

# MC542

## Organização de Computadores Teoria e Prática

2007

Prof. Paulo Cesar Centoducatte

[ducatte@ic.unicamp.br](mailto:ducatte@ic.unicamp.br)

[www.ic.unicamp.br/~ducatte](http://www.ic.unicamp.br/~ducatte)

**MC542**

# **Arquitetura de Computadores**

**Lei de Amdahl, Desempenho**

**"DDCA" - (Capítulo 7)**

**"COD" - (Capítulo )**

# Micro-Arquitetura

- Lei Amdahl
- Desempenho
  - Tempo de resposta & *Throughput*
  - *Desempenho Relativo*
  - *Medida de Desempenho*
  - *CPI - Ciclos por Instrução (médio)*
  - Componentes Básicos de Desempenho

# Lei Amdahl

- Abordagem Quantitativa

- Faça o caso comum ser mais rápido

- Lei de Amdahl:

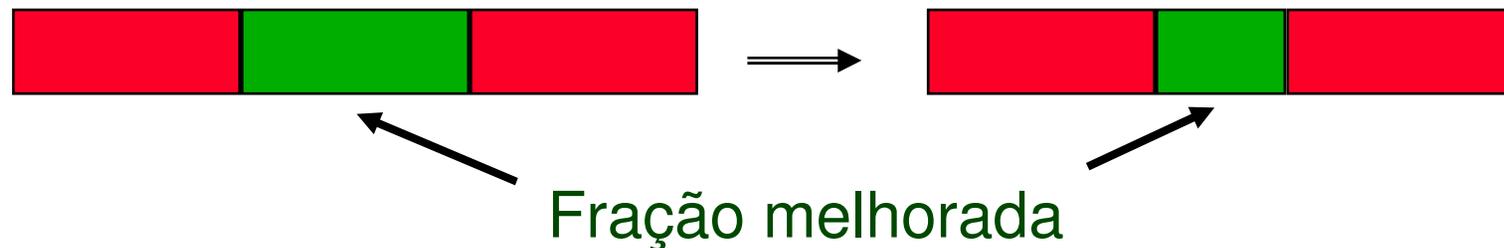
- » Relaciona o speedup total de um sistema com o speedup de uma porção do sistema

O speedup no desempenho obtido por uma melhoria é limitado pela fração do tempo na qual a melhoria é utilizada

# Lei Amdahl

- Speedup devido a uma melhoria E:

$$\text{Speedup}(E) = \frac{\text{Execution\_Time\_Without\_Enhancement}}{\text{Execution\_Time\_With\_Enhancement}} = \frac{\text{Performance\_With\_Enhancement}}{\text{Performance\_Without\_Enhancement}}$$

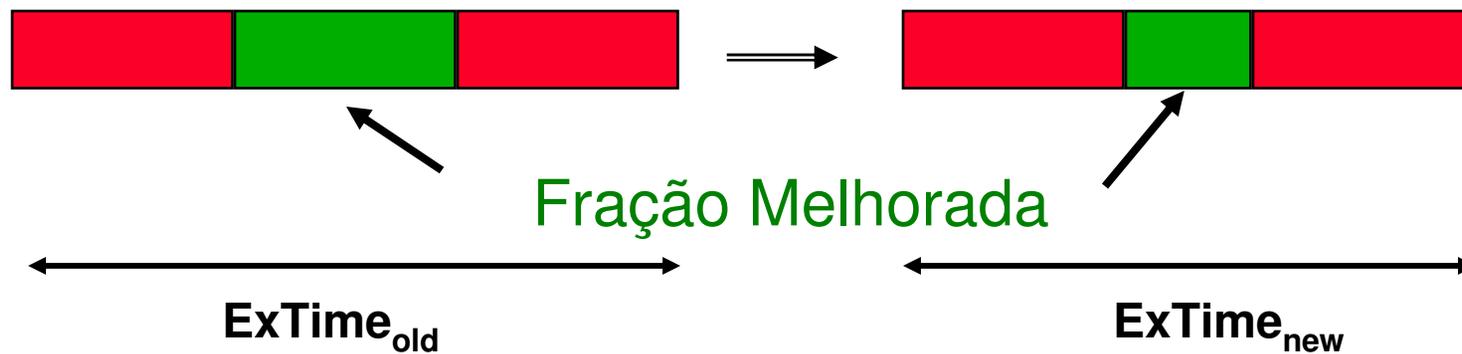


Suponha que a melhoria E acelera a execução de uma fração F da tarefa de um fator S e que o restante da tarefa não é afetado pela melhoria E.

# Lei Amdahl

$$\text{ExTime}_{\text{new}} = \text{ExTime}_{\text{old}} \times \left[ (1 - \text{Fraction}_{\text{enhanced}}) + \frac{\text{Fraction}_{\text{enhanced}}}{\text{Speedup}_{\text{enhanced}}} \right]$$

$$\text{Speedup}_{\text{overall}} = \frac{\text{ExTime}_{\text{old}}}{\text{ExTime}_{\text{new}}} = \frac{1}{(1 - \text{Fraction}_{\text{enhanced}}) + \frac{\text{Fraction}_{\text{enhanced}}}{\text{Speedup}_{\text{enhanced}}}}$$



# Lei Amdahl

- Exemplo: Suponha que as instruções de ponto flutuante foram melhoradas e executam 2 vezes mais rápidas, porém somente 10% das instruções, em um programa, são FP

$$\text{ExTime}_{\text{new}} = \text{ExTime}_{\text{old}} \times (0.9 + 0.1/2) = 0.95 \times \text{ExTime}_{\text{old}}$$

$$\text{Speedup}_{\text{overall}} = \frac{1}{0.95} = 1.053$$

# Lei Amdahl

- Para N Processadores

Fraction<sub>enhanced</sub> = parallelizable part of program

Speedup<sub>enhanced</sub> = n

$$\text{ExTime}_{\text{new}} = \text{ExTime}_{\text{old}} (1 - \text{Fraction}_{\text{enhanced}}) + \frac{\text{ExTime}_{\text{old}} \times \text{Fraction}_{\text{enhanced}}}{n}$$

$$\text{Speedup}_{\text{overall}} = \frac{\text{ExTime}_{\text{old}}}{\text{ExTime}_{\text{new}}} = \frac{1}{(1 - \text{Fraction}_{\text{enhanced}}) + \frac{\text{Fraction}_{\text{enhanced}}}{\text{Speedup}_{\text{enhanced}}}}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \text{Speedup}_{\text{overall}} = 1 / (1 - \text{Fraction}_{\text{enhanced}})$$

# Desempenho

- **Introdução**
  - **Como medir o desempenho ?**

| <b>AVIÃO</b>        | <b>PASSAGEIROS</b> | <b>AUTOMIA<br/>(milhas)</b> | <b>VELOCIDADE<br/>(mph)</b> | <b>THROUGHPUT<br/>(passag.Xveloc)</b> |
|---------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| <b>Boeing 777</b>   | <b>375</b>         | <b>4630</b>                 | <b>610</b>                  | <b>228.750</b>                        |
| <b>Boeing 747</b>   | <b>470</b>         | <b>4150</b>                 | <b>610</b>                  | <b>286.700</b>                        |
| <b>Concorde</b>     | <b>132</b>         | <b>4000</b>                 | <b>1350</b>                 | <b>178.200</b>                        |
| <b>Douglas DC-8</b> | <b>146</b>         | <b>8720</b>                 | <b>544</b>                  | <b>79.424</b>                         |

**O desempenho pode ser definido de diferentes formas, p. ex., velocidade, n. de passageiros, (n. passag. X veloc.) etc.**

# Desempenho

- Em computação:

- Um programa sendo executado em duas *worksations* diferentes, a mais rápida é aquela que acaba o *job* primeiro.

- » para o usuário → tempo de resposta ou tempo de processamento.

- Em um centro de computação com 2 computadores grandes com *timeshared*, executando *jobs* de vários usuários, o mais rápido é aquele que executa mais *jobs* durante um intervalo de tempo.

- » para o adm. de sistemas → throughput → job/hora.

# Desempenho

- Tempo de resposta & *Throughput*

- Quais das afirmações abaixo faz com que cresça o *throughput*, decresça o tempo de resposta, ou ambos?

- » 1 - Mudar o processador por um mais rápido.

- » 2 - Adicionar mais um processador ao sistema que usa múltiplos processadores (um para cada tarefas).

(Quase sempre que se decresce o tempo de resposta, o *throughput* cresce).

# Desempenho

- Resposta

- Em 1 O tempo de resposta e o *throughput* melhoram, enquanto que em 2, o tempo de resposta continua o "mesmo" e o *throughput* cresce.
- Obs.: Diminuindo o tempo de espera, podemos também melhorar o tempo de resposta.

# Desempenho

- Para uma máquina X:

- para uma determinada tarefa:

- »  $\text{Desempenho}_X = ( 1 / \text{tempo de execução}_X )$

- Comparando 2 máquinas X e Y, se:

- $\text{Desempenho}_X > \text{Desempenho}_Y$

- $\text{Tempo de execução}_Y > \text{Tempo de execução}_X$

# Desempenho

- Desempenho relativo

- $(\text{Desempenho}_X / \text{Desempenho}_Y)$

- »  $D_X / D_Y = (\text{Tempo de execução}_Y / \text{Tempo de execução}_X)$

- Se X é n vezes mais rápido que Y, então o tempo de execução em Y é n vezes maior que em X.

- Exemplo

- Um programa leva 10 segundos na máquina A e 15 na B:

- $n = (\text{Tempo de execução}_B / \text{Tempo de execução}_A) = 1.5$

- A é 1.5 vezes mais rápido que B.

# Desempenho

- Medida de Desempenho → tempo
  - Tempo de Execução → segundos/programa
    - Tempo de relógio (*clock time*)
    - Tempo de resposta (*response time*)
    - Tempo transcorrido (*elapsed time*)
    - Tempo de CPU (*CPU time*)
- **OBS.:**
  - *elapsed time* = tempo de tudo (CPU + I/O + etc.)
  - » *CPU time* = user CPU time + system CPU time (**geralmente só se considera user CPU time**)
  - Clock time → período do clock (clock cycle) → segundos  
Ex.: 2nseg
  - » Frequência do clock (clock rate) → Hz  
Ex.: 500 MHz

# Desempenho

- Tempo de CPU

$T_{\text{CPU}}(\text{p/ programa}) = \text{períodos de clock da CPU} \times \text{período do clock}$

$T_{\text{CPU}}(\text{p/ um programa}) = \text{períodos de clock da CPU (p/ um programa)} / \text{freqüência do clock}$

- Exemplo

- Um programa roda em 10 seg. na máquina A, cuja freqüência de seu clock é de 400 MHz. Uma máquina B, a ser projetada, tem que rodar este programa em 6 seg. Que acréscimo na freqüência de clock é necessário, sabendo-se que na máquina B haverá um acréscimo de 1.2 vezes no número de períodos de clock em relação à máquina A.

# Desempenho

- Solução

- A → 10 seg. → 400 MHz → k períodos

- B → 6 seg. → ? → 1.2 k períodos

- »  $t_A = 10 = k/400 \rightarrow k = 4000$

- »  $t_B = 6 = 1.2k/x \rightarrow x = (1.2 \times 4000)/6 = 800 \text{ MHz}$

- B tem que ter um clock com frequência duas vezes maior que A.

# Desempenho

- nº de períodos da CPU ( para um programa)
  - nº de instruções X nº médio de períodos por instrução (CPI)
  - $T_{CPU}(\text{para um programa}) = (\text{nº de instruções} \times \text{CPI}) / f_{ck}$
  - $T_{CPU}(\text{para um programa}) = (\text{nº de instruções} \times \text{CPI}) \times t_{ck}$

- **Exemplo**

- Duas implementações para o mesmo Instruction Set.
- Para um determinado programa temos:

| »           | $t_{ck}$ | CPI |
|-------------|----------|-----|
| » Máquina A | 1 ns     | 2.0 |
| » Máquina B | 2 ns     | 1.2 |

- Qual a máquina mais rápida ? E quanto ?

# Desempenho

**Solução:**

**I = n. de instruções do programa**

$$T_{\text{cpuA}} = \frac{\text{Tempo da CPU}}{\text{Períodos de clock para o programa}} = I \times 2.0 \times 1n = 2.0n \times I \quad \rightarrow + \textit{rápida}$$

$$T_{\text{cpuB}} = I \times 1.2 \times 2n = 2.4n \times I$$

$$\begin{aligned} (\text{CPU performanceA} / \text{CPU performance B}) &= (2.4n \times I / 2.0n \times I) \\ &= 1.2 \quad \rightarrow 1.2 \textit{ vezes} \\ &\quad + \textit{rápida} \end{aligned}$$



# Desempenho

- Exemplo:

- Um projetista de compiladores está tentando decidir entre 2 seqüências de códigos para uma determinada máquina. Os aspectos de hardware da máquina são:

| classes de instruções | CPI para a classe |
|-----------------------|-------------------|
| A                     | 1                 |
| B                     | 2                 |
| C                     | 3                 |

- Para um comando, o projetista está considerando 2 seqüências de código:

| seqüência de código | n. de instruções para cada classe |   |   |
|---------------------|-----------------------------------|---|---|
|                     | A                                 | B | C |
| 1                   | 2                                 | 1 | 2 |
| 2                   | 4                                 | 1 | 1 |

Qual a seqüência que executa mais instruções ?

Qual a seqüência mais rápida ?

Qual a CPI de cada seqüência ?

# Desempenho

## Solução

A seqüência 1 executa :  $2 + 1 + 2 = 5$  instruções → *menos instruções*

A seqüência 2 executa :  $4 + 1 + 1 = 6$  instruções

$$\text{CPU}_{\text{períodos de clock}} = \text{CPU}_{\text{pc}} = \sum_{i=1}^n (\text{CPI}_i \times C_i)$$

$$\text{CPU}_{\text{pc1}} = (2 \times 1) + (1 \times 2) + (2 \times 3) = 10 \text{ períodos}$$

$$\text{CPU}_{\text{pc2}} = (4 \times 1) + (1 \times 2) + (1 \times 3) = 9 \text{ períodos} \rightarrow \textit{mais rápida}$$

$$\text{CPI} = \text{CPU}_{\text{pc}} / \text{n. de instruções}$$

$$\text{CPI}_1 = 10 / 5 = 2 \text{ (média de 2 períodos por instrução)}$$

$$\text{CPI}_2 = 9 / 6 = 1.5 \text{ (média de 1.5 períodos por instrução)}$$

# Desempenho

**Exemplo de utilização de um conjunto de programas para um benchmark:**

|                     | <b>Computador A</b> | <b>Computador B</b> |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Programa 1</b>   | <b>1</b>            | <b>10</b>           |
| <b>Programa 2</b>   | <b>1000</b>         | <b>100</b>          |
| <b>Total (segs)</b> | <b>1001</b>         | <b>110</b>          |

**Individualmente:**

- **A é 10 vezes mais rápido que B para o programa 1**
- **B é 10 vezes mais rápido que A para o programa 2**

**Qual o mais rápido ?**

**Usando o tempo de execução total :**

# Desempenho

Usando o tempo de execução total :

$$\begin{aligned} \text{Performance}_B / \text{Performance}_A &= \\ &= \text{Tempo de execução}_A / \text{Tempo de execução}_B = \\ &= 1001 / 110 = 9.1 \end{aligned}$$

→ B é 9.1 mais rápido que A para os programas 1 e 2 juntos !