heterogênea

- Processadores/núcleos em dois grupos
 - Para **tarefas sequenciais**
 - Inicialização, controle
 - Para **tarefas paralelas**
 - *Number crunching*

Computação heterogênea

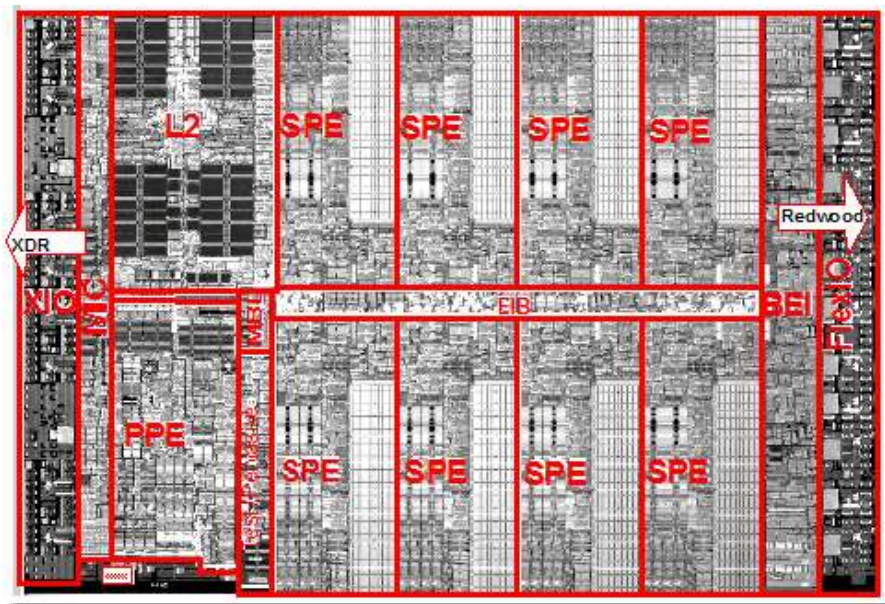
- Por quê misturar processadores?
- Exemplo c/ Amdahl!
 - Dois tipos de núcleos possíveis
 - **Núcleo fraco**, área = 1
 - **Núcleo forte**, 2x desempenho do núcleo fraco, área = 10
 - Aplicação 90% paralela
 - Qual o **melhor processador** para o problema com uma **área = 100**?
 - Speedup comparado ao uso de 1 núcleo fraco

Computação heterogênea

- Processador homogêneo fraco
 - 100 núcleos fracos
 - $Speedup = 1/(0,1 + 0,9/100) = \mathbf{9,17}$
- Processador homogêneo forte
 - 10 núcleos fortes
 - $Speedup = 1/((0,1 + 0,9/10)/2) = \mathbf{10,53}$
- Processador heterogêneo
 - 90 núcleos fracos, 1 núcleo forte
 - $Speedup = 1/(0,1/2 + 0,9/90) = \mathbf{16,67}$

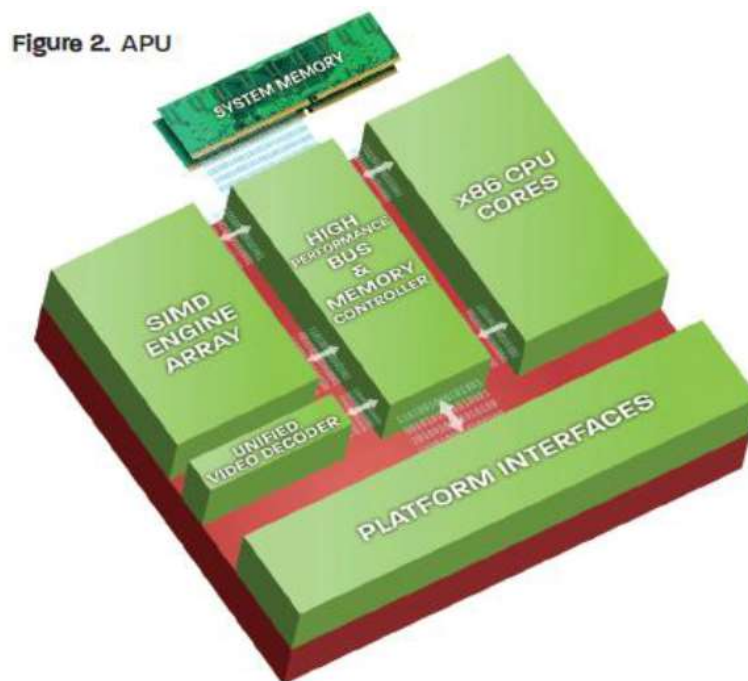
Computação heterogênea

- Exemplo: Processador Cell
 - 1 núcleo de propósito geral
 - **8 núcleos SIMD**
 - Pode servir como acelerador para outros processadores



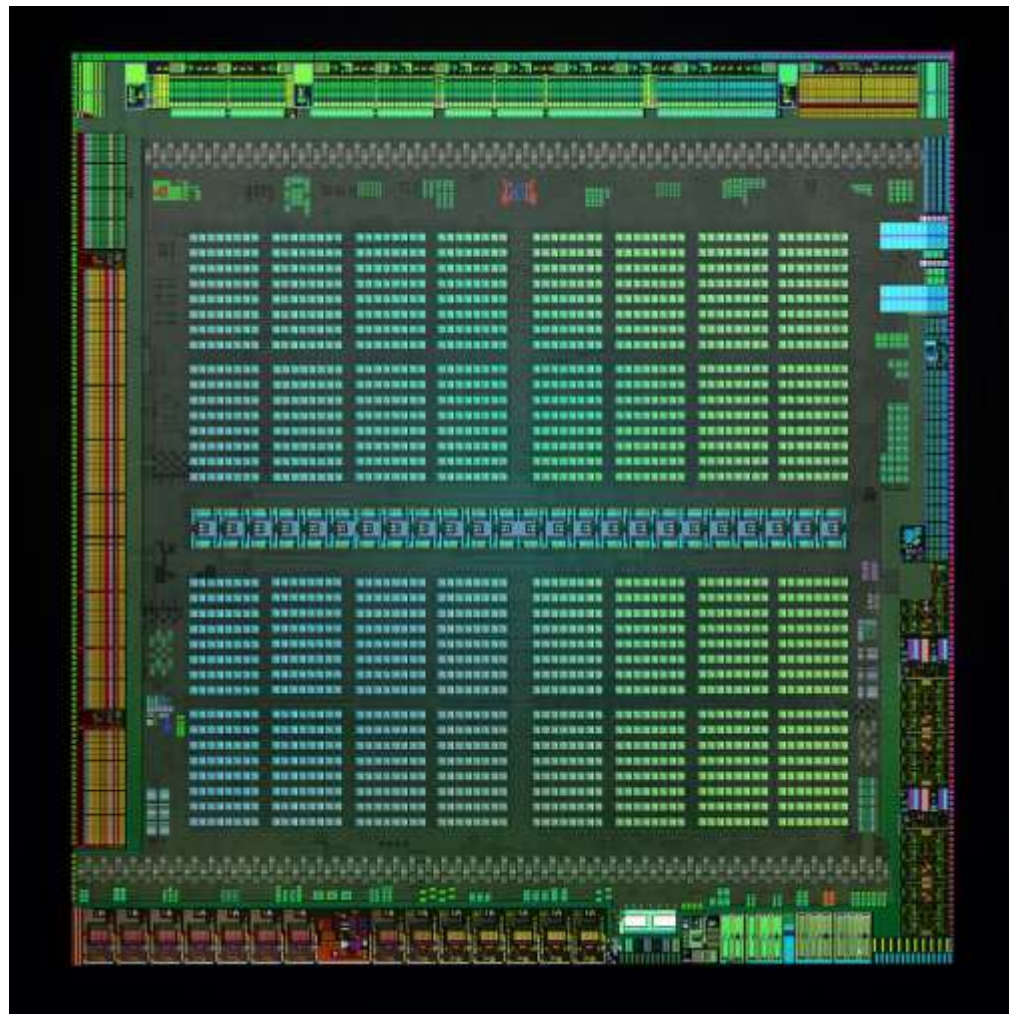
Computação heterogênea

- Exemplo: AMD APU
 - *Accelerated Processing Units*
 - **Combinação de CPU e GPU**
 - A10-7850: 4 núcleos CPU, 8 GPU



Computação heterogênea

- Exemplo de acelerador
 - Nvidia CUDA
 - GTX 980
 - Arq. Maxwell
 - Setembro 2014



<http://www.geforce.com/whats-new/articles/maxwell-architecture-gtx-980-970>

Computação heterogênea

- GTX 980
 - **2048 CUDA Cores**
 - SIMT – *Single Instruction, Multiple Threads*
 - Com *Interleaved Multithreading*
 - Organizados em 20 “multiprocessadores”
 - Cache compartilhada em um MP
 - Promete **5 TFLOPS** de desempenho com **165W**
 - TFLOPS: Tera (10^{12}) Operações de ponto flutuante por segundo
 - Serve de acelerador para uma CPU

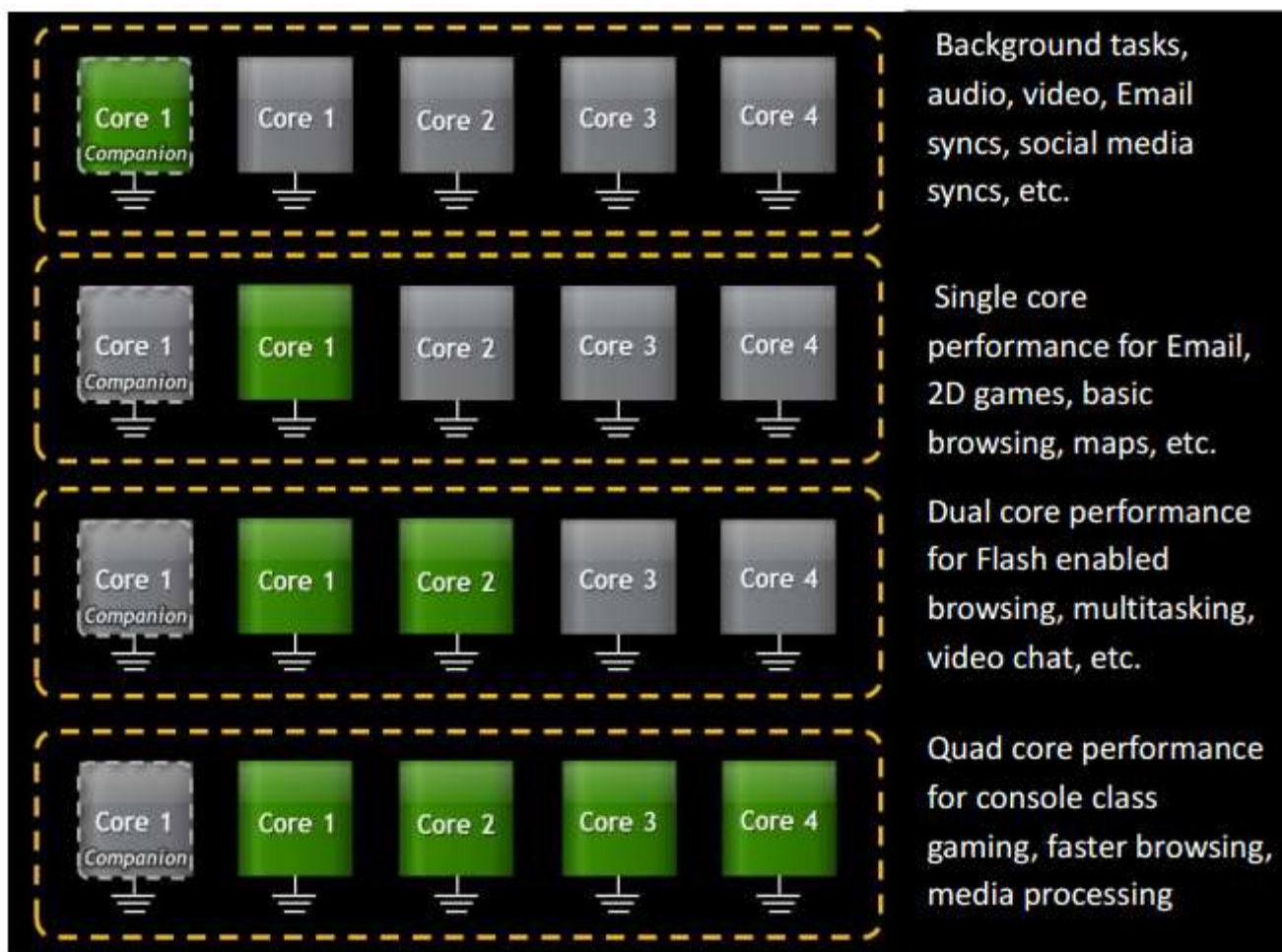
Computação heterogênea

- Exemplo: Nvidia Tegra 4
 - *System on Chip*
 - Nvidia Project Shield, Microsoft Surface 2, etc.
 - Processador ARM Cortex-A15 MPCore
 - **4 núcleos + 1 de suporte**
 - GPU da Nvidia
 - **72 núcleos (CUDA Cores)**



Computação heterogênea

- Quatro núcleos + um de suporte



Computação heterogênea

- Intel Xeon Phi
 - Tema de casa ;)

SUPERCOMPUTADORES

Supercomputadores

- Máquinas milionárias
 - **Alto desempenho**
 - Milhões de núcleos
 - Grande memória
 - Grande armazenamento
 - Redes de interconexão rápidas
 - Tudo que o dinheiro consegue comprar...

Supercomputadores

- Quais são os computadores de maior desempenho no mundo?

- **Top500.org**

- Iniciado em 1993



- Benchmark Linpack

- Resolve sistema denso de equações lineares
 - Pode ser otimizado para a máquina
 - Possui métrica para comparação

- Atualizado duas vezes por ano

- Em junho na ISC, em novembro na SC

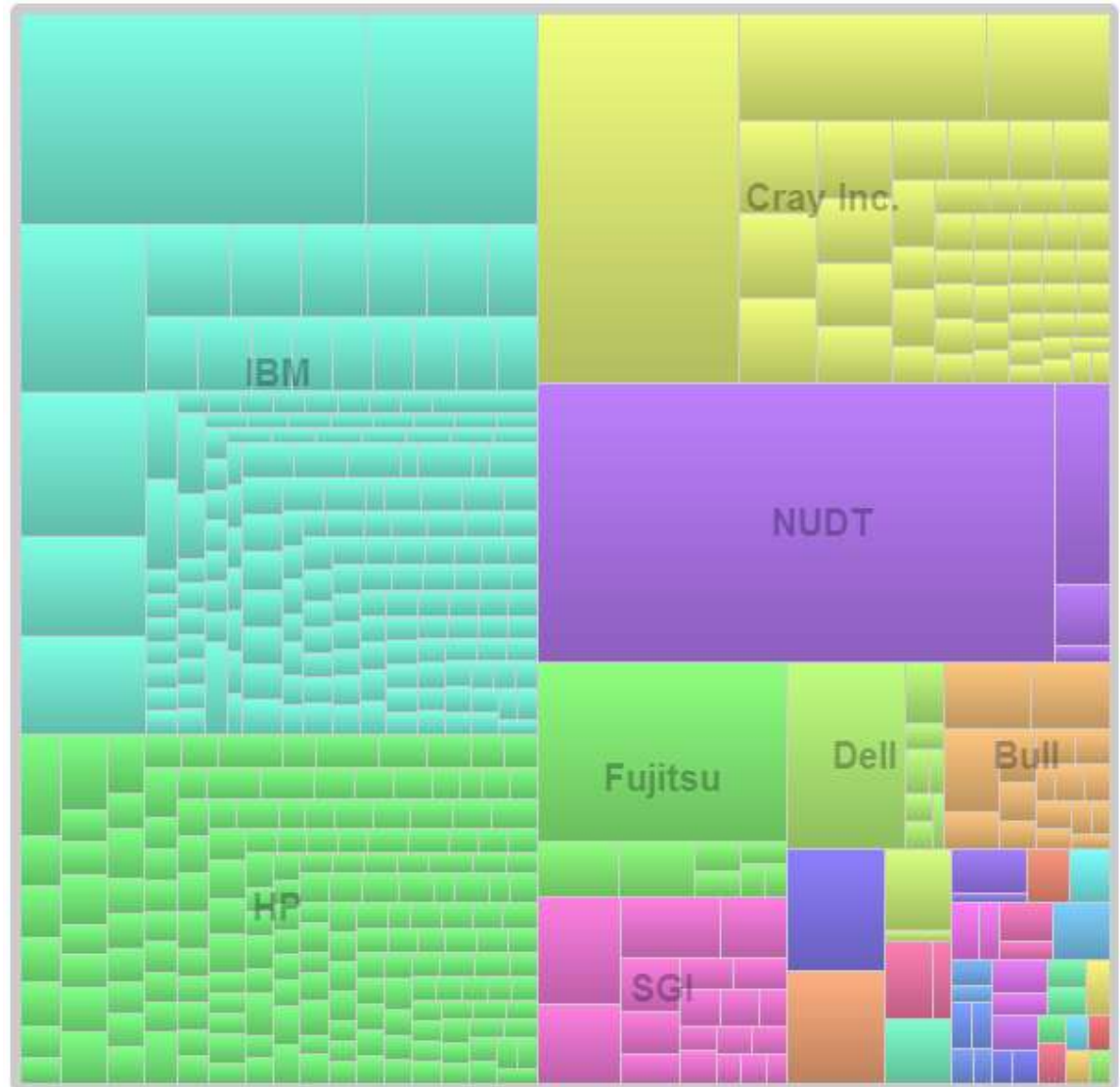
Supercomputadores

- Top500
 - Última lista: junho 2015
 - **1º lugar – Tianhe-2**
 - 3 milhões de núcleos, 33,8 PFLOPS

Rank	Site	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	National Super Computer Center in Guangzhou China	Tianhe-2 (MilkyWay-2) - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692 12C 2.200GHz, TH Express-2, Intel Xeon Phi 31S1P NUDT	3,120,000	33,862.7	54,902.4	17,808
2	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	Titan - Cray XK7 , Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x Cray Inc.	560,640	17,590.0	27,112.5	8,209
3	DOE/NNSA/LLNL United States	Sequoia - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom IBM	1,572,864	17,173.2	20,132.7	7,890
4	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS) Japan	K computer , SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect Fujitsu	705,024	10,510.0	11,280.4	12,660

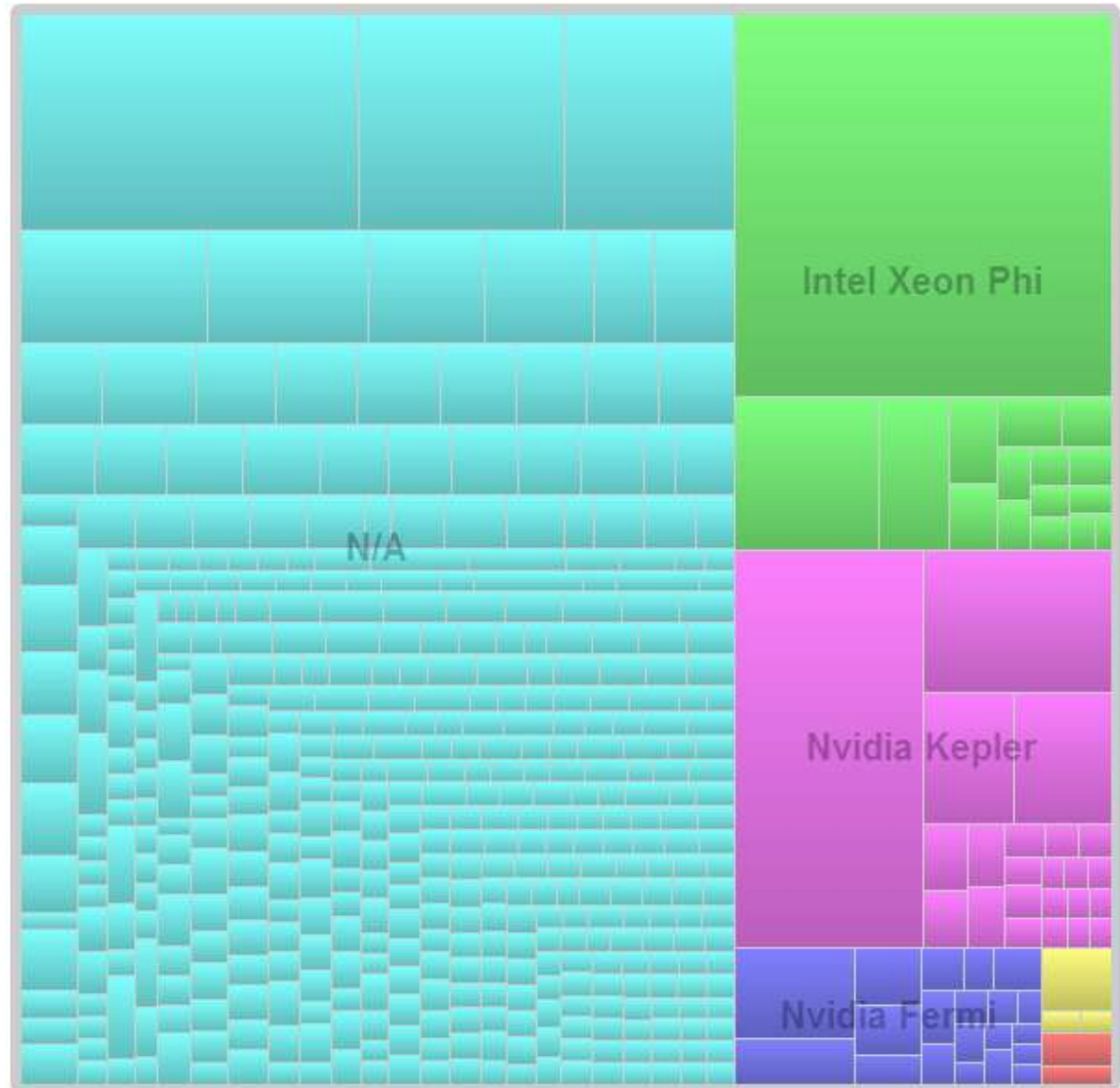
Supercomputadores

- Top500
 - **Distribuição de empresas**
 - Treemap baseado no desempenho atingido
 - Junho 2014



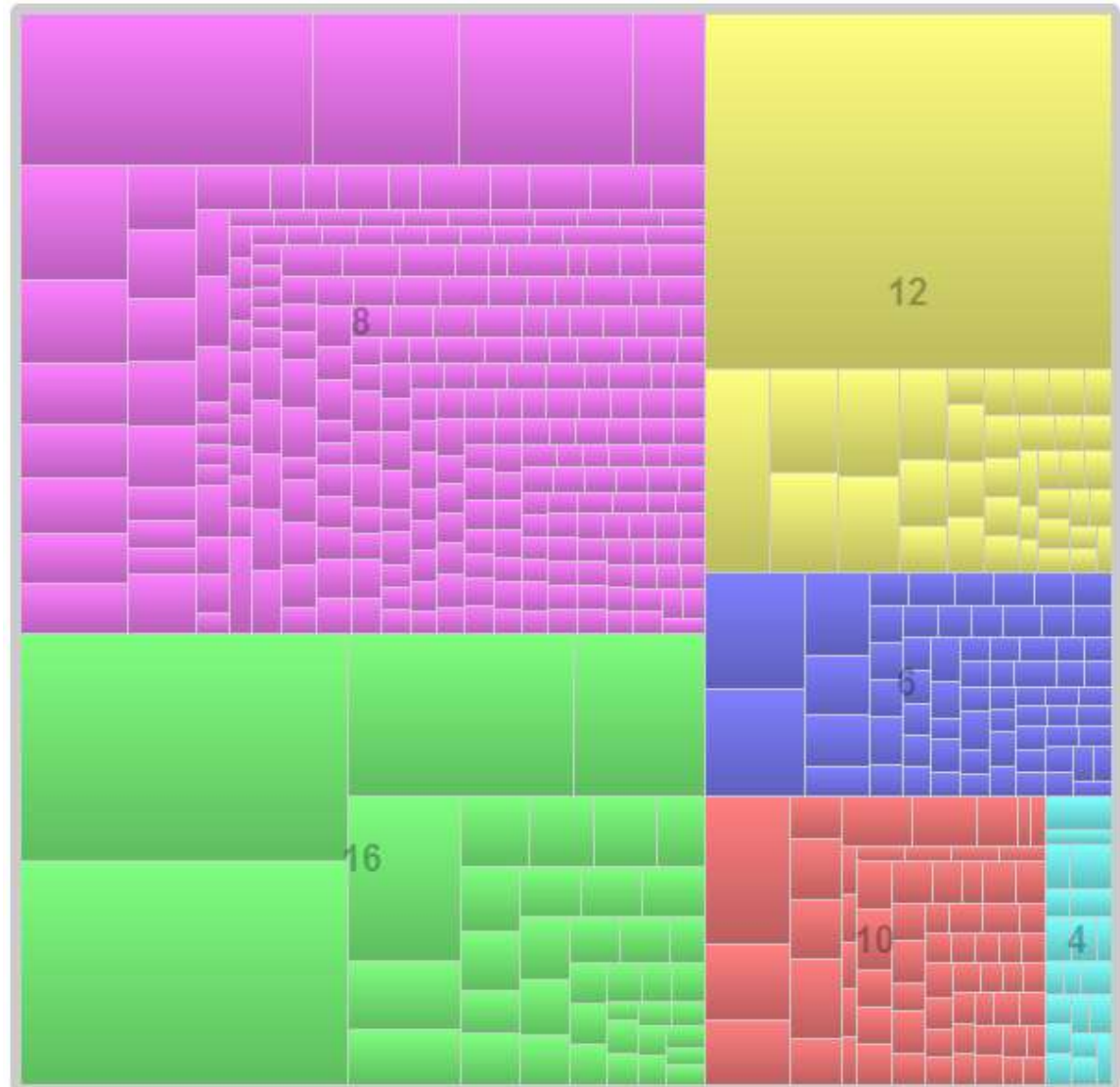
Supercomputadores

- Top500
 - **Uso de aceleradores**
 - Treemap baseado no desempenho atingido
 - Junho 2014



Supercomputadores

- Top500
 - Núcleos por socket
 - Treemap baseado no desempenho atingido
 - Junho 2014



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerações finais

- Classificação de computadores segundo a memória
 - **Multiprocessadores**
 - Memória compartilhada
 - Comunicação em variáveis compartilhadas
 - **Multicomputadores**
 - Memória não compartilhada
 - Comunicação via troca de mensagens

Considerações finais

- Unidade Central de Processamento
 - Desempenho
 - Monociclo
 - Multiciclo
 - Pipeline
 - Superescalar
 - Multithread
 - Multicore
 - ...

Considerações finais

- Lições
 - Máquinas são praticamente todas paralelas
 - Vocês já sabem programar paralelo?
 - Processadores complexos
 - Aceleradores, SIMD, Assimétricos ...
 - Quem conhece as arquiteturas consegue extrair o desempenho

INE5607 – Organização e Arquitetura de Computadores

Unidade Central de Processamento

Aula XX: Multiprocessadores,
multicomputadores, processadores e
plataformas modernas

Prof. Laércio Lima Pilla

laercio.pilla@ufsc.br

