



Aluno: Matheus Peixoto Ribeiro Vieira Matrícula: 22.1.4104

Lista 1 - Exercício C

1. 1) a) Microcontroladores em carros, responsáveis por controle de tração e estabilidade

b) Equipamento de microondas que possuem computadores para contar o tempo e emitir informações

c) Relógios inteligentes que conseguem emitir dados úteis para o usuário, como o batimento cardíaco

d) Piloto automático em aviões, permitindo que a aeronave controle velocidade, altitude, etc.

1. 2) a: Performance via Pipelining

b: Performance via paralelismo

c: Performance via predição

d: Fazer o caso comum rápido

e: Hierarquia de memória

f: Design para a lei de Moore

g: Confiabilidade por redundância

h: Usar abstração para simplificar o design

1. 3) O processo para transformar um programa de alto nível em linguagem de máquina começa, primeiramente, com o código sendo feito em C seguindo as regras da linguagem. Em seguida, o compilador é executado para transformar todo o código para linguagem assembly. Por fim, o assembler irá transformar este código em instruções binárias.

$$1.4 \text{ a) } 1024 \times 1280 = 1.310.720$$

$$1310720 \cdot 3 \text{ canais} \cdot 8 \text{ bits cada canal} = 31457280 \text{ bits}$$

$$31457280 / 8 = 3932160 \text{ bytes}$$

$$\text{b) } 100 \text{ Mbit} / 8 = 12,5 \text{ mega bytes}$$

$$3932160 / 12500000 = 0,3145728 \text{ segundos}$$

| 1.5) | Clock rate | CPI |
|----------------|------------|-----|
| P ₁ | 36 Hz | 1,5 |
| P ₂ | 2,5 GHz | 1 |
| P ₃ | 4 GHz | 2,2 |

$$\text{a) Performance} = \frac{\text{Clock rate}}{\text{CPI}}$$

$$P_1 \Rightarrow \frac{36 \text{ Hz}}{1,5} = 2 \cdot 10^9$$

$$P_2 \Rightarrow \frac{2,5 \text{ GHz}}{1} = 2,5 \cdot 10^9$$

$$P_3 \Rightarrow \frac{4 \text{ GHz}}{2,2} = 1,82 \cdot 10^9$$

P₂ tem mais instruções por segundo

$$\text{b) CPU Time} = 10s$$

$$P_1 \Rightarrow 10 = \frac{x}{3 \cdot 10^9}$$

$$x = 3 \cdot 10^{10} \text{ cicles}$$

$$3 \cdot 10^{10} = I \cdot 1,5$$

$$I = 2 \cdot 10^{10} \text{ instruções}$$

$$P_2 \text{ tem } 2 \cdot 10^{10} \text{ instruções}$$



$$P_2 \Rightarrow 10 = \frac{x}{2,5 \cdot 10^9} \quad I = \frac{2,5 \cdot 10^{10}}{L}$$

$$x = 2,5 \cdot 10^{10} \text{ cycles} \quad I = 2,5 \cdot 10^{10} \text{ instruções}$$

$$P_3 \Rightarrow 10 = \frac{x}{4 \cdot 10^9} \quad I = \frac{4 \cdot 10^{10}}{2,2}$$

$$x = 4 \cdot 10^9 \text{ cycles} \quad I = 1,8 \cdot 10^{10} \text{ instruções}$$

c) Novos CPIs

$$P_1 \Rightarrow 1,5 \cdot 1,2 = 1,8$$

$$P_2 \Rightarrow 1,0 \cdot 1,2 = 1,2$$

$$P_3 \Rightarrow 2,2 \cdot 1,2 = 2,64$$

$$\text{CPU Time} = \frac{\text{instructions} \cdot \text{CPI}}{\text{Clock rate}}$$

$$\text{instructions} = \frac{\text{CPU time} \cdot \text{clock rate}}{\text{CPI}}$$

$$\frac{\text{CPU time} \cdot \text{clock rate antigo}}{\text{CPI antigo}} = \frac{\text{CPU time} \cdot \text{clock rate novo}}{\text{CPI novo}}$$

$$P_1 \Rightarrow \frac{10 \cdot 3 \cdot 10^9}{1,5} \rightarrow ? \cdot \text{Clock rate}$$

$$2,8$$

$$10,5 \text{ clock rate} = 5,4 \cdot 10^9$$

$$\text{clock rate} \approx 5,14 \text{ GHz}$$

$$P_2 \Rightarrow ? \cdot \text{Clock rate} = 10 \cdot 2,5 \cdot 10^9 \cdot 1,2$$

$$? \text{ Clock rate} = 3 \cdot 10^{10}$$

$$\text{Clock rate} \approx 4,28 \text{ GHz}$$

$$P_3 \rightarrow 7 \cdot 2 \cdot 2 \text{ Clock rate} = 10 \cdot 4 \cdot 10^9 \cdot 2,64$$

$$15,4 \text{ Clock rate} = 1,056 \cdot 10^{11}$$

$$\text{Clock rate} \approx 6,86 \text{ GHz}$$

| | CPI A | CPI B | CPI C | CPI D | Clock rate |
|----------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| P ₁ | 1 | 2 | 3 | 3 | 2,5 GHz |
| P ₂ | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 GHz |

1000000 instruções

$$100000 \text{ A}$$

$$200000 \text{ B}$$

$$500000 \text{ C}$$

$$200000 \text{ D}$$

$$P_1 = \frac{10^5 + (2 \cdot 2 \cdot 10^5) + (3 \cdot 5 \cdot 10^5) + (3 \cdot 2 \cdot 10^5)}{2,5 \cdot 10^9}$$

$$= \frac{10^5 + 4 \cdot 10^5 + 15 \cdot 10^5 + 6 \cdot 10^5}{2,5 \cdot 10^9}$$

$$= \frac{26 \cdot 10^5}{2,5 \cdot 10^9} = \frac{10,4 \cdot 10^{-4}}{1,04 \cdot 10^{-3}}$$

$$P_2 = \frac{(2 \cdot 10^5) + (2 \cdot 2 \cdot 10^5) + (2 \cdot 5 \cdot 10^5) + (2 \cdot 2 \cdot 10^5)}{3 \cdot 10^9}$$

$$= \frac{(2+4+10+4) \cdot 10^5}{3 \cdot 10^9}$$

$$= \frac{20 \cdot 10^5}{3 \cdot 10^9} = \frac{6,7 \cdot 10^{-4}}{1}$$

Portanto P₂ é mais rápido



▶ ▶

D S T Q Q S S

$$1.6.) \text{CPS global} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{instruções } i \cdot \text{CPI}_i}{\text{total de instruções}}$$

$$P_1 \Rightarrow \frac{(1 \cdot 10^5) + (2 \cdot 2 \cdot 10^5) + (3 \cdot 5 \cdot 10^5) + (3 \cdot 2 \cdot 10^5)}{10^6}$$

$$\frac{26 \cdot 10^5}{10^6}$$

$$\frac{2,6 \cdot 10^6}{10^6} = 2,6$$

$$P_2 \Rightarrow \frac{(2 \cdot 1 \cdot 10^5) + (2 \cdot 2 \cdot 10^5) + (2 \cdot 5 \cdot 10^5) + (2 \cdot 2 \cdot 10^5)}{10^6}$$

$$\Rightarrow \frac{2 \cdot 30^6}{10^6} = 2$$

$$\text{CPI } P_1 = 2,6$$

$$\text{CPS } P_2 = 2$$

$$1.) \text{P1 clock cycles} = (1 \cdot 10^5) + (2 \cdot 2 \cdot 10^5) + (3 \cdot 5 \cdot 10^5) + (3 \cdot 2 \cdot 10^5)$$

$$\text{P1 clock cycles} = \underline{2,6 \cdot 10^6}$$

$$\text{P2 clock cycles} = (2 \cdot 1 \cdot 10^5) + (2 \cdot 2 \cdot 10^5) + (2 \cdot 5 \cdot 10^5) + (2 \cdot 2 \cdot 10^5)$$

$$\text{P2 clock cycles} = \underline{2 \cdot 10^6}$$

| 1.7) | Instruções | Execution Time |
|------|------------------|----------------|
| A | 10^9 | 1,1 |
| B | $1,2 \cdot 10^9$ | 1,5 |



a) Clock cycle time = 10^{-9} CPI = $\frac{\text{CPU time}}{\text{Instruções} \cdot \text{Clock cycle time}}$

Instruções · Clock cycle time

$$\text{CPI A: } \frac{1,1}{10^9 \cdot 10^{-9}} = 1,1 \quad \text{CPI B: } \frac{1,5}{1,2 \cdot 10^9 \cdot 10^{-9}} = 1,25$$

b) CPU Time = $\frac{\text{Instruções A} \cdot \text{CPI A}}{\text{Clockrate A}} = \frac{\text{Instruções B} \cdot \text{CPI B}}{\text{Clockrate B}}$

$$\frac{1}{\text{Clockrate A}} = \frac{\text{Instruções B} \cdot \text{CPI B}}{\text{Instruções A} \cdot \text{CPI A} \cdot \text{Clockrate B}}$$

$$\text{Clockrate A} = \frac{\text{Instruções A} \cdot \text{CPI A} \cdot \text{Clockrate B}}{\text{Instruções B} \cdot \text{CPI B}}$$

$$\text{Clockrate A} = \frac{10^9 \cdot 1,1 \cdot \text{Clockrate B}}{1,2 \cdot 10^9 \cdot 1,25}$$

$$\text{Clockrate A} = 0,73 \text{ Clockrate B}$$

Logo, o clock de A é equivalente a 73% do clock de B. Assim, A é 23% mais lento que B

c) CPU_A Time = $10^9 \cdot 1,1 \cdot 10^{-9} = 1,1 \text{ s}$

$$\text{CPU}_B \text{ Time} = 1,2 \cdot 10^9 \cdot 1,25 \cdot 10^{-9} = 1,5 \text{ s}$$

$$\text{CPU}_C \text{ Time} = 6 \cdot 10^8 \cdot 1,1 \cdot 10^{-9} = 0,66 \text{ s}$$

Performance A = $\frac{\text{tempo A}}{\text{tempo C}} = \frac{1,1}{0,66} = 1,67$

Performance C = $\frac{\text{tempo C}}{\text{tempo A}} = \frac{0,66}{1,1} = 0,60$

Performance B = $\frac{\text{tempo A}}{\text{tempo C}} = \frac{1,1}{0,66} = 1,67$

Performance C = $\frac{\text{tempo C}}{\text{tempo B}} = \frac{0,66}{1,1} = 0,60$



► ►
O S T O O S S

| 1.8) | Clock rate | Voltage | Static power | Dynamic power |
|-----------|------------|---------|--------------|---------------|
| Pentium 4 | 3.6 GHz | 1.25 V | 10 W | 90 W |
| i5 | 3.4 GHz | 0.9 V | 30 W | 40 W |

a) Power = $\frac{\text{capacitive load} \cdot (\text{voltage})^2 \cdot \text{frequency}}{2}$

$$\text{Pentium 4} \rightarrow 90 = \frac{x \cdot (1,25)^2 \cdot 3,6 \cdot 10^9}{2}$$

$$1,5625 \cdot 3,6 \cdot 10^9 x = 18$$

$$5,625 \cdot 10^9 x = 180$$

$$x = 3,2 \cdot 10^{-8}$$

$$i5 \rightarrow 40 = \frac{x \cdot 0,81 \cdot 3,4 \cdot 10^9}{2}$$

$$2,754 \cdot 10^9 x = 80$$

$$x = 2,9 \cdot 10^{-8}$$

b) Pentium 4 \rightarrow Energia Total: $10 \text{ W} + 90 \text{ W} = 100 \text{ W}$

$$\text{Perda: } 100 \cdot \frac{10}{100} = 10\%$$

$$\text{Proporção: } \frac{10}{90} = 0,11$$

$$i5 \Rightarrow \text{Energia Total} = 30 \text{ W} + 40 \text{ W} = 70 \text{ W}$$

$$\text{Perda: } 100 \cdot \frac{30}{70} = 42,86\%$$

$$\text{Proporção: } \frac{30}{40} = \frac{3}{4}$$



c) Pentium 4

$$P = I \cdot V + \frac{C \cdot V^2}{2} = 0,9 \text{ P}$$

$$8 \cdot V + \frac{3,2 \cdot 10^{-9} \cdot V^2 \cdot 3,6 \cdot 10^9}{2} = 0,9 \cdot 100$$

$$8V + 57,6V^2 = 90$$

$$57,6V^2 + 8V - 90 = 0$$

$$V = \frac{-8 \pm \sqrt{8^2 - 4 \cdot 57,6 \cdot 90}}{2 \cdot 57,6}$$

$$V = \frac{-8 \pm 144,2}{2 \cdot 57,6}$$

$$V = -1,25,2$$

$$V' = 1,18V$$

$$\frac{1,18}{1,25} \cdot 100 = 94,4\% \quad \therefore -5,6\%$$

$$V'' = -1,32V$$

$$\frac{1,32}{1,25}$$

; 5

$$33,3V + \frac{29,05 \cdot 10^{-9} \cdot V^2 \cdot 3,4 \cdot 10^9}{2} = 0,9 \cdot 70$$

$$33,3V + 49,385V^2 = 63$$

$$49,385V^2 + 33,3V - 63 = 0$$

$$V = \frac{-33,3 \pm \sqrt{33,3^2 - 4 \cdot 49,385(-63)}}{2 \cdot 49,385}$$

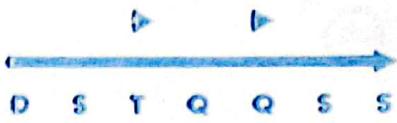
$$V = \frac{-33,3 \pm 116,42}{2 \cdot 49,385}$$

$$98,77$$

$$V' = 0,84V$$

$$\frac{0,84}{0,9} \cdot 100 = 93,3 \quad \therefore -6,7\%$$

$$V'' = -1,51V$$



1.9.1)

CPIs 1 1 2 5

$\underbrace{2,56 \cdot 10^9}_{\text{aritmética}} + \underbrace{1,28 \cdot 10^9}_{\text{load}} + \underbrace{256 \cdot 10^6}_{\text{branch}}$ instruções

26 Hz clock frequency

$\sum_{i=1}^n \text{CPI}_i \cdot \text{instrução}_i = \text{CPU Time}$
clock rate

• 1 processador

$$\frac{(2,56 \cdot 10^9) + (12 \cdot 1,28 \cdot 10^9) + (5 \cdot 256 \cdot 10^6)}{2 \cdot 10^9} = 9,6 \text{ s}$$

• 2 processadores

$$\frac{(2,56 \cdot 10^9) + (12 \cdot 1,28 \cdot 10^9)}{0,7 \cdot 2 \cdot 10^9} + 5 \cdot 256 \cdot 10^6 = 7,04 \text{ s} - 2,56 \text{ s}$$

• 4 processadores

$$\frac{(2,56 \cdot 10^9) + (12 \cdot 1,28 \cdot 10^9)}{0,7 \cdot 4 \cdot 10^9} + 5 \cdot 256 \cdot 10^6 = 3,84 \text{ s} - 5,76 \text{ s}$$

• 8 processadores

$$\frac{(2,56 \cdot 10^9) + (12 \cdot 1,28 \cdot 10^9)}{0,7 \cdot 8 \cdot 10^9} + 5 \cdot 256 \cdot 10^6 = 2,24 \text{ s} - 7,36 \text{ s}$$

1.9.2)

1 processador:

$$\frac{(2 \cdot 2,56 \cdot 10^9) + (12 \cdot 1,28 \cdot 10^9) + (5 \cdot 2,56 \cdot 10^8)}{2 \cdot 10^9} = 10,885 + 1,285$$

2 processadores:

$$\frac{(2 \cdot 2,56 \cdot 10^9) + (12 \cdot 1,28 \cdot 10^9) + (5 \cdot 2,56 \cdot 10^8)}{2 \cdot 10^9} = 7,955 + 0,915$$

4 processadores

$$\frac{(2 \cdot 2,56 \cdot 10^9) + (12 \cdot 1,28 \cdot 10^9) + (5 \cdot 2,56 \cdot 10^8)}{2 \cdot 10^9} = 4,35 + 0,465$$

8 processadores

$$\frac{(2 \cdot 2,56 \cdot 10^9) + (12 \cdot 1,28 \cdot 10^9) + (5 \cdot 2,56 \cdot 10^8)}{2 \cdot 10^9} = 2,475 + 0,235$$

$$1.9.3) \frac{(1 \cdot 2,56 \cdot 10^9) + (x \cdot 1,28 \cdot 10^9) + (5 \cdot 2,56 \cdot 10^8)}{2 \cdot 10^9} = 3,84$$

$$1,28 \cdot 10^9 x = 7,68 \cdot 10^9 - 2,56 \cdot 10^9 - 1,28 \cdot 10^9$$

$$1,28 \cdot 10^9 x = 3,84 \cdot 10^9$$

$$x = 3$$



▶ ▶

D S T Q Q S S

1.11) Instructions : $2,389 \cdot 10^{12}$

Execution Time = 750 s

Reference Time : 9650 s

1.11.1) $0,333 \text{ ms} = 0,333 \cdot 10^{-3}$ clock cycle time

$$750 = 2,389 \cdot 10^{12} \cdot CPI \cdot 0,333 \cdot 10^{-3}$$

$$795537 \cdot CPI = 750$$

$$CPI = 0,94$$

1.11.2) SPEC Ratio = $\frac{9650}{750} = 12,87$

1.11.3) $2,389 \cdot 10^{12} \cdot 1,1 \Rightarrow 2,6279 \cdot 10^{12}$ instructions

$$CPU \text{ time} = 2,6279 \cdot 10^{12} \cdot 0,94 \cdot 0,333 \cdot 10^{-3}$$

$$CPU \text{ time} = 822,59 \text{ s}$$

1.11.4) $0,94 \cdot 1,05 = 0,987$

$$CPU \text{ time} = 2,6279 \cdot 10^{12} \cdot 0,987 \cdot 0,333 \cdot 10^{-3}$$

$$CPU \text{ time} = 863,71 \text{ segundos}$$

1.11.5) SPEC ratio = $\frac{9650}{863,71} = 11,17$

1.11.6) $700 = \frac{(2,389 \cdot 10^{12} \cdot 0,85) \times}{4 \cdot 10^{-3}}$

$$2,03065 \cdot 10^{12} \times = 2,8 \cdot 10^{12}$$

$$\times = 1,38$$



1.11.7) O valor é diferente pois haveram mudanças tanto no tempo de execução do programa quanto no número de instruções.

$$\frac{700}{750} \approx 0,933\dots$$

O tempo foi reduzido em 50 segundos, o mesmo que 6,7%.

$$1.11.9) \text{ Execution Time} \rightarrow 960 \text{ ms} = 960 \cdot 10^{-9}$$

$$CPI \rightarrow 1,61$$

$$\text{Clock rate} \rightarrow 3 \text{ GHz}$$

$$\frac{10^9 \cdot 960 \cdot 0,9}{4 \cdot 10^9} = x \cdot 1,61$$

$$1,61x = 3456$$

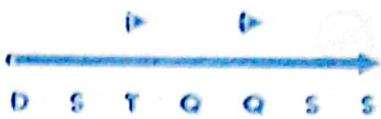
$$x = 2146,58 \text{ instruções}$$

$$1.11.10) \text{ Clockrate} = \frac{2146,58 \cdot 1,61}{10^{-9} \cdot 960 \cdot 0,9 \cdot 0,9}$$

$$\text{Clockrate} = 4,44 \text{ GHz}$$

$$1.11.11) \text{ Clockrate} = \frac{2146,58 \cdot 1,61 \cdot 0,85}{10^{-9} \cdot 960 \cdot 0,8}$$

$$\text{Clockrate} = 3,82 \text{ GHz}$$



| 1.12) | clock rate | CPI | Instruções |
|----------------|------------|------|----------------|
| P ₁ | 4 GHz | 0,9 | $5 \cdot 10^9$ |
| P ₂ | 3 GHz | 0,75 | 10^9 |

$$1.12.1) \text{ CPU time } P_1 = \frac{5 \cdot 10^9 \cdot 0,9}{4 \cdot 10^9} = \frac{4,5}{4} = 1,125 \text{ s}$$

$$\text{CPU time } P_2 = \frac{1 \cdot 10^9 \cdot 0,75}{3 \cdot 10^9} = \frac{0,75}{3} = 0,25 \text{ s}$$

P₂ executa suas instruções mais rapidamente

$$1.12.2) \text{ CPU time} = \frac{\text{instruções} \cdot \text{CPI}}{\text{clock rate}}$$

$$\frac{10^9 \cdot 0,9}{4 \cdot 10^9} = \frac{\text{instruções} \cdot 0,75}{3 \cdot 10^9}$$

$$3 \text{ instruções} = 2,7 \cdot 10^9$$

$$\text{instruções} = 9 \cdot 10^8$$

O processador 2 consegue executar $9 \cdot 10^8$ instruções enquanto o processador 1 executa $2 \cdot 10^9$

$$1.12.3) \text{ MIPS } P_1 = \frac{5 \cdot 10^9}{1,125} = 4,44 \cdot 10^9$$

O processador 1 realiza mais operações

$$\text{MIPS } P_2 = \frac{10^9}{0,25} = 4 \cdot 10^9$$

$$1.12.4) \text{ MFLOP } P_1 = \frac{5 \cdot 10^9 \cdot 0,4}{1,125 \cdot 10^6} = 1777,78$$

$$\text{MFLOP } P_2 = (10^9 \cdot 0,4) / (0,25 \cdot 10^6) = 1600$$

1.13) 250 s

70s FP

85s L/S

40s branch

55s INT

$$1.13.1) 70 \cdot 0,8 = 56\text{ s}$$

$$56 + 85 + 40 + 55 = 236 \text{ segundos}$$

$$\frac{100 - 236}{250} = 94,4 \quad \therefore \text{redução de } 5,6\%$$

$$1.13.2) 250 \cdot 0,8 = 200 \text{ segundos}$$

$$200 - 70 - 85 - 40 = 5 \text{ instruções int}$$

$$\frac{100 \cdot 5}{55} = 0,091 \cdot 100 = 9,1$$

$$100 - 9,1 = 90,1\% \text{ de redução}$$

1.13.3) Tomando como base os valores iniciais, se nenhuma ignorarmos as operações do tipo branch, o tempo gasto seria de 210 segundos. Assim, qualquer redução na branch não faria o tempo total ficar abaixo de 200 segundos, que é o valor da meta para a redução de 20% dos 250 segundos originais.