

# SuperComputação

## Aula 12 – Introdução a paralelismo

2021 – Engenharia

Igor Montagner <igorsm1@insper.edu.br>  
Antônio Selvatici <antoniohps1@insper.edu.br>

# Resolução de problemas

- Heurísticas
- Busca local
- Busca exaustiva
  - Branch and Bound (propriedades do problema)

# Solução de alto desempenho

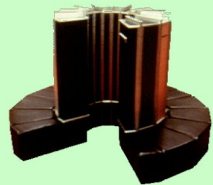
## **1. Algoritmos eficientes**

## **2. Implementação eficiente**

- Cache, paralelismo de instrução
- Linguagem de programação adequada

## **3. Paralelismo**

# Mas e o paralelismo?



Cray 1 (1976)



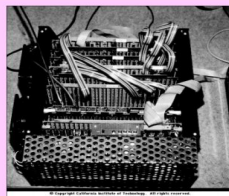
Cray 2 (1985)



Cray C-90 (1991)

Vector Computers

SMP computers

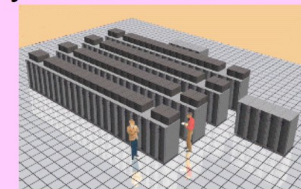


Cosmic cube (1983)



Paragon (1993)

Massively Parallel Processors (MPP)



ASCI Red (1997)



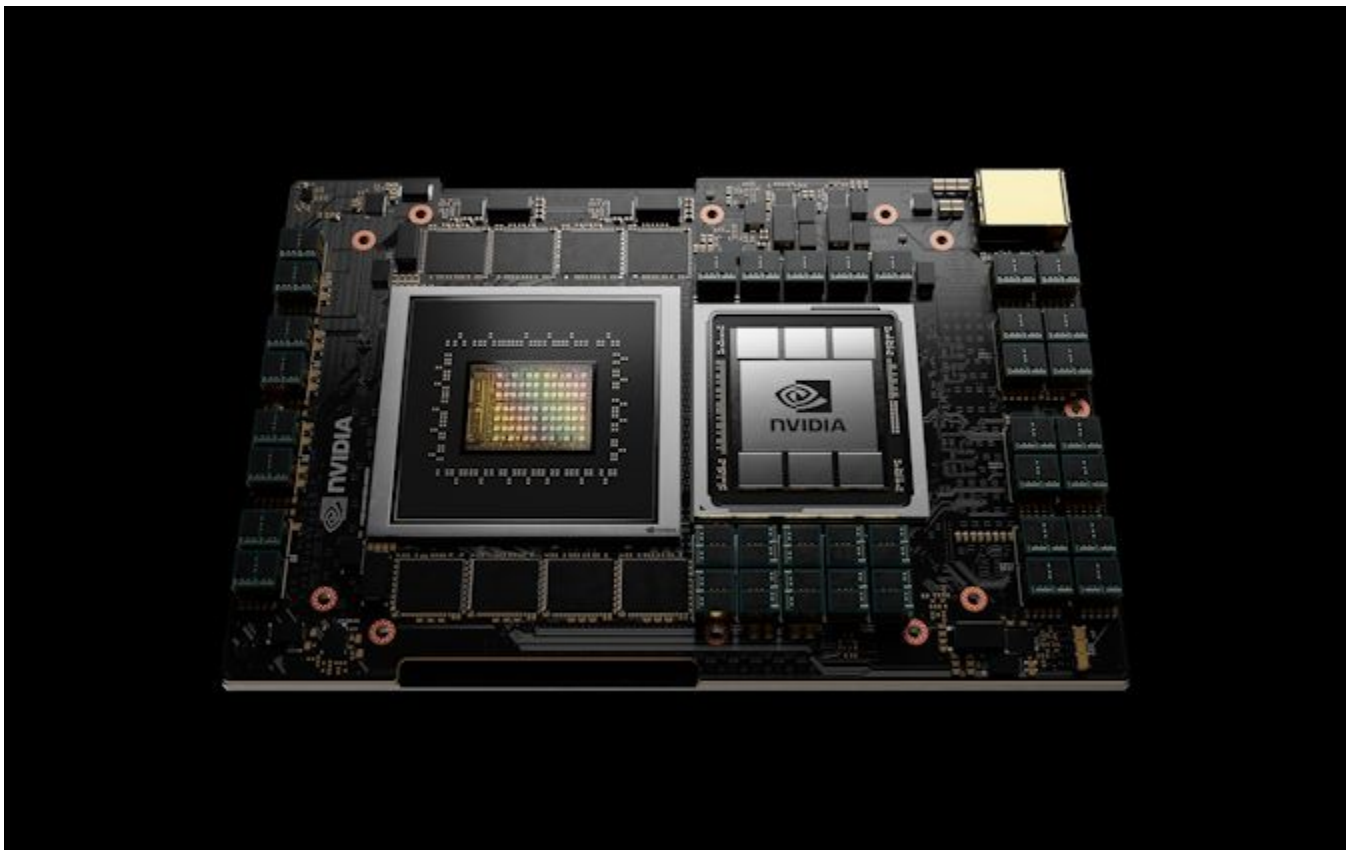
Clusters (late 80's)

Cluster Computers

Linux PC Clusters  
(~1995)

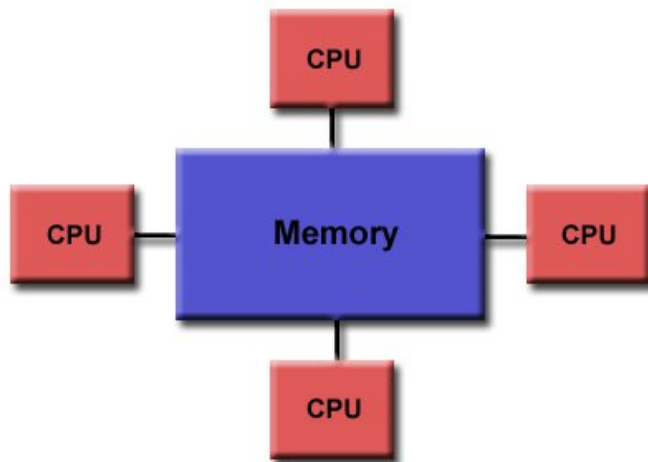


# Novidades a frente

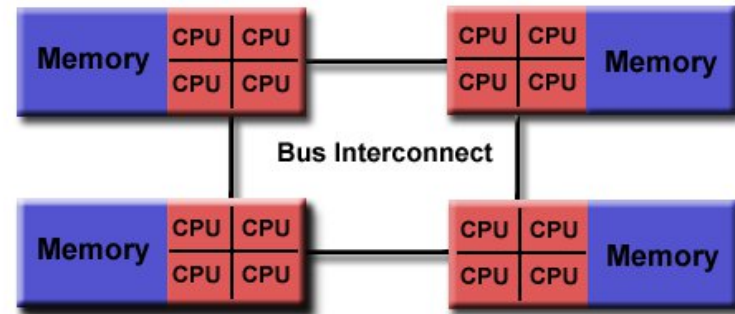


Nvidia Grace integra CPU-GPU em SoC rápido

# Sistemas Multi-core



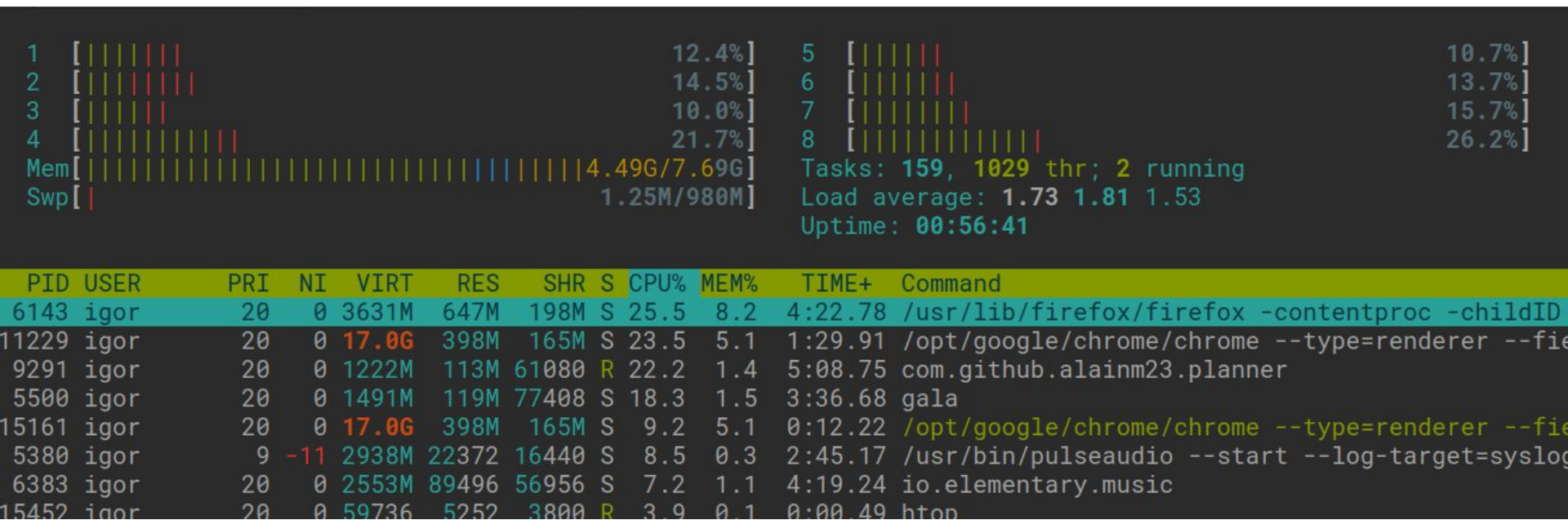
**Uniform Memory Access**



**Non-Uniform Memory Access**



# Sistemas multi-core





# **Discussão I: qual expectativa de melhoria de velocidade?**



# Exemplo 1

```
vector<double> dados;  
vector<double> resultados;  
for (int i = 0; i < dados.size(); i++) {  
    resultados[i] = funcao_complexa(dados[i]);  
}
```

# Exemplo 1

```
vector<double> dados;  
vector<double> resultados;  
for (int i = 0; i < dados.size(); i++) {  
    resultados[i] = funcao_complexa(dados[i]);  
}
```

**Tempo total dividido por 8!**

## Exemplo 2

```
vector<double> dados;  
vector<double> resultados;  
resultados[0] = 0;  
for (int i = 1; i < dados.size(); i++) {  
    resultados[i] = funcao_complexa(dados[i], resultados[i-1]);  
}
```

## Exemplo 2

```
vector<double> dados;  
vector<double> resultados;  
resultados[0] = 0;  
for (int i = 1; i < dados.size(); i++) {  
    resultados[i] = funcao_complexa(dados[i], resultados[i-1]);  
}
```

**Nenhum ganho! Depende da iteração anterior :(**

# Conceito 1: Dependência

Um loop tem uma **dependência** de dados sua execução correta depende da ordem de sua execução.

Isto ocorre quando **uma iteração depende de resultados calculados em iterações** anteriores.

Quando não existe nenhuma dependência em um loop ele é dito **ingenuamente paralelizável**.

## Exemplo 3

```
vector<double> dados;  
vector<double> resultados1;  
vector<double> resultados2;  
resultados1[0] = resultados2[0] 0;  
for (int i = 1; i < dados.size(); i++) {  
    resultados1[i] = funcao_complexa(dados[i], resultados1[i-1]);  
    resultados2[i] = funcao_complexa2(dados[i], resultados2[i-1]);  
}
```

## Exemplo 3

```
vector<double> dados;  
vector<double> resultados1;  
vector<double> resultados2;  
resultados1[0] = resultados2[0] 0;  
for (int i = 1; i < dados.size(); i++) {  
    resultados1[i] = funcao_complexa(dados[i], resultados1[i-1]);  
    resultados2[i] = funcao_complexa2(dados[i], resultados2[i-1]);  
}
```

**Podemos fazer resultados1 e resultados2 em paralelo!**



## Conceito 2: Paralelismo

**Paralelismo de dados:** faço em paralelo a mesma operação (lenta) para todos os elementos em um conjunto de dados (grande).

**Paralelismo de tarefas:** faço em paralelo duas (ou mais) tarefas independentes. Se houver dependências quebro em partes independentes e rodo em ordem.

## Exemplo 4

```
std::vector<double> dados;  
  
le_dados_do_disco(dados); // demora 10 segundos  
// dados.size() == 100  
  
for (int i = 0; i < dados.size(); i++) {  
    operacao_complexa3(dados[i]); // demora 0,1 segundo  
}
```

**Quanto tempo o programa demora?**

**Existem relações de dependência?**

**Qual a expectativa de tempo para um programa paralelo?**

## Conceito 3: Lei de Amdahl

Dada uma tarefa que dura  $X$  horas, sendo que  $Y$  horas correspondem a trabalho que pode ser paralelizado, o número máximo de vezes que podemos acelerá-la é

$$\frac{1}{(1 - p)}$$

onde  $p = \frac{Y}{X}$

## Exemplo 4

```
std::vector<double> dados;  
  
le_dados_do_disco(dados); // demora 10 segundos  
// dados.size() == 100  
  
for (int i = 0; i < dados.size(); i++) {  
    operacao_complexa3(dados[i]); // demora 0,1 segundo  
}
```

**Quanto tempo o programa demora?**

**Existem relações de dependência?**

**Qual a expectativa de tempo para um programa paralelo?**

# Resumo

1. Paralelizar significa rodar código sem dependências simultaneamente
2. Paralelismo de dados: mesma tarefa, dados diferentes
3. Paralelismo de tarefas: heterogêneo
4. Existem tarefas inerentemente sequenciais
5. Ganhos são limitados a partes do programa

# OpenMP

# Paralelismo Multi-core

## **Threads:**

- Compartilham memória
- Sincronização de acessos

## **Processos:**

- Troca de mensagens
- Possível distribuir em vários nós



# OpenMP

- Conjunto de extensões para C/C++ e Fortran
- Fornece construções que permitem paralelizar código em ambientes multi-core
- Padroniza práticas SMP + SIMD + Sistemas heterogêneos (GPU/FPGA)
- Idealmente funciona com mínimo de modificações no código sequencial

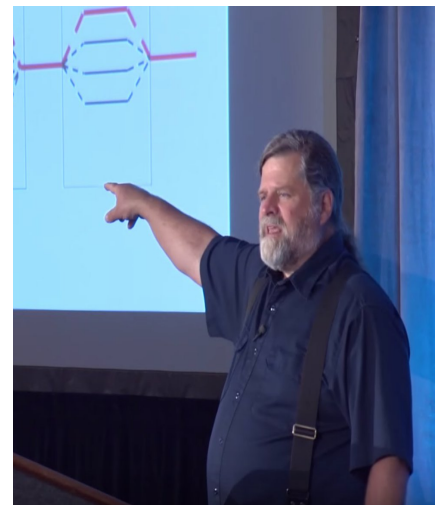
# Fontes importantes

## A brief Introduction to parallel programming

**Tim Mattson**

**Intel Corp.**

**timothy.g.mattson@intel.com**



### Vídeos:

<https://www.youtube.com/watch?v=pRtTIW9-Nr0>

<https://www.youtube.com/watch?v=LRsQHDAqPHA>

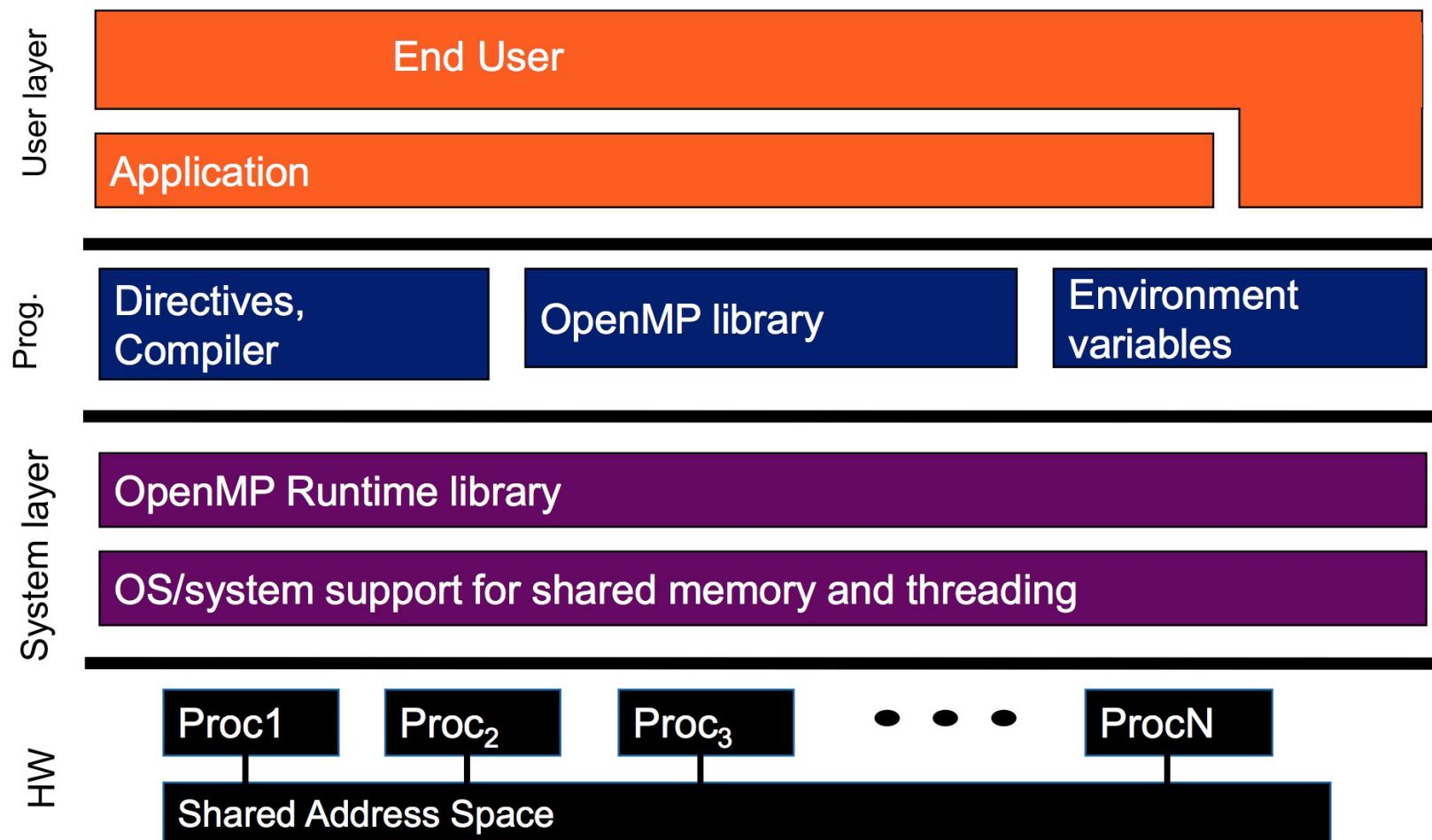
<https://www.youtube.com/watch?v=dK4PITrQtjY>

[https://www.youtube.com/watch?v=WvoMpG\\_QvBU](https://www.youtube.com/watch?v=WvoMpG_QvBU)

### Slides:

[http://extremecomputingtraining.anl.gov/files/2016/08/Mattson\\_830aug3\\_HandsOnIntro.pdf](http://extremecomputingtraining.anl.gov/files/2016/08/Mattson_830aug3_HandsOnIntro.pdf)

# OpenMP (host / NUMA)



# OpenMP - sintaxe

## Diretivas de compilação

```
#include <omp.h>
```

```
#pragma omp construct [params]
```

## Aplicadas a um bloco de código

```
limitado diretamente por { }
```

```
for (...) { }
```

## Com join implícito

# Insper

[www.insper.edu.br](http://www.insper.edu.br)