

# Exercícios adicionais sobre sistemas de entrada/saída

Março de 2019

## Exercício 1 *Teste de 2017/18*

Considere um sistema computacional que aloja uma base de dados. O seu barramento suporta uma taxa máxima de transferência de 1000 MB/s. O sistema possui um controlador de discos SATA, com taxa máxima de transferência de 480 MB/s, suportando até quatro discos. É possível instalar no sistema até mais dois controladores semelhantes.

A base de dados reside em três discos de 1 TB com as seguintes características: 2 ms de tempo médio de busca mais latência rotacional, setores de 64 KiB e taxa de transferência de 128 MB/s. [Use: 1 KiB = 1000 B]

- Determine a taxa média de transferência de um disco e, para a configuração indicada, a percentagem de tempo que o barramento está ocupado com todas as transferências.
- Pretende-se atingir a capacidade máxima de armazenamento do sistema. Determine o tamanho máximo que a base de dados poderá ter e quantos controladores de disco serão necessários se se utilizarem discos semelhantes aos já existentes.
- Pretende-se passar a usar discos SSD para alojar a base de dados, mantendo a mesma capacidade máxima de armazenamento. Supondo que os discos SSD têm a mesma taxa de transferência (128 MB/s), determine quantos discos (e respetiva capacidade) e quantos controladores de disco serão necessários.

## Exercício 2 *Exame de 2017/18*

Um sistema possui um CPU que opera a 4 GHz. Este sistema possui ainda um disco que transfere dados para o processador em grupos de 4 palavras (2 bytes cada) e tem uma taxa de transferência de dados de 40 MB/s. [Considere kB =  $10^3$  B, MB =  $10^6$  B.]

- Se pretendermos utilizar *polling* como técnica de gestão de periféricos e sabendo que uma operação de *polling* consome 400 ciclos de relógio, qual é a fração de tempo de CPU consumida?
- Se em vez de *polling* fosse utilizada a técnica de interrupções, qual seria a fração de tempo de CPU consumida? Admita que o *overhead* de cada transferência, incluindo o atendimento da interrupção, é de 600 ciclos de relógio e que o disco está sempre potencialmente ocupado.
- Comparando os resultados das alíneas anteriores, em que situações é que a técnica de interrupções pode ser vantajosa?

## Exercício 3 *Exame de 2016/17*

O computador de bordo de uma boia oceanográfica envia por rádio, a cada  $n$  minutos, a posição da boia e um conjunto de informações meteorológicas relevantes, num total de 2500 Bytes. O rádio tem uma potência de 180 W e envia informação a uma cadência de 10 kbit/s; o restante hardware tem uma potência de 1 W. A bateria tem capacidade para armazenar 1200 Wh de energia. A boia é lançada ao mar com a bateria totalmente carregada.

- a) Determine qual deve ser a periodicidade do envio de informação (valor de  $n$ ) por forma a que a boia possa navegar durante 25 dias. Note que o número de envios por hora é dado por  $60/n$ .
- b) A cadência de envio da informação é agora de minuto a minuto e a boia foi equipada com painéis fotovoltaicos capazes de fornecer, em média, 160 Wh de energia por dia. Determine quantos dias a boia se manterá em funcionamento.

#### Exercício 4

Considerar dois sistemas RAID (Redundant Arrays of Inexpensive Disks) destinados a armazenar 60 TB (sem contar com qualquer redundância): o sistema A usa tecnologia RAID 1 e o sistema B usa tecnologia RAID 4 com 6 discos num grupo de proteção.

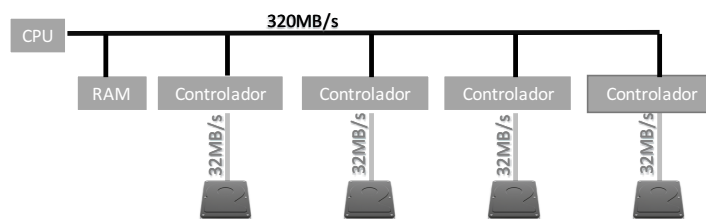
Determinar a capacidade de armazenamento de cada um dos sistemas.

#### Exercício 5

Um sistema informático, possui um processador capaz de executar  $2 \times 10^9$  ciclos/s, e dois discos com uma taxa de transmissão de 100 MB/s cada. Uma transferência por DMA tem um custo de início de 1800 ciclos e de finalização de 200 ciclos. Assumindo que os discos têm continuamente informação a enviar ao CPU (pior cenário), determine qual é o tamanho mínimo da transferência de DMA por forma a que o custo total de acesso aos discos seja, no máximo, 1% do tempo de CPU. Considere  $\text{kB} = 10^3 \text{ B}$ ,  $\text{MB} = 10^6 \text{ B}$ .

#### Exercício 6 *Exame de 2015/16*

Considere o computador indicado na figura e que tem as seguintes características:



- O CPU opera a 2GHz;
- O barramento de memória possui uma taxa de transferência de 320 MB/s;
- Ligados ao barramento de memória estão 4 controladores, cada um com o seu disco;
- O acesso aos discos é feito com uma largura de banda de 32 MB/s; o tempo médio de busca mais a latência de rotação é 6 ms;
- O acesso aos discos é feito em blocos de 128 kB, guardados em setores consecutivos;
- Em cada acesso, o programa do utilizador e o sistema operativo gastam, respetivamente, 1 milhão e 3 milhões de ciclos de relógio.

Determine qual dos recursos (CPU, barramento de memória e discos) limita o desempenho expresso em blocos processados por unidade de tempo. [Considere  $\text{kB} = 10^3 \text{ B}$ ,  $\text{MB} = 10^6 \text{ B}$ .]

#### Exercício 7 *Recurso de 2015/16*

Um disco magnético que roda a 10000 RPM tem 516 setores (de 0,5 kB) por cilindro. O seu tempo de busca mínimo é 4 ms e o tempo de busca médio é 10 ms. Sabe-se ainda que a taxa de transferência é de 100 MB/s e a latência do controlador é de 5 ms. Calcule o tempo necessário para transferir um ficheiro de 600 kB, assumindo que os respetivos setores estão dispostos em disco da maneira mais favorável possível (inicialmente, a cabeça de leitura está numa posição aleatória).

**Exercício 8** *Recurso de 2015/16*

Utilizando um computador portátil, pretende-se publicar no “youvideo” 50 vídeos de cerca de 200 MB através de uma ligação sem fios (usando uma *pen* de banda larga) com uma capacidade de *upload* de 4 Mbit/s. Inicialmente, a energia armazenada na bateria do portátil totaliza 1000 kJ. Sabe-se ainda que a *pen* de banda larga consome 11 W quando está a realizar o *upload* de ficheiros e 6 W no restante tempo, enquanto os restantes recursos do portátil consomem 50 W durante todo o tempo que o computador está ligado. Tendo em conta que o processo de publicação de cada vídeo requer 90 s para preenchimento do formulário (título, descrição, etc) e 10 s para a seleção do vídeo a enviar, calcule quantos vídeos se consegue publicar no “youvideo” antes do computador ficar sem energia. [Nota: 1 W = 1 J/s.]

**Exercício 9** *Exame de 2014/15*

Um disco magnético possui 64 setores de 4 kB por pista e a sua velocidade de rotação é 10000 RPM. Nas condições mais desfavoráveis um ficheiro de 40 kB demora 121 ms a ser lido e 13 ms nas condições mais favoráveis. Calcule o tempo médio de busca e a taxa de transferência desse disco.

**Nota:** Comece por estabelecer as expressões do tempo de leitura do ficheiro, em função dos parâmetros pedidos, para as duas situações referidas. [Considere kB =  $10^3$  B, MB =  $10^6$  B.]

**Exercício 10** *Exame de 2014/15*

Um computador possui um CPU capaz de executar 1000 MIPS. O barramento principal desse computador (FSB) tem uma largura de banda de 800 MB/s. O sistema tem 4 controladores de disco. Cada controlador é capaz de transferir até 200 MB/s e de controlar até 4 discos em simultâneo. O sistema possui um disco magnético de 500 GB instalado em cada controlador, com setores de 4 kB, taxa de transmissão de 80 MB/s, tempo de busca médio de 9 ms e latência de rotação de 0,95 ms. O acesso a um setor gasta 10000 instruções do CPU. [Considere kB =  $10^3$  B, MB =  $10^6$  B.]

- Indique qual dos componentes fixos (CPU, FSB, controladores de disco) está a limitar o desempenho global do sistema.
- Pretende-se atualizar o CPU. Indique qual deve ser o desempenho mínimo do novo CPU (em MIPS) supondo que se pretende ter 50% do tempo útil do processador reservado para o processamento da informação.
- A partir da configuração original, indique se é possível quadruplicar a capacidade de armazenamento do sistema continuando a recorrer a discos de 500 GB e taxa de transmissão 80 MB/s (i) semelhantes aos já instalados, (ii) em tecnologia SSD.

Fim dos enunciados

## Soluções dos exercícios propostos

### Solução 1

a) Tempo médio de acesso:  $2 \times 10^{-3} + \frac{64 \times 1000}{128 \times 10^6} = 2,5 \times 10^{-3} = 2,5 \text{ ms}$

Taxa de transferência média por disco:  $\frac{64 \times 1000}{2,5 \times 10^{-3}} = 25,6 \times 10^6 = 25,6 \text{ MB/s}$

Taxa de transferência média do conjunto de 3 discos:  $3 \times 25,6 = 76,8 \text{ MB/s}$

Taxa média de ocupação do barramento:  $\frac{76,8}{1000} \times 100 = 7,7\%$

b) O barramento teria capacidade para  $1000/25,6 = 39$  discos; e cada controlador capacidade para  $480/25,6 = 18$  discos mas só pode controlar até 4. O número máximo de discos é pois limitado pelo número de controladores que é possível instalar, ou seja 3 controladores. O número máximo de discos será então  $3 \times 4 = 12$  discos e portanto o tamanho máximo da base de dados será 12 TB.

c) No caso de um SSD, a taxa de transferência média é igual à sua taxa máxima, ou seja 128 MB/s, por isso o barramento teria apenas capacidade para  $1000/128 = 7$  discos e cada controlador capacidade para  $480/128 = 3$  discos.

O número total de discos é pois limitado a 7 e o número máximo de discos por controlador limitado a 3. Para garantir 12 TB de armazenamento nestas condições poderão ser usados, por exemplo, dois controladores cada um com 3 discos de 2 TB ou um controlador com 3 discos de 4 TB.

### Solução 2

a) Dados transferidos por acesso:

$$4 \times 2\text{B} = 8\text{B}$$

Acessos por segundo:

$$\frac{40 \text{ MB/s}}{8\text{B}} = \frac{40 \times 10^6}{8} = 5 \times 10^6$$

Então, o número de ciclos consumidos pela operação é de:

$$5 \times 10^6 \times 400 = 2 \times 10^9$$

Tento em consideração o número de ciclos consumidos por segundo, a percentagem média de tempo de CPU gasto é:

$$\frac{2 \times 10^9}{4 \times 10^9} = 0,5 = 50\%$$

b) Dados transferidos por acesso:

$$4 \times 2\text{B} = 8\text{B}$$

Acessos por segundo:

$$\frac{40 \text{ MB/s}}{8\text{B}} = \frac{40 \times 10^6}{8} = 5 \times 10^6$$

Então, o número de ciclos consumidos pela operação é de:

$$5 \times 10^6 \times 6 \times 10^2 = 3 \times 10^9$$

Tento em consideração o número de ciclos consumidos por segundo, a percentagem média de tempo de CPU gasto é:

$$\frac{3 \times 10^9}{4 \times 10^9} = 0,75 = 75 \%$$

- c) No segundo cenário, o custo (em ciclos de relógio) do *overhead* de cada transferência, incluindo o atendimento da interrupção, é superior ao custo de uma operação de *polling*. A técnica de interrupções é mais vantajosa quando o periférico não está sempre potencialmente ocupado. Para este caso concreto, a técnica de interrupções é mais vantajosa quando o disco está ocupado menos de 66,7 % do tempo.

$$\frac{X \times 3 \times 10^9}{4 \times 10^9} = 0,5$$

$$X \times \frac{3}{4} = 0,5$$

$$X = \frac{0,5}{0,75} = 66 \%$$

### Solução 3

a)

$$\text{Tempo de envio de 2500 Bytes: } \frac{2500 \times 8}{10 \times 10^3} = \frac{20 \times 10^3}{10 \times 10^3} = 2\text{s} = \frac{2}{3600}\text{h}$$

$$\text{Energia por envio: } 180 \times \frac{2}{3600} = 0,1\text{Wh}; \quad \text{envios por hora: } \frac{60}{n}$$

$$\text{Energia por hora: } 1 + 0,1 \times \frac{60}{n} = \left(1 + \frac{6}{n}\right)\text{Wh}$$

$$\text{Em 25 dias: } 25 \times 24 \times \left(1 + \frac{6}{n}\right) = 1200 \Leftrightarrow 1 + \frac{6}{n} = 2 \Leftrightarrow n = 6$$

A periodicidade será pois um envio a cada 6 minutos, isto é, 10 envios por hora.

b)

$$\text{Energia por envio: } 180 \times \frac{2}{3600} = 0,1\text{Wh}; \quad \text{envios por hora: } 60$$

$$\text{Energia por hora: } 1 + 0,1 \times 60 = 7\text{Wh}$$

$$\text{Em 24h, gasta: } 24 \times 7 = 168\text{Wh}; \quad \text{reposta: } 160\text{Wh}; \quad \text{saldo: } 8\text{Wh gastos por dia}$$

$$\text{Duração da bateria: } \frac{1200}{8} = 150 \text{ dias}$$

A boia poderá navegar durante 150 dias.

### Solução 4

Sistema A: 120 TB

Sistema B: 70 TB

**Solução 5**

Seja  $D$  o tamanho da transferência de DMA para um disco:

$$\text{Tempo de uma transferência de DMA: } T = \frac{D}{100 \times 10^6} = \frac{D}{10^8}$$

$$\text{Ciclos necessários por transferência: } N = 1800 + 200 = 2000 = 2 \times 10^3$$

$$\text{Ciclos necessários por unidade de tempo: } C = \frac{N}{T} = 2 \times 10^3 \times \frac{10^8}{D} = \frac{2 \times 10^{11}}{D}$$

$$\text{Porcentagem do tempo de CPU: } \frac{C}{2 \times 10^9} = 0,01; \frac{2 \times 10^{11}}{2 \times 10^9} = 0,01 \times D; D = 10^4$$

O tamanho mínimo de uma transferência de DMA será pois de 10 kB para um disco. Havendo dois discos iguais será proporcionalmente reduzida, ou seja, 5 kB.

**Solução 6**

Programa: Leitura de 128kB +  $1 \times 10^6$  ciclos

S.O.:  $2 \times 10^6$  ciclos

**CPU:**

Tratamento de 1 bloco:

$$\frac{1 \times 10^6 + 3 \times 10^6}{2 \times 10^9} = 2 \text{ ms}$$

Por segundo: 500 blocos

**Barramento de Memória:**

$$\frac{320 \text{ MB/s}}{128 \text{ kB}} = 2500 \text{ blocos/s}$$

**Discos:**

Por disco:

$$6 \text{ ms} + \frac{128 \text{ kB}}{32 \text{ MB/s}} = 10 \text{ ms}$$

O que corresponde a 100 blocos por disco por segundo, no total temos então:

$$4 \times 100 \text{ blocos/s} = 400 \text{ blocos/s}$$

Como o CPU consegue processar 500 blocos/s e o barramento de memória suporta a transferência de 2500 blocos/s, são os discos que limitam o desempenho.

**Solução 7**

O ficheiro ocupa  $\frac{600 \text{ kB}}{0,5 \text{ kB}} = 1200$  setores. Uma vez que cada cilindro tem uma capacidade de 516 setores, o ficheiro está distribuído por 3 cilindros ( $516 + 516 + 168$ ) o que implica duas mudanças de cilindro durante a transferência.

$T = \text{tempo de busca médio} + \text{tempo de rotação} + \text{tempo de transferência} + \text{tempo de mudança de cilindro} + \text{latência do controlador}$

$$T = 10 \text{ ms} + 0,5 \times \frac{60}{10000} + \frac{600 \text{ kB}}{100 \text{ MB/s}} + 2 \times 4 \text{ ms} + 5 \text{ ms}$$

$$T = 10 \text{ ms} + 3 \text{ ms} + 6 \text{ ms} + 8 \text{ ms} + 5 \text{ ms}$$

$$T = 32 \text{ ms}$$

### Solução 8

O tempo de upload de um vídeo é:

$$T_{upload} = \frac{200 \times 8 \times 10^6}{4 \times 10^6} = 400 \text{ s}$$

O tempo de preparação (preenchimento do formulário mais seleção) de um vídeo é:

$$T_{prep} = 90 \text{ s} + 10 \text{ s} = 100 \text{ s}$$

O tempo total para enviar um vídeo será então:

$$T_{total} = T_{prep} + T_{upload} = 100 \text{ s} + 400 \text{ s} = 500 \text{ s}$$

Este tempo leva a um gasto de energia por ficheiro de:

$$E_{prep} = 100 \text{ s} \times (50 \text{ W} + 6 \text{ W}) = 100 \text{ s} \times 56 \text{ W} = 5600 \text{ J}$$

$$E_{upload} = 400 \text{ s} \times (50 \text{ W} + 11 \text{ W}) = 400 \text{ s} \times 61 \text{ W} = 24400 \text{ J}$$

$$E_{total} = E_{prep} + E_{upload} = 5600 \text{ J} + 24400 \text{ J} = 30000 \text{ J}$$

Como inicialmente a bateria do computador tinha 1000 kJ,

$$\frac{1000000 \text{ J}}{30000 \text{ J}} = 33,33$$

o que significa que se consegue publicar 33 vídeos no “youvideo” antes de o computador ficar sem energia.

### Solução 9

Um ficheiro de 40 kB ocupa 10 setores de 4 kB. As condições mais desfavoráveis correspondem a ter o ficheiro distribuído por 10 setores aleatórios do disco. As condições mais favoráveis correspondem a ter o ficheiro armazenado em 10 setores consecutivos numa única pista.

Assumindo que o *overhead* do controlador é nulo, o tempo de leitura ( $t_L$ ) do ficheiro completo, nas diferentes condições, será:

$$t_L = \begin{cases} 10 \times \left( t_S + \frac{1}{2} \times \frac{60}{10 \times 10^3} + \frac{4 \times 10^3}{T_x} \right) & \text{10 setores aleatórios} \\ t_S + \frac{1}{2} \times \frac{60}{10 \times 10^3} + 10 \times \frac{4 \times 10^3}{T_x} & \text{10 setores consecutivos na mesma pista} \end{cases}$$

Resolvendo estas duas equações em simultâneo:

$$\begin{cases} 10t_S + 30 \times 10^{-3} + \frac{40 \times 10^3}{T_x} = 121 \times 10^{-3} \\ t_S + 3 \times 10^{-3} + \frac{40 \times 10^3}{T_x} = 13 \times 10^{-3} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 10t_S + \frac{40 \times 10^3}{T_x} = 91 \times 10^{-3} \\ t_S + \frac{40 \times 10^3}{T_x} = 10 \times 10^{-3} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 9t_S = 81 \times 10^{-3} \\ - \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} t_S = 9 \times 10^{-3} \\ 9 \times 10^{-3} + \frac{40 \times 10^3}{T_x} = 10 \times 10^{-3} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} t_S = 9 \text{ ms} \\ T_x = 40 \text{ MB/s} \end{cases}$$

**Solução 10**

- a) Comparando os diferentes componentes fixos do sistema em termos de acessos a setores por segundo:

$$N_{CPU} = \frac{1000 \times 10^6}{10 \times 10^3} = 100000; \quad N_{FSB} = \frac{800 \times 10^6}{4 \times 10^3} = 200000;$$

Débito dos controladores:  $4 \times 200 \text{ MB/s} = 800 \text{ MB/s}$  ou seja, semelhante ao FSB.

Conclui-se portanto ser o CPU o elemento limitativo.

- b) O barramento principal suporta 200000 acessos a setores por segundo, por isso, o CPU deverá também suportar esse

$$\frac{200000 \times 10000}{0.5} = 4000 \text{ MIPS}$$

- c) Para quadruplicar a capacidade do sistema, recorrendo a discos em tudo semelhantes aos já instalados, será necessário instalar mais 3 discos em cada controlador. O tempo médio de leitura de um setor e o débito médio serão, respetivamente:

$$9 \times 10^{-3} + 0.95 \times 10^{-3} + \frac{4 \times 10^3}{80 \times 10^6} = 10 \text{ ms} \quad \text{e} \quad \frac{4 \text{ kB}}{10 \text{ ms}} = 400 \text{ kB/s}$$

logo, o débito médio de 4 discos será 1,6 MB/s, muito inferior ao máximo suportado por cada controlador.

Se forem discos em tecnologia SSD (assumindo que são semelhantes, em todo o resto, aos já instalados) o débito médio de cada disco será 80 MB/s; logo, o débito médio de 4 discos será 320 MB/s, valor superior ao máximo admitido por cada controlador. Concluindo: não é possível quadruplicar a capacidade deste sistema recorrendo a discos SSD (de 500 GB, 80 MB/s) pois haverá perda de informação caso todos os discos de um mesmo controlador funcionem em simultâneo.

