

# Processamento Paralelo e Distribuído

Marcelo Trindade Rebonatto

Introdução & Modelos de Arquiteturas Paralelas

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: *Marcelo Trindade Rebonatto*

---

---

---


---

---

---

---

---



## Roteiro

- Introdução
- Histórico
- Modelos de arquiteturas paralelas
  - Pelo fluxo de instruções / fluxo de dados
    - ☆ Mecanismo de controle
  - Pelo espaço de endereçamento de memória
- Máquinas comerciais

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: *Marcelo Trindade Rebonatto* 2/44

---

---

---

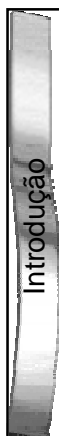
---

---

---

---

---



## Conceitos Iniciais

- Evolução dos computadores
  - Demanda crescente por desempenho
    - ☆ Viabilizar aplicações com elevada taxa de computações
- Aplicações que necessitam de horas/dias de processamento em computador convencional
- Tempo de resposta do computador muito superior ao desejado pelo usuário

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: *Marcelo Trindade Rebonatto* 3/44

---

---

---

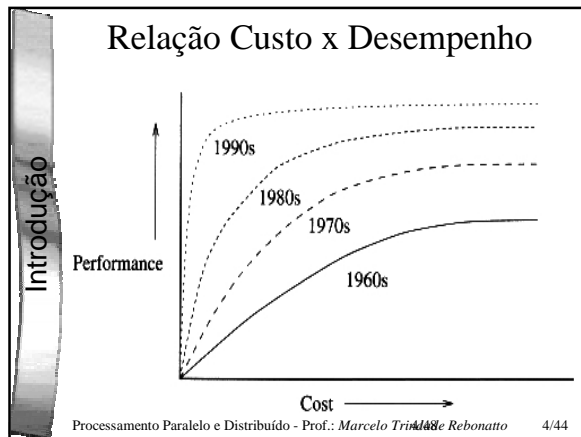
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

- Alternativas**
- Para diminuir o tempo de resposta das aplicações, pode-se:
    - Aumentar o desempenho do processador
      - ☆ Limites
      - ☆ Custos
    - Utilizar vários processadores
      - ☆ Aumento da complexidade
      - ☆ Comunicação
- Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 5/44

---

---

---

---

---

---

---

---

- Melhorar o desempenho dos processadores**
- Aumentar a velocidade do relógio (*clock*)
    - Melhorias na tecnologia de construção de CI
    - Problemas com super-aquecimento
    - Limite: velocidade da luz
  - Melhorar a arquitetura
    - Processadores RISC, vetoriais e superescalares
  - Melhorar o acesso a memória
    - Hierarquia de memória (*cache*)
- Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 6/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Introdução

## Utilização de vários processadores

- Dividir a execução do programa entre os processadores
  - Taxa anual de ganho de desempenho:
    - ☆ Supercomputadores, minicomputadores, mainframes: abaixo de 20% ao ano
    - ☆ Microprocessadores:  $\pm 35\%$  ao ano
  - Número de processadores
    - ☆ Dezenas a centenas
- Computação paralela

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Triebel e Rebonatto 7/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Introdução

## Áreas da Computação Paralela

- Projeto de computadores paralelos
- Projeto de algoritmos paralelos eficientes
- Métodos para avaliação de algoritmos paralelos
- Linguagens de programação para ambientes paralelos
- Ferramentas para a programação paralela
- Programas paralelos portáteis
- Compiladores paralelos

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Triebel e Rebonatto 8/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Introdução

## Abrangência da Computação Paralela

- Praticamente todas as áreas que necessitam de alto desempenho
- Aplicações em algoritmos numéricos
  - Manipulação de grandes matrizes, sistemas de equações lineares, transformadas de Fourier, ...
- Aplicações em algoritmos não-numéricos
  - Classificação, processamento gráfico, busca, otimização, ...
- Possibilidade de novas áreas de aplicação da informática

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Triebel e Rebonatto 9/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Introdução

## Aplicações paralelas atuais

- Pesquisa geofísica, prospecção de petróleo
- Previsão de tempo
- Pesquisa genética (DNA)
- Mecânica dos fluídos (construção de aeronaves e barcos)
- Simulações
- Desenvolvimento processadores
- Processamentos de imagens de satélite
- Monitoramento de poluição
- . . .

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 10/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Introdução

## Processamento paralelo/distribuído

- Computação paralela: aplicações que buscam alto desempenho
- Computação distribuída: aplicações funcionalmente distribuídas
  - Aumento de desempenho
  - Tolerância a falhas
  - Aumento da funcionalidade
  - Distribuição inerente

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 11/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Introdução

## Processamento paralelo/distribuído

- Computação paralela/distribuída
  - Uso de máquinas potencialmente ociosas
  - Custo reduzido
  - Crescimento incremental
- Desvantagens
  - Pouco software de alto nível
  - Dificuldades de evitar acessos indevidos
  - Rede de interconexão pode ser um gargalo

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 12/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Histórico

## Motivação para paralelismo

- Paralelismo: tão antigo quanto computadores eletrônicos
  - Trabalhos de von Neumann (década de 40): discussão AP → equações diferenciais
  - MODEL V (1944 e 1947, Sibitz e Williams): 2 processadores e 3 posições de I/O
  - ILLIAC IV (década de 60): Universidade de Illinois: 64 processadores

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Triunfo e Rebonatto
13/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Histórico

## Aumento de interesse

- Mudança gradual de conceitos
- Técnicas de paralelismo sendo desenvolvidas e aplicadas ao longo dos anos
  - Marco: processadores de I/O (canais) → 2a geração de computadores
  - Conceitos de concorrência, comunicação e sincronização
  - Utilização de sistemas com 2 ou mais CPUs: questão de tempo

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Triunfo e Rebonatto
14/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## Computadores sequenciais

- Máquinas convencionais
  - Modelo de “Von Neumann”: computador de programa armazenado
  - Evolução

Processador — Memória

Processador — Cache — Memória

Processador — Cache — Memória

f<sub>0</sub>

→

f<sub>1</sub>

→

f<sub>2</sub>

→

...

→

f<sub>n-1</sub>

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Triunfo e Rebonatto
15/44

---

---

---

---

---

---

---

---

5

Arquiteturas paralelas

## Paralelismo em Hardware

- Transferência entre registradores
- Realização de operações lógicas
- Múltiplas unidades funcionais
- Pipeline
- VLIW

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto

16/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## Máquinas paralelas

- Processamento paralelo
- Classificações
  - Classificação pelo fluxo de instruções
    - ☆Pelo mecanismo de controle
  - Classificação pelo fluxo de dados
  - Classificação pelo espaço de endereçamento de memória
- Classes de algoritmos paralelos

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto

17/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## Fluxo de Instruções e Dados

	SD (Single Data)	MD (Multiple Data)
SI (Single Instruction)	<b>SISD</b> Máquinas monoprocessadas	<b>SIMD</b> Máquinas Vetoriais
MI (Multiple Instruction)	<b>MISD</b> Sem representante (até agora)	<b>MIMD</b> Multiprocessadores/ Multicomputadores

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto

18/44

---

---

---

---

---

---

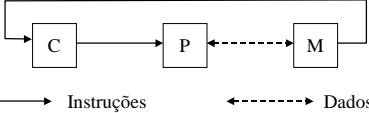
---

---

Arquiteturas paralelas

## SISD

- Um fluxo de instruções atua sobre um fluxo de dados
- Máquinas monoprocessadas
  - Microcomputadores pessoais: PC, Mac
  - Estações de trabalho: Workstation Sun



Instruções
  Dados

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 19/44

---

---

---

---

---

---

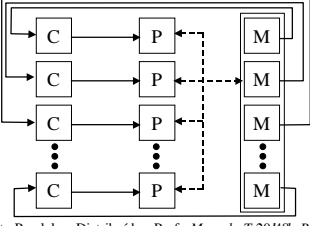
---

---

Arquiteturas paralelas

## MISD

- Múltiplos fluxos de instruções atuam sobre um fluxo de dados
- Sem sentido e impraticável: classe vazia



Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 20/44

---

---

---

---

---

---

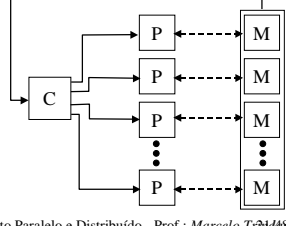
---

---

Arquiteturas paralelas

## SIMD

- Uma instrução é executada ao mesmo tempo sobre múltiplos dados
- Máquinas array e Vetorias: Cray 1, CM-2



Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 21/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## MIMD

- Instruções diferentes sobre dados diversos a cada vez
  - ▀ Conjuntos de máquinas SISD
  - ▀ Servidores com múltiplos processadores, ...

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 22/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## Mecanismos de Controle

- Controle único: SIMD
  - ▀ A mesma instrução é executada por todas as unidades processadoras, de forma síncrona
  - ▀ Execução de um único programa ao mesmo tempo
- Controle múltiplo: MIMD
  - ▀ Cada processador é capaz de executar um programa diferente
  - ▀ Divisão quanto ao compartilhamento de memória
    - ☆ Multicomputadores
    - ☆ Multiprocessadores

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 23/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## SIMD x MIMD

- SIMD
  - ▀ Menos *hardware*
  - ▀ Menos memória
  - ▀ *Hardware* específico
- MIMD
  - ▀ Aparentemente maior custo
    - ☆ Pode-se usar microprocessadores de propósito geral
  - ▀ *Hardware* extra para obter sincronização rápida

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 24/44

---

---

---

---

---

---

---

---



Arquiteturas paralelas

## Compartilhamento de memória

- Memória compartilhada - *shared memory*
  - Único espaço de endereçamento
  - Comunicação: *load* e *store*
- Memória não compartilhada
  - Múltiplos espaços de endereçamento - *multiple private address spaces*
    - ☆ Um para cada processador
  - Comunicação: *send* e *receive*

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 25/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## Localização da memória

- Memória distribuída
  - Vários módulos
  - Cada módulo próximo ao processador: menor tempo de acesso
- Memória centralizada
  - Memória a mesma distância de todos os processadores
  - Um ou vários módulos

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 26/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## Divisão quanto acesso a memória

- Multiprocessadores
  - Memória compartilhada entre os processadores
  - Replicação apenas do processador
  - **Múltiplos processadores**
- Multicomputadores
  - Memória não compartilhada entre os processadores
  - Replicação de toda a arquitetura convencional
  - **Múltiplos computadores**

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 27/44

---

---

---

---

---

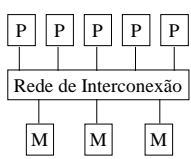
---

---

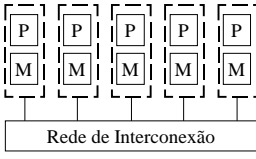
---

Arquiteturas paralelas

## Divisão quanto acesso a memória



Multiprocessor



Multicomputador

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Traveno e Rebonatto 28/44

---

---

---

---

---

---

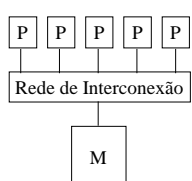
---

---

Arquiteturas paralelas

## Multiprocessadores

- UMA - *uniform memory access*
  - Acesso uniforme a memória
  - Memória centralizada
  - Rede de interconexão
    - ✧ Barramento
  - Coerência de cache
    - ✧ Hardware



Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Traveno e Rebonatto 29/44

---

---

---

---

---

---

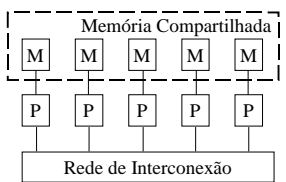
---

---

Arquiteturas paralelas

## Multiprocessadores

- NUMA - *non-uniform memory access*
  - Acesso não uniforme a memória
  - Memória distribuída
  - Espaço de endereamento único



Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Traveno e Rebonatto 30/44

---

---

---

---

---

---

---

---

10

Arquiteturas paralelas

## Multiprocessadores - NUMA

- NCC-NUMA - *non-cache-coherent*
  - Não possui coerência de cache em hardware
- CC-NUMA - *cache-coherent*
  - Coerência da cache em *hardware*
- SC-NUMA - *software-coherent*
  - Coerência da cache em *software*
  - DSM (*Distributed Shared Memory*)

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 31/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## Multiprocessadores - NUMA

- COMA - *cache-only memory architecture*
  - Memórias Cache com grande capacidade
  - Replicação de cache em *hardware*
  - Máquinas caras e complexas de implementar

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 32/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## Multicomputadores

- Máquinas paralelas com memória distribuída e não compartilhada
- NORMA - *non remote memory access*
  - Sem acesso remoto a memória
  - Cada processador possui acesso apenas a sua memória local

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 33/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## Multicomputadores: classificações

- Fortemente acoplados
  - ▀ Redes especiais de interconexão
  - ▀ Alto desempenho
  - ▀ Comunicação confiável por *hardware*
- Fracamente acoplados
  - ▀ Máquinas em rede local
  - ▀ Comunicação confiável com adição de *software*
- Muito fracamente acoplados
  - ▀ Máquinas em redes não locais
  - ▀ Comunicação lenta e menos confiável: roteadores, linhas de variada capacidade

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 34/44

---

---

---

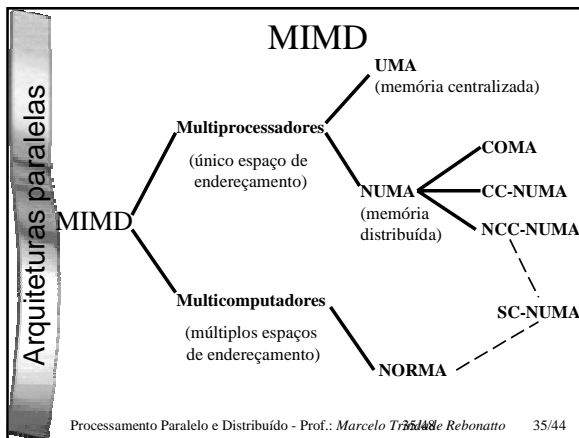
---

---

---

---

---




---

---

---

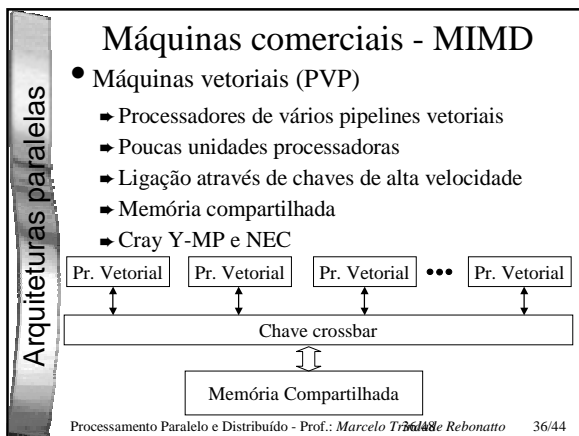
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

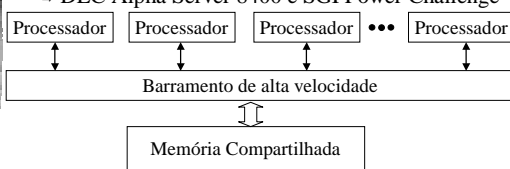
---

---

Arquiteturas paralelas

### Máquinas comerciais - MIMD

- Multiprocessadores Simétricos (SMP)
  - Microprocessadores
  - 2 ou mais unidades processadoras
  - Barramento de alta velocidade
  - Memória Compartilhada
  - DEC Alpha Server 8400 e SGI Power Challenge



```

graph TD
    P1[Processador] <--> Bus[Barramento de alta velocidade]
    P2[Processador] <--> Bus
    P3[Processador] <--> Bus
    Pn[Processador] <--> Bus
    Bus <--> Mem[Memória Compartilhada]
          
```

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 37/44

---

---

---

---

---

---

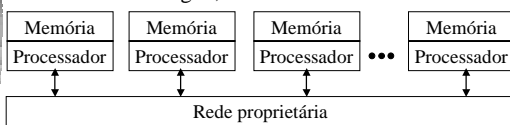
---

---

Arquiteturas paralelas

### Máquinas comerciais - MIMD

- Máquinas massivamente paralelas (MPP)
  - Diversos microprocessadores específicos
  - Nó de processamento: mais de 1 processador
  - Rede de interconexão proprietária
  - Memória não compartilhada
  - Ncube e Paragon, Intel e TFLOP



```

graph TD
    M1[Memória] --- P1[Processador]
    M2[Memória] --- P2[Processador]
    M3[Memória] --- P3[Processador]
    Mn[Memória] --- Pn[Processador]
    P1 <--> Net[Rede proprietária]
    P2 <--> Net
    P3 <--> Net
    Pn <--> Net
          
```

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 38/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

### Máquinas comerciais - MIMD

- Multiprocessadores com memória compartilhada distribuída (DSM)
  - Microprocessadores
  - Rede de interconexão de alta velocidade
  - Memória compartilhada
  - Fisicamente distribuída
  - Cray T3D

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 39/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## Máquinas comerciais - MIMD

- Multiprocessadores com memória compartilhada distribuída (DSM)

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 40/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## Máquinas comerciais - MIMD

- Estações de trabalho em rede (NOW)
  - Ligação de computadores comuns em rede
    - ☆ Máquinas completas com todos os periféricos
  - Nós podem possuir mais de um processador
    - ☆ Máquinas Dual ou Quad: SMP
  - Berkley NOW e Beowulf

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 41/44

---

---

---

---

---

---

---

---

Arquiteturas paralelas

## Máquinas comerciais - MIMD

- NOW
  - Cluster Computing: Agregados computacionais
    - ☆ Redes de interconexão
      - + Baixo custo
      - + Alto desempenho: Baixa latência
      - + Myrinet, SCI
    - ☆ Placas de rede especiais para o processamento paralelo
    - ☆ Cluster fornecidos pelos principais fabricantes através da agregação de computadores

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Trindade Rebonatto 42/44

---

---

---

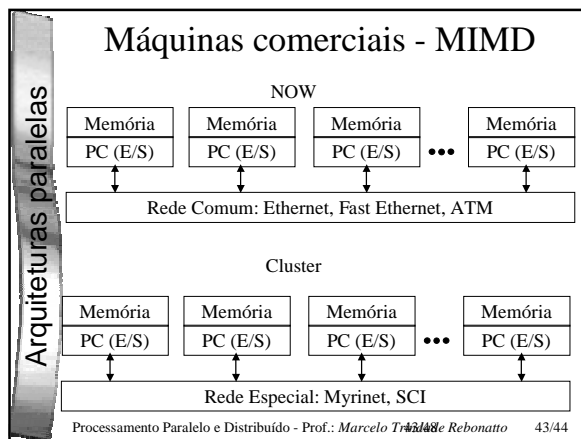
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

**Máquinas comerciais - MIMD**

**Arquiteturas paralelas**

Tipo	Interconexão	Processador	Endereçamento	Acesso a memória
PVP	Chave crossbar	Específico	Único	UMA
SMP	Barramento ou crossbar	Específico ou comum	Único	UMA
MPP	Rede específica	Específico	Múltiplo	NORMA
DSM	Rede específica	Específico	Único	NUMA
NOW	Rede comum ou específica	Comum	Múltiplo	NORMA

Processamento Paralelo e Distribuído - Prof.: Marcelo Traveno e Rebonatto 44/44

---

---

---

---

---

---

---

---