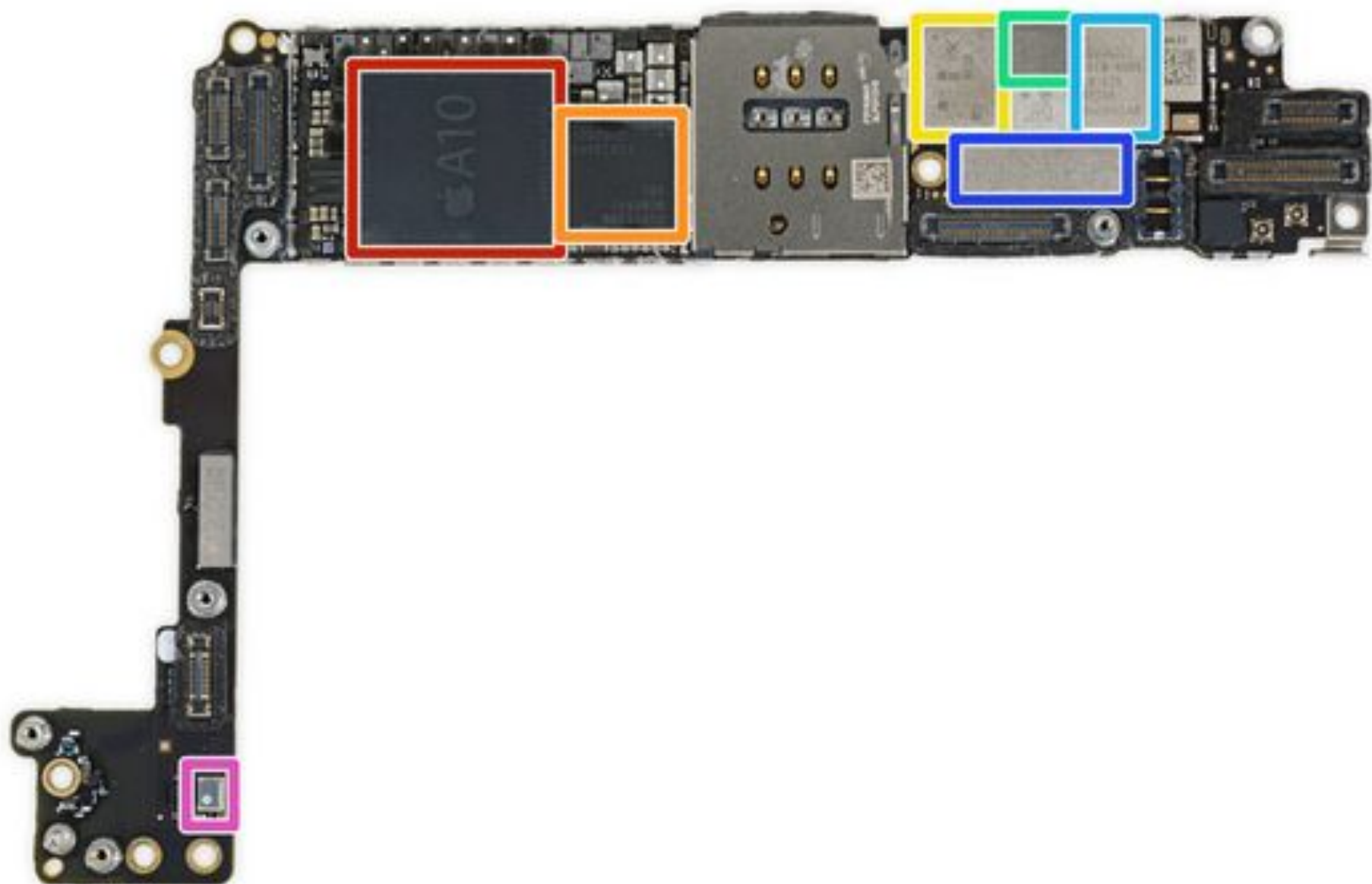


Arquitetura de Computadores

Prof. Ricardo Rabelo





Scalability with the Cortex-A50 Series

■ Cortex-A53
■ Cortex-A57

Smartphone



Superphone/
Tablet



Mobile Computer



Server



Cache Coherent Interconnect

System-on-Chip Fabric
Network

Cache Coherent

Low-power process

Implementation
process

High-performance

The Architecture for the Digital World®

ARM



Arquitetura de Computadores

- Ementa da disciplina
 - Visão geral da arquitetura do computador;
 - Análise quantitativa de projetos de pipeline;
 - Projeto de Processadores usando HDL;
 - Otimização do bloco de dados e de controle: simulação e síntese;
 - O processo de projeto de sistemas digitais.

Arquitetura de Computadores

- Livro: Computer Organization and Design: The Hardware and Software Interface. 4 ed. David A Patterson
- Site da disciplina: enviar um email para rrabelo@gmail.com para ter acesso ao material da disciplina, ao site e ao grupo
- Não estude somente pelos slides!!

Arquitetura de Computadores

- Distribuição de pontos
 - Graduação (110 ptos – 10 extras):
 - Testes: 3 testes/listas, total 45 ptos
 - Trabalho Prático: 2 a 3 trabalhos, grupos de 5 alunos. No total, 40 ptos
 - Prova Final: 25 ptos.
- .

Arquitetura de Computadores

- Atraso na entrega do trabalho:
 - -20% da nota original por dia de atraso.
- Todos os trabalhos deverão ser entregues com documentação escrita em Latex (modelo template sbc)

Arquitetura de Computadores

Plágio é crime

Direitos Autorais são tratados no Artigo 184 do [Código Penal](#) e sua violação é considerada crime contra a propriedade intelectual. Vejamos (os grifos são meus):

Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: [\(Redação dada pela Lei nº 10.695, de 1º.7.2003\)](#)

Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa. [\(Redação dada pela Lei nº 10.695, de 1º.7.2003\)](#)

§ 1º Se a violação consistir em reprodução total ou parcial, com intuito de lucro direto ou indireto, por qualquer meio ou processo, de obra intelectual, interpretação, execução ou fonograma, sem autorização expressa do autor, do artista intérprete ou executante, do produtor, conforme o caso, ou de quem os represente: [\(Redação dada pela Lei nº 10.695, de 1º.7.2003\)](#)

Pena – reclusão, de 2 (dois) a 4 (quatro) anos, e multa. [\(Redação dada pela Lei nº 10.695, de 1º.7.2003\)](#)

Plágio: crime

§ 2º Na mesma pena do § 1º incorre quem, com o intuito de lucro direto ou indireto, distribui, vende, expõe à venda, aluga, introduz no País, adquire, oculta, tem em depósito, original ou cópia de obra intelectual ou fonograma reproduzido com violação do direito de autor, do direito de artista intérprete ou executante ou do direito do produtor de fonograma, ou, ainda, aluga original ou cópia de obra intelectual ou fonograma, sem a expressa autorização dos titulares dos direitos ou de quem os represente. [\(Redação dada pela Lei nº 10.695, de 1º.7.2003\)](#)

§ 3º Se a violação consistir no oferecimento ao público, mediante cabo, fibra ótica, satélite, ondas ou qualquer outro sistema que permita ao usuário realizar a seleção da obra ou produção para recebê-la em um tempo e lugar previamente determinados por quem formula a demanda, com intuito de lucro, direto ou indireto, sem autorização expressa, conforme o caso, do autor, do artista intérprete ou executante, do produtor de fonograma, ou de quem os represente: [\(Redação dada pela Lei nº 10.695, de 1º.7.2003\)](#)

Pena – reclusão, de 2 (dois) a 4 (quatro) anos, e multa. [\(Incluído pela Lei nº 10.695, de 1º.7.2003\)](#)

Plágio: crime

<http://noticias.universia.com.br/vida-universitaria/noticia/2012/08/20/959919/como-plagio-pode-destruir-sua-carreira-e-estudos.html>

Confira dicas, exemplos e explicações para que você não caia nesse erro. O copia e cola pode prejudicar seus estudos, carreira e credibilidade de maneira definitiva

O [copia e cola pode prejudicar a carreira](#) de um profissional de maneira definitiva, mesmo nos primeiros anos de estudo. Políticos, personalidades e pesquisadores de renome já perderam seus cargos e credibilidade em função do plágio em [trabalhos acadêmicos](#). Para que você não caia nessa armadilha e tenha seus [trabalhos plagiados](#) ou não cometa a fraude por falta de atenção e informação, separamos algumas dicas práticas, exemplos e explicações que facilitam o entendimento sobre esse assunto.

Arquitetura de Computadores

- Cópia de trabalhos e exercícios
 - Individual: zerada a nota do trabalho e a melhor nota que tenha tirado no semestre.
 - Trabalho em grupo: todos os membros do grupo que tiveram os trabalhos iguais terão nota zero. Individualmente, será zerada a melhor nota que cada aluno tenha tirado (prova, trabalho, etc.)

Arquitetura de Computadores

.NÃO COPIEM TRABALHOS!

.Os plagiadores serão acionados judicialmente

Por que estudar Arquitetura de Computadores?

- Por que é disciplina obrigatória ao curso e, sem ela, eu não formo? :)
- Porque:
 - Os avanços da computação tem acelerado na criação de novos tipos de hardwares para sistemas computacionais: desktops, celulares, servidores, sistemas embarcados
 - Novos avanços, novos desafios: como aproveitar melhor e compreender que avanços são esses.

Por que estudar Arquitetura de Computadores

- Compreender o projeto de hardware e os detalhes de sua criação são essenciais para o desenvolvimento de um software de qualidade
- Interpretar os avanços dos novos projetos de hardware e conseguir avaliar quais são as verdadeiras inovações que eles trazem:
 - Afinal, você sabe se tem alguma vantagem você trocar o seu processador Pentium Core i3 2.3GHz um Pentium Core i5 1.2GHZ? E sua pra NVIDIA M930 por uma ATI 9400?

Por que estudar Arquitetura de Computadores?

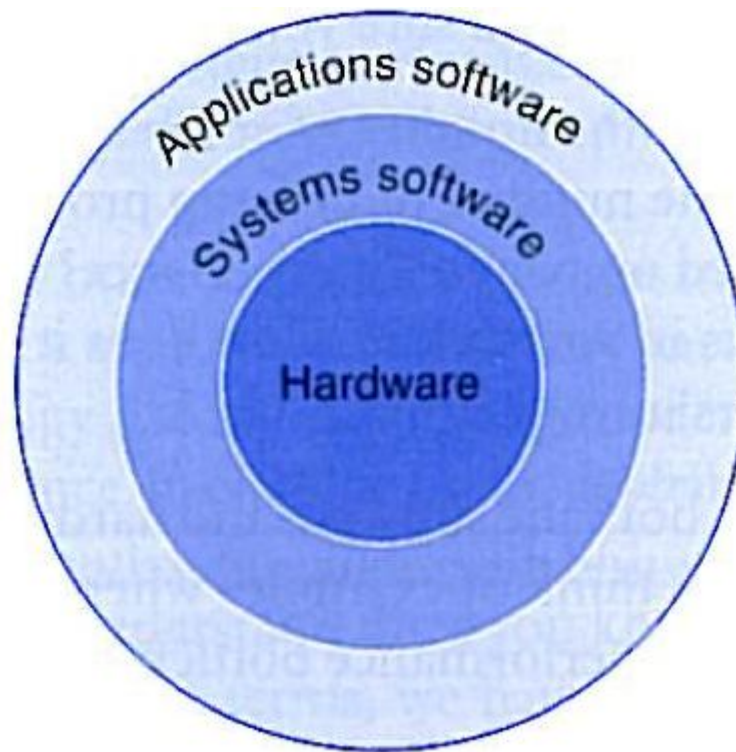
- Como os programas escritos em linguagens de alto nível como C, Java, Haskell são traduzidos para linguagem de máquina e como as escolhas das linguagens afetam o desempenho do programa
- Qual é a interface entre software e hardware e como o software comanda o hardware a executar o que é necessário

Por que estudar Arquitetura de Computadores?

- Quais são os fatores que determinam o desempenho de um programa e como este desempenho pode ser melhorado?
- Quais são as técnicas para aprimorar o desempenho do hardware?
- Quais são as consequências dos últimos avanços nos projetos de hardware?
(processador multicores, embutidos, etc.)

O que é Arquitetura

- Níveis de abstração



O que é Arquitetura

- Níveis de abstração de linguagens


```
swap(int v[], int k)
{
    int temp;
    temp = v[k];
    v[k] = v[k+1];
    v[k+1] = temp;
}
```

↓

Compiler

↓

```
swap:
    muli    $2, $5, 4
    add     $2, $4, $2
    lw      $15, 0($2)
    lw      $16, 4($2)
    sw      $16, 0($2)
    sw      $15, 4($2)
    jr      $31
```

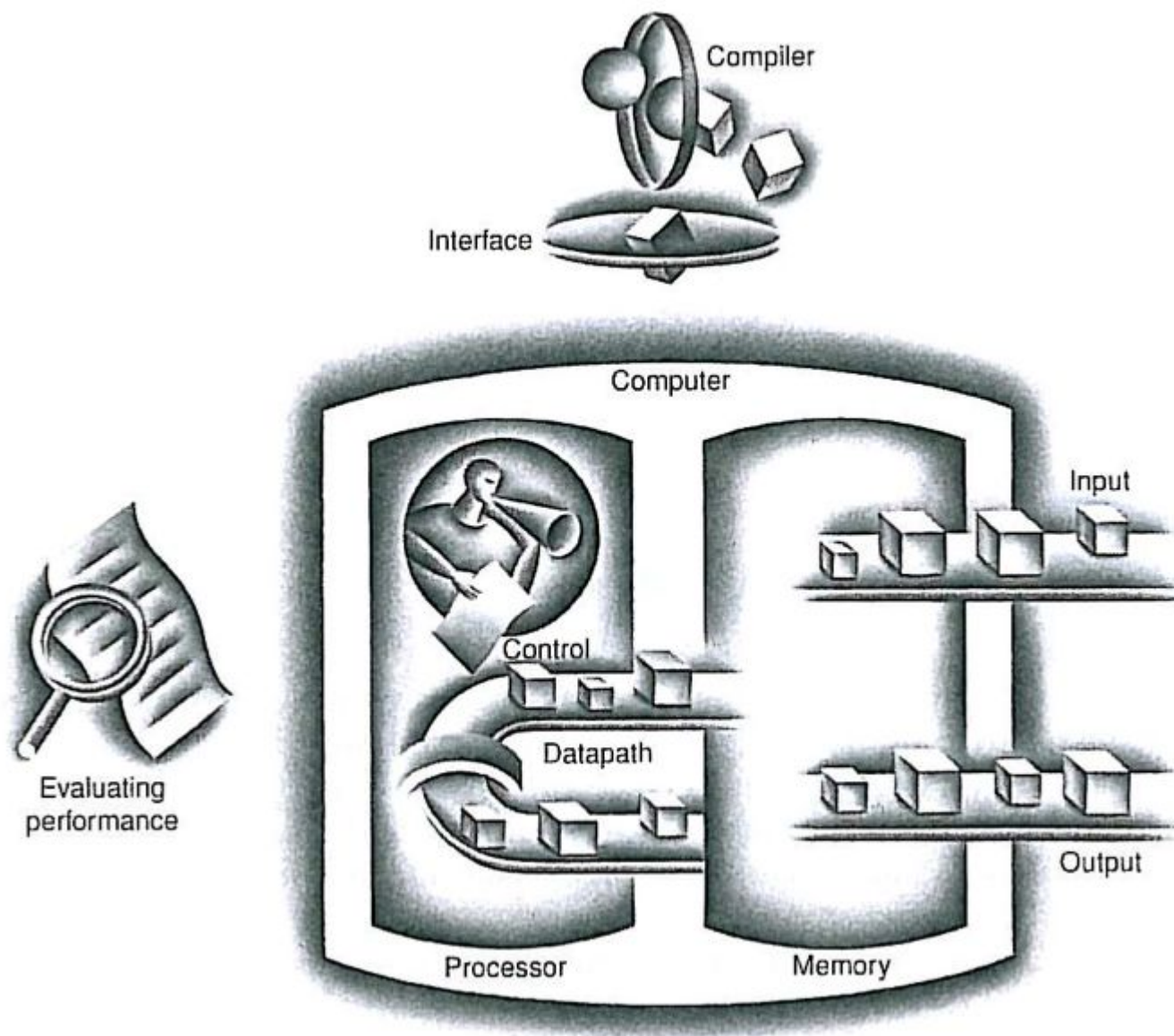
↓

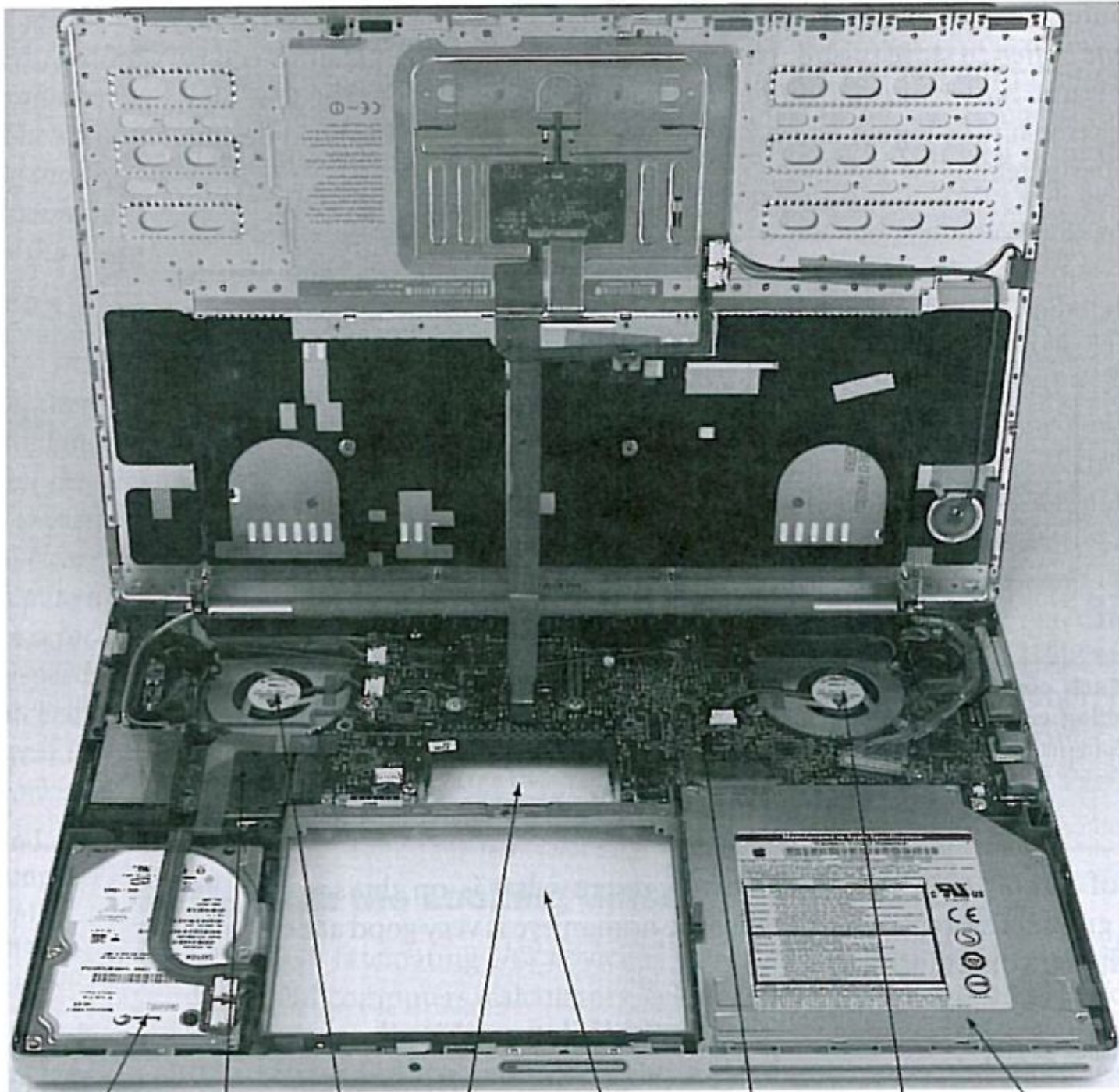
Assembler

↓

```
000000001010000100000000000011000
000000000000110000001100000100001
10001100011000100000000000000000
100011001111001000000000000000100
10101100111100100000000000000000
101011000110001000000000000000100
0000001111100000000000000000001000
```

O que é Arquitetura





Hard drive

Processor

Fan with
cover

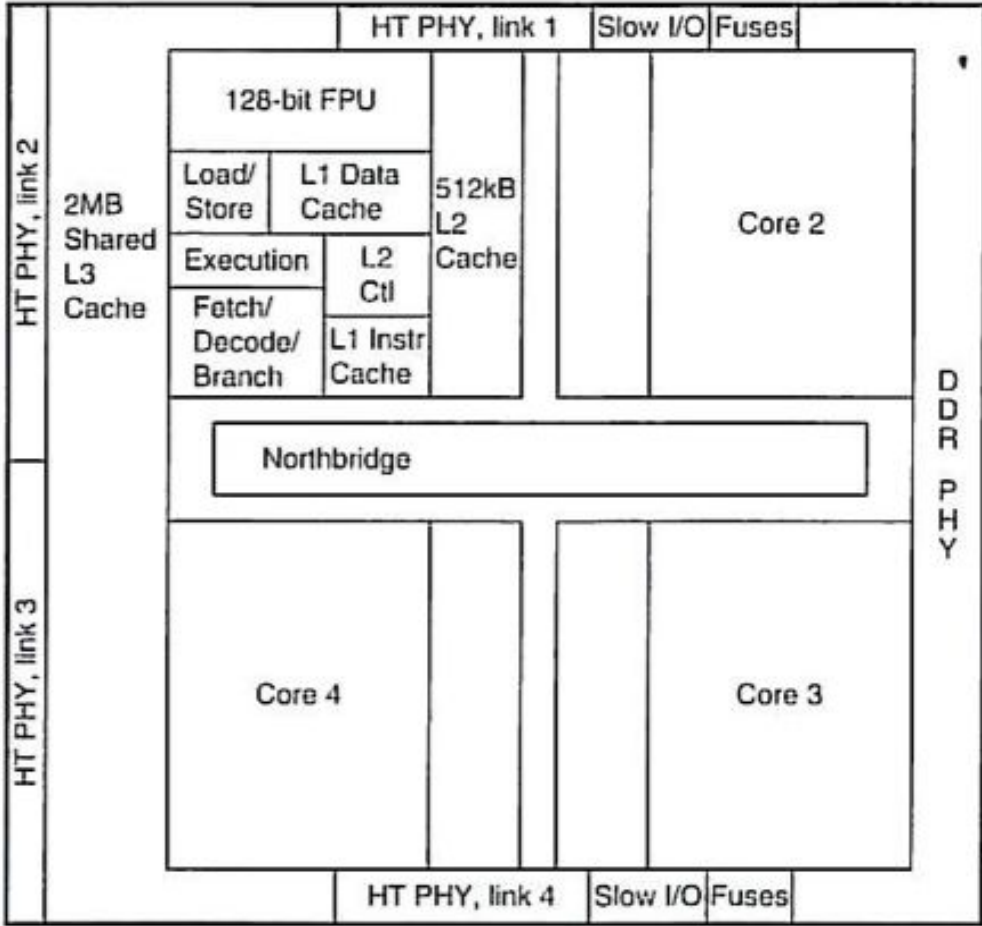
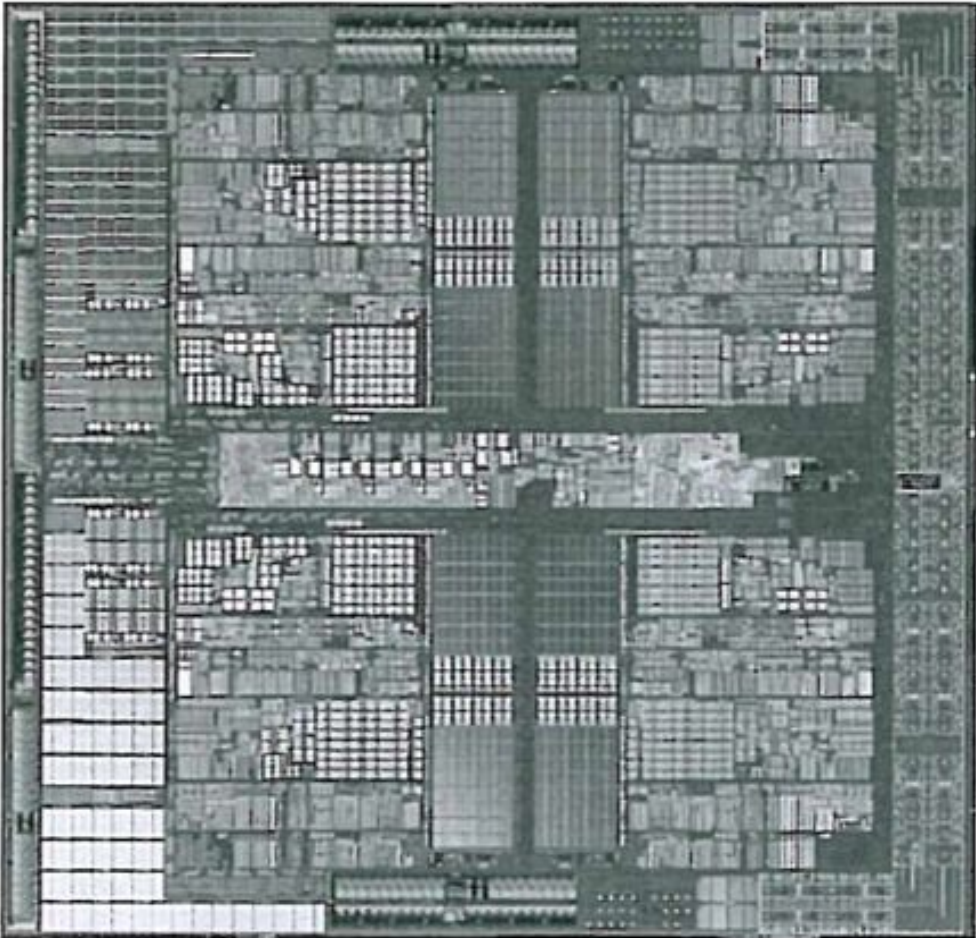
Spot for
memory
DIMMs

Spot for
battery

Motherboard

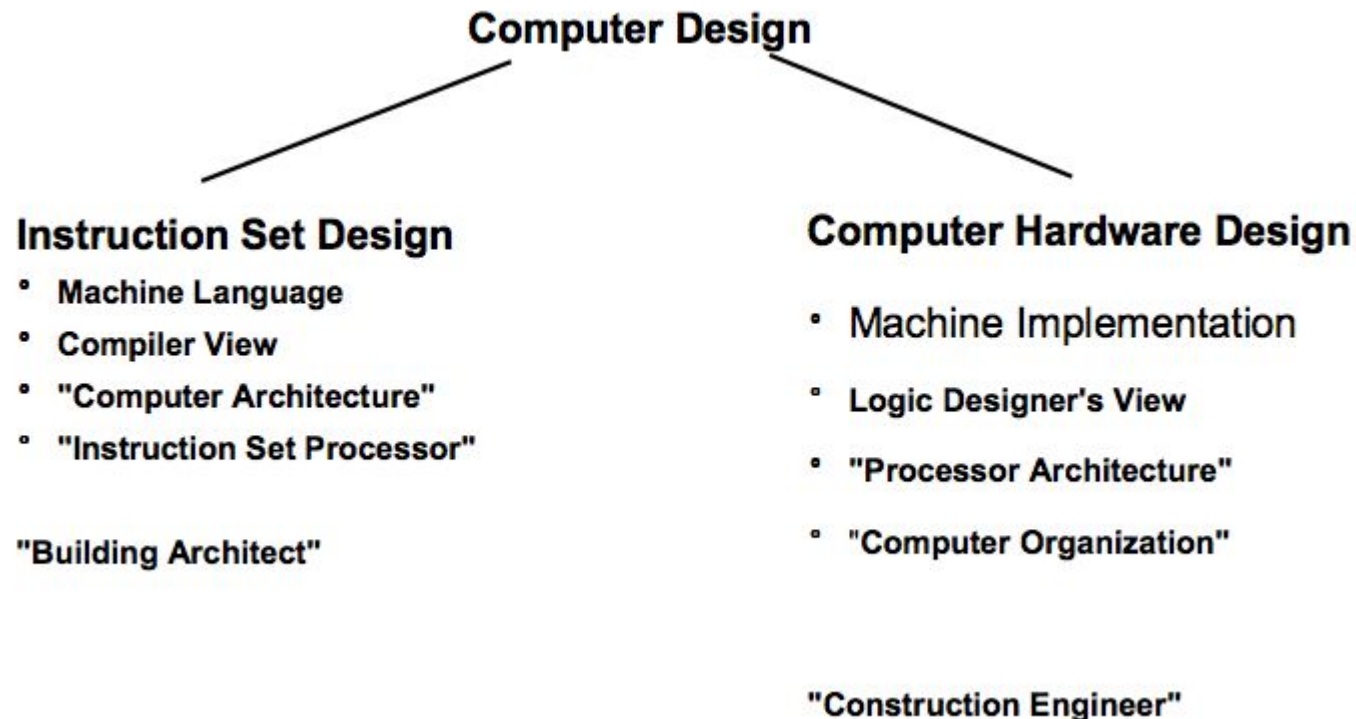
Fan with
cover

DVD drive



O que é Arquitetura de Computadores

- Arq. Comp = Projeto do conjunto de instruções + Org. do Computador



Como avaliar uma Arquitetura específica?

- Desempenho: uma avaliação de desempenho permite pontuar e avaliar de maneira qualitativa diferentes arquiteturas.
- Avaliação essencial e usada desde o projetista de um processador até pelo vendedor do computador.
- Mas como ter uma avaliação precisa?

Definindo Desempenho

- Como comparar os aviões abaixo? Qual tem o melhor desempenho?

Airplane	Passenger capacity	Cruising range (miles)	Cruising speed (m.p.h.)	Passenger throughput (passengers × m.p.h.)
Boeing 777	375	4630	610	228,750
Boeing 747	470	4150	610	286,700
BAC/Sud Concorde	132	4000	1350	178,200
Douglas DC-8-50	146	8720	544	79,424

Definindo Desempenho

- O desempenho é a medida de maior velocidade? Qual seria melhor, o Concorde ou o 747?

Airplane	Passenger capacity	Cruising range (miles)	Cruising speed (m.p.h.)	Passenger throughput (passengers × m.p.h.)
Boeing 777	375	4630	610	228,750
Boeing 747	470	4150	610	286,700
BAC/Sud Concorde	132	4000	1350	178,200
Douglas DC-8-50	146	8720	544	79,424

Definindo Desempenho

- Se você está trabalhando com um computador desktop, poderia afirmar que o computador mais rápido é aquele que termina mais rápido seu processamento e retorna a resposta a você
- Se você está trabalhando com um grande servidor, poderia dizer que o mais rápido é aquele que termina várias tarefas em um dia

Definindo Desempenho

- Como usuário individual de um computador, você está interessado no *tempo de resposta* do computador para cada tarefa (também conhecido como tempo de execução)
- Como usuário de um datacentro, você está interessado na *vazão* de processamento, quantos trabalhos foram concluídos em determinado período de tempo

Definindo Desempenho

- Quais das duas escolhas abaixo aumentam a vazão e diminuem o tempo de resposta?
 - Trocar o processador do computador por um mais rápido
 - Adicionar mais processadores ao sistema, colocando cada um para fazer uma tarefa diferente

Definindo Desempenho

- Diminuir o tempo de resposta sempre aumenta a vazão. Na primeira situação, ambos são melhorados.
- Na segunda situação, somente a vazão é ampliada. Contudo, se o a quantidade de processos acumulados num sistema for muito grande a ponto deles terem que esperar o processamento, o aumento da vazão irá diminuir a espera e por fim, melhor o tempo de resposta

Definindo Desempenho

- A métrica adotada considera que para melhorar o desempenho, o tempo de resposta (ou tempo de execução) deve diminuir. Dado um computador X temos:

$$\text{Performance}_x = \frac{1}{\text{Execution time}_x}$$

Definindo Desempenho

- Para comparar um computador X com um Y

$$\text{Performance}_x > \text{Performance}_y$$

$$\frac{1}{\text{Execution time}_x} > \frac{1}{\text{Execution time}_y}$$

$$\text{Execution time}_y > \text{Execution time}_x$$

$$\frac{\text{Performance}_x}{\text{Performance}_y} = \frac{\text{Execution time}_y}{\text{Execution time}_x} = n$$

Definindo Desempenho

- Se um computador A demora 10 segundos para executar uma tarefa e o computador B demora 15 segundos para executar a mesma tarefa, quantas vezes A é mais rápido que B?

Definindo Desempenho

- O tempo é a medida principal do desempenho: o computador que efetuar a mesma tarefa no menor espaço de tempo, é o mais rápido
- Contudo, este tempo pode ser associado ao tempo total de tudo que o computador faz, como acesso a discos, memória, I/O, etc.

Definindo Desempenho

- Para ter uma medida precisa do tempo, é necessário identificar os momentos em que a tarefa requisitada realmente esta sendo executada pelo computador e quanto tempo esta sendo utilizado no processador (CPU Time).
- Diferentes aplicações são sensíveis a diferentes aspectos do computador. Algumas utilizam mais CPU, outras utilizam mais I/O.

Definindo Desempenho

- Iremos considerar como medida, somente o tempo no qual a tarefa executa diretamente no processador – CPU Time
- Na prática, este tempo ainda pode ser organizado em mais níveis e sua medida é difícil de se conseguir com precisão, devido as características da abstração que o Sistema Operacional introduz.

Definindo Desempenho

- Usuários e projetistas de hardware tem abordagens diferentes do que é a melhor métrica para o desempenho.
- Correlacionar as métricas permite que seja possível inferir qual o impacto de uma mudança no projeto de hardware tem sobre o usuário
- Iremos considerar os ciclos de clock (clock cycles) como a unidade atômica de medida temporal

Definindo Desempenho

- O clock é um componente do hardware responsável pela sincronização dos circuitos internos e é a unidade atômica de medida temporal para o funcionamento de um processador

$$\text{CPU execution time for a program} = \text{CPU clock cycles for a program} \times \text{Clock cycle time}$$

$$\text{CPU execution time for a program} = \frac{\text{CPU clock cycles for a program}}{\text{Clock rate}}$$

Definindo Desempenho

- Temos um programa que demora 10 segundos para executar no computador A, o qual tem um clock de 2 GHz. Um computador B está sendo desenvolvido para executar o mesmo programa em 6 segundos. O projetista está avaliando que tal melhoria é possível, contudo, o computador B irá precisar de gastar mais 1.2 ciclos de clock para executar este programa do que o computador A. Qual deve ser a velocidade do clock do computador B para que este consiga o tempo de execução requerido?

Definindo Desempenho

- Primeiro, qual é a quantidade de ciclos de clock que o computador A precisa para executar este programa:

$$\text{CPU time}_A = \frac{\text{CPU clock cycles}_A}{\text{Clock rate}_A}$$

$$10 \text{ seconds} = \frac{\text{CPU clock cycles}_A}{2 \times 10^9 \frac{\text{cycles}}{\text{second}}}$$

$$\text{CPU clock cycles}_A = 10 \text{ seconds} \times 2 \times 10^9 \frac{\text{cycles}}{\text{second}} = 20 \times 10^9 \text{ cycles}$$

Definindo Desempenho

- A partir dos ciclos de clock necessários, avaliamos qual é o clock de B para atingir este valor

$$\text{CPU time}_B = \frac{1.2 \times \text{CPU clock cycles}_A}{\text{Clock rate}_B}$$

$$6 \text{ seconds} = \frac{1.2 \times 20 \times 10^9 \text{ cycles}}{\text{Clock rate}_B}$$

$$\text{Clock rate}_B = \frac{1.2 \times 20 \times 10^9 \text{ cycles}}{6 \text{ seconds}} = \frac{0.2 \times 20 \times 10^9 \text{ cycles}}{\text{second}} = \frac{4 \times 10^9 \text{ cycles}}{\text{second}} = 4 \text{ GHz}$$

Definindo Desempenho

- Para ter uma melhor precisão, iremos considerar a quantidade de instruções que um programa possui para serem executado, de maneira que:

$$\text{CPU clock cycles} = \text{Instructions for a program} \times \text{Average clock cycles per instruction}$$

- Com isso temos o CPI: Ciclos por Instrução. Número médio de ciclos de clock gastos por instrução

Definindo Desempenho

- Suponha que nós temos duas implementações de um programa usando o mesmo conjunto de instruções em dois computadores diferentes. O computador A possui um tempo de clock de 250 pS e um CPI de 2 enquanto o computador B possui ciclo de clock de 500 pS e CPI de 1.2 para este programa. Qual dos computadores é o mais rápido para este programa e quanto?

Definindo Desempenho

- Considerando o programa I vamos avaliar quantos ciclos de clock ele gasta para cada computador

$$\text{CPU clock cycles}_A = I \times 2.0$$

$$\text{CPU clock cycles}_B = I \times 1.2$$

- A partir disso, temos o CPU Time de cada computador

$$\text{CPU time}_A = \text{CPU clock cycles}_A \times \text{Clock cycle time}$$

$$= I \times 2.0 \times 250 \text{ ps} = 500 \times I \text{ ps}$$

$$\text{CPU time}_B = I \times 1.2 \times 500 \text{ ps} = 600 \times I \text{ ps}$$

Definindo Desempenho

$$\frac{\text{CPU performance}_A}{\text{CPU performance}_B} = \frac{\text{Execution time}_B}{\text{Execution time}_A} = \frac{600 \times I \text{ ps}}{500 \times I \text{ ps}} = 1.2$$

- Computador A é 1.2 vezes mais rápido que o B

$$\text{Time} = \text{Seconds/Program} = \frac{\text{Instructions}}{\text{Program}} \times \frac{\text{Clock cycles}}{\text{Instruction}} \times \frac{\text{Seconds}}{\text{Clock cycle}}$$

Definindo Desempenho

- Considere um conjunto de instruções que é composto por 3 tipos: A, B e C

	CPI for each instruction class		
	A	B	C
CPI	1	2	3

- Duas implementações diferentes do mesmo programa usam as seguintes combinações

Code sequence	Instruction counts for each instruction class		
	A	B	C
1	2	1	2
2	4	1	1

Definindo Desempenho

- Qual o CPI de cada programa?
- Quantos ciclos de clock cada um possui?
- Qual tem mais instruções?
- Por fim, qual a implementação mais recomendável?