

# Sistemas Operativos

LEI

2021/2022

fsm@.di.uminho.pt

Sistemas Operativos - 2021/2022

0

.0

## Numa palavra...

Se fosse necessário dizer de que trata esta UC

- Numa só palavra: **CONCORRÊNCIA**
- Em mais do que uma:
  - Concorrência, concorrência...
  - Eficiência, rapidez, segurança, etc.
  - Boa gestão de recursos perante determinada carga
  - Conhecimento do funcionamento de sistemas (Apps, SO, HW)
  - Aplicações concorrentes, naturalmente!

Sistemas Operativos - 2021/2022

2

.2

## Objectivo

- **Ajudar a perceber como funcionam os computadores**
  - Em termos físicos, o que é uma aplicação informática?
  - Que recursos necessita?
  - Como devem ser geridos esses recursos?
  - Como interage esta aplicação com outras?
  - Isto está lento. Que devo fazer?
  - O sistema bloqueou! Perdi tudo?
  - E muito mais...

Sistemas Operativos - 2021/2022

1

.1

## Programa

- Recapitulação de conceitos de programação de sistemas
- Gestão de processos, memória, ficheiros, periféricos
- Alguma **programação concorrente** (de baixo nível)
- E mãos na massa:
  - Aulas práticas em ambiente Linux
    - Nada de janelas, nem ratos...
    - Terminal com *Bash*, comandos, pipelines...
  - Programação de “baixo nível”: C, syscalls, libs...



Sistemas Operativos - 2021/2022

3

.3

.1

## Bibliografia recomendada

- Silberschatz, Galvin and Gagne, *Operating System Concepts*, John Wiley & Sons, 2010.
- Carlos Ribeiro, Alves Marques, 2<sup>a</sup>-ed, FCA Editora Informática, 2012.
- **FSM 2004, VOU FAZER SISTEMAS OPERATIVOS**

Sistemas Operativos - 2021/2022

4

.4

## Bibliografia Adicional

- Man !!!!!!!
- R. Stevens, *Advanced Programming in the Unix Environment*, Addison Wesley, 1990.
- Beej Guides
- Google, Youtube, slashdot...

Sistemas Operativos - 2021/2022

5

.5

## Slides

- Baseados nos slides originais dos livros recomendados (em especial Silberschatz), caso seja necessário identificar o respectivo capítulo
- Disponíveis no Blackboard, mas em permanente revisão
- Servem apenas de “âncora” ao estudo
  - **Não chegam** para responder aos testes!

**Faltam os porquês**, e.g. porquê usar “isto” com esta “carga”?

Sistemas Operativos - 2021/2022

6

.6

## Aulas práticas

- Cada aula prática tem um “guião” muito detalhado.
  - Normalmente só duram uma semana
  - Fazem sempre falta para a aula seguinte (+ trabalho prático)
  - Sempre que resolver uma alínea, deve parar e perguntar:  
**O que é que EU aprendi com este exercício?**
- Recomenda-se:
  - estudar o guião antes da respectiva aula
  - usar a aula para tirar dúvidas e não para colecionar resoluções; tente entender o raciocínio para lá chegar.
  - terminar em casa todas as alíneas não resolvidas durante a aula; se necessário, peça ajuda por mail

Sistemas Operativos - 2021/2022

7

.7

.2

**GSD**  
Grupo de Sistemas Distribuídos

Ambiente de trabalho: bash + ...

Sistemas Operativos - 2021/2022

8

.8

**GSD**  
Grupo de Sistemas Distribuídos

## Avaliação

- Trabalho prático em grupo de 3, + um teste
  - Este ano não há nota mínima no TP 😊
  - Não há (des)congelamento da nota TP do ano anterior, salvo exceções indicadas no RAUM
  - Nota **mínima** de 10 no teste ou exame(s)

Classificação = (TP + teste\_ou\_exame) / 2

Sistemas Operativos - 2021/2022

9

.9

**GSD**  
Grupo de Sistemas Distribuídos

## Avaliação

Prova escrita (teste ou exame) individual e sem consulta.

- É preciso escrever código que resolva **o problema proposto**;
- Valoriza-se a capacidade de raciocínio e a concepção de algoritmos (por oposição à utilização de “padrões” de soluções)
- Quase tudo tem a ver com concorrência
- As perguntas da parte teórica insistem sempre nos “porquês”, na justificação, demonstração ou prova.

Sistemas Operativos - 2021/2022

10

.10

**GSD**  
Grupo de Sistemas Distribuídos

## Programa

- Introdução (à *programação de sistemas*)
- Gestão de processos
- Noções de programação concorrente
- Gestão de memória
- Gestão de periféricos
- Gestão de ficheiros

Sistemas Operativos - 2021/2022

11

.11

.3

Vamos começar pelo princípio...

## Para que serve um computador?

- Para executar programas (aplicações)
- Que facilitam a vida aos utilizadores

.12

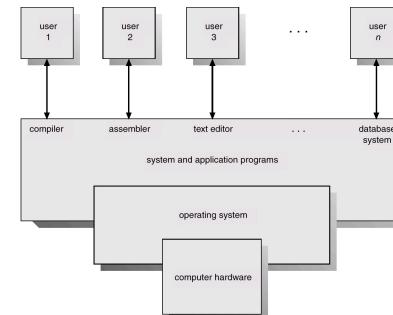
Portanto...

- O SO deve gerir o hardware e colocá-lo à disposição dos programas e utilizadores, de uma forma
  - conveniente,
  - protegida,
  - eficiente,
  - justa,
  - ...

.14

## O que é um Sistema Operativo?

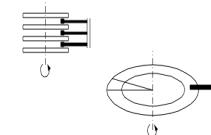
- Programa que actua como **intermediário** entre os utilizadores e o hardware



.13

O Sistema Operativo pode ser visto como...

- Extensão da máquina
  - simula uma *máquina virtual* "acima" da máquina real: `open()`, `read()`, `write()`...
- Gestor de recursos



.15

## Objectivos (1)

- Conveniência
  - SO esconde os detalhes do hardware
    - e.g. [dimensão e organização da memória](#)
  - Simula máquina virtual com valor acrescentado
    - e.g. [cada processo executa numa “máquina”](#)
  - Fornece API mais fácil de usar do que o hardware
    - e.g. [ficheiros vs. blocos em disco](#)

Sistemas Operativos - 2021/2022

16

.16

## Objectivos (2)

- Eficiência
  - SO controla a alocação de recursos
    - Se 3 programas usarem a impressora ao mesmo tempo → sai lixo?
    - Programa em ciclo infinito → computador bloqueia?
    - Processo corrompe a memória dos outros → programas morrem?
  - Multiplexação:
    - Tempo: cada processo usa o recurso à vez (impressora, CPU)
    - Espaço: recurso é partilhado simultaneamente por vários processos (memória central, disco)

Sistemas Operativos - 2021/2022

18

.18

## Na prática...

- É o Sistema Operativo quem define a “**personalidade**” de um computador
- Como se comporta o mesmo computador (hardware) após ter arrancado
  - MSDOS?
  - Windows 95?
  - Windows 10?
  - Linux (Ubuntu, Kali...)?



Sistemas Operativos - 2021/2022

17

.17

## Objectivos (3)

- Recapitulemos então os objectivos gerais de um SO
  - Conveniência
  - Eficiência
- Então, os nossos critérios de avaliação serão...
  -  Dá jeito?
  -  É eficiente ou aumenta a eficiência geral do sistema?
  -  Nem uma nem outra?

Sistemas Operativos - 2021/2022

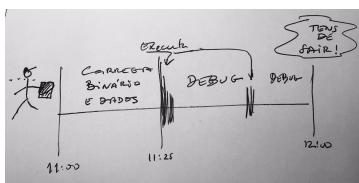
19

.19



## Acesso livre

- Utilizador é um faz-tudo (II):
  - Chegada a hora, carrega manualmente o programa e dados
  - Executa o programa
  - Se não está correcto, tem de descobrir sozinho os erros
  - Eficiência é muito baixa devido ao desperdício de tempo de CPU



Sistemas Operativos - 2021/2022

24

## E para aumentar a eficiência...

- Introduziu-se um operador especializado
  - Utilizador entrega fita perfurada ou cartões
  - Operador carrega o programa, executa-o e devolve os resultados
- Ganhou-se em eficiência, perdeu-se em conveniência**
  - Operador é especialista em operação, não em programação
  - Pode haver escalonamento (i.e. alteração da ordem de execução)
  - Utilizador deixou de interagir com o seu programa

Sistemas Operativos - 2021/2022

25

.24

.25

When apps were cards or tape...



Sistemas Operativos - 2021/2022

26

Card reader + line printer



Sistemas Operativos - 2021/2022

27

.26

.27

## Melhor do que ter um operador...

- É automatizar, ter um programa que:
  - Controla a operação do computador
  - Encadeia “jobs”, operador apenas carrega e descarrega
- Utilizadores devem usar rotinas de IO do sistema (embora ainda possam escrever as suas)

Embrião de um sistema operativo?

Sistemas Operativos - 2021/2022

28

.28

## Mas havia o risco de...

- Se perder eficiência devido a erros de programação
  - Ciclos infinitos
  - Erros na leitura ou escrita de periféricos
  - Programa do utilizador destruir o “programa de controle”
  - Espera por periféricos lentos

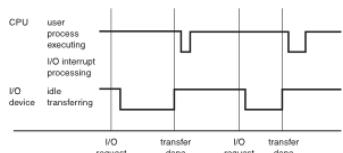
Sistemas Operativos - 2021/2022

29

.29

## Soluções (hardware)

- Interrupções
- Relógio de **Tempo Virtual**
- Instruções privilegiadas, 2 ou mais modos de execução
- Protecção de memória



Sistemas Operativos - 2021/2022

30

.30

## Exemplo: Polling IO

- Disk\_IO()
  - Carrega o controlador de disco com parâmetros adequados (pista, sector, endereço de memória, direcção...)
  - While (NOT IO\_done); /\* do nothing in a **busy** way\*/

(Equivalente a:  
 Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste?  
 Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste?  
 Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste?  
 ... )

– OK, regressa de disk\_io()

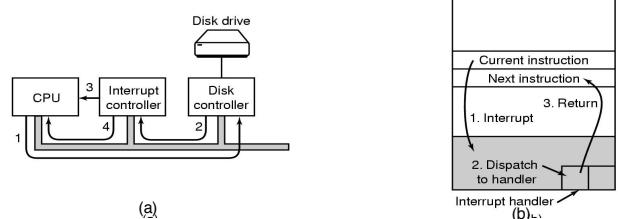
Resulta em **desperdício de tempo de CPU**

Sistemas Operativos - 2021/2022

31

.31

## Exemplo: Interrupt-driven IO



- (a) OS inicia operação de IO e prepara-se para receber a interrupção; entretanto pode ir executando outras tarefas,
- (b) No fim da operação de IO, o programa em execução é interrompido momentaneamente, SO trata o evento, e decide se é um processo que pediu IO que continua a executar ou troca para outro.

Sistemas Operativos - 2021/2022

32

.32

## Soluções (software)

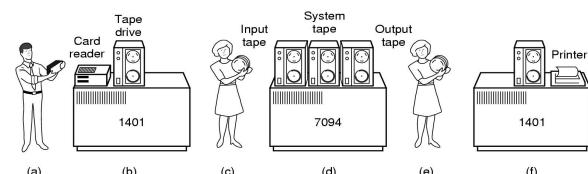
- Chamadas ao Sistema
- Virtualização de periféricos
  - Por exemplo o Leitor de cartões:
    - Programador pede para ler do periférico
    - SO devolve o conteúdo de um cartão que foi copiado para banda magnética ou lido anteriormente directamente para memória (SPOOL)
- Multiprogramação

Sistemas Operativos - 2021/2022

33

.33

## Primeiros sistemas de batch



### Processador auxiliar faz IO de periféricos lentos (virtuais)

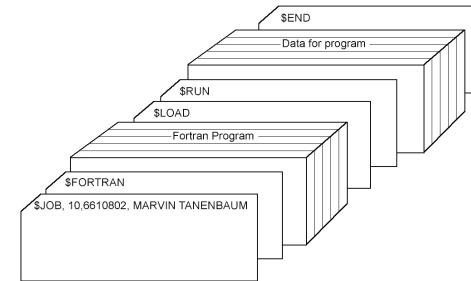
- Carregar cartões no 1401, que os copia para banda magnética
- Colocar banda no 7094 e executar os programas
- Recolher banda com resultados e colocá-la no 1401, que os envia para a impressora

Sistemas Operativos - 2021/2022

34

.34

## Exemplo de um “job”



Sistemas Operativos - 2021/2022

35

.35

## Multiprogramação

Vários jobs são carregados para memória central, e o tempo de CPU é repartido por eles.

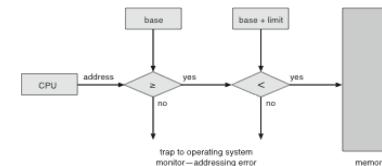


Sistemas Operativos - 2021/2022

36

.36

## Protecção de memória



Note que estes testes têm de ser feitos sempre que há um acesso à memória...

2, 3 ou mesmo 4 vezes por instrução?

Sistemas Operativos - 2021/2022

37

.37

## E a conveniência?



- Teve de esperar pelos sistemas de **Time-Sharing**
- Terminais (consolas) ligados ao computador central permitem que os utilizadores voltem a interagir directamente
- Sistema Operativo reparte o tempo de CPU pelos vários programas prontos a executar

Sistemas Operativos - 2021/2022

38

.38

## E desde aí?

- Com o computador pessoal volta tudo ao início...
  - Control Program for Microcomputers
  - Monoprogramação, baixa eficiência...
- Mas...
  - É muito conveniente para o utilizador
  - É barato, logo eficiência não é a prioridade

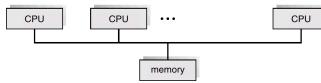
Sistemas Operativos - 2021/2022

39

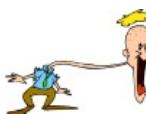
.39

## Multiprocessamento (1)

- Vantagens
  - throughput
  - economia
  - graceful degradation
  - ...



### Exemplo: com 2 CPUs



A ideia é executar o dobro da carga no mesmo intervalo de tempo (i.e. maior **throughput**)  
 não é executar um programa mais depressa (i.e. baixar **tempo de resposta**). Para isso necessitaria de paralelizar a aplicação, dividila em vários processos

Sistemas Operativos - 2021/2022

40

.40

## Multiprocessamento (2)

- Arquitectura
  - Simétrico
    - Qualquer CPU pode executar código do SO, mas
      - cuidado com *race conditions*, (e.g. tabela de blocos de memória livres)
      - hardware mais sofisticado (e.g disco interrompe todos os CPUs?)
  - Assimétrico
    - Periféricos associados a um só CPU, o que executa o SO
      - Não há *races*, mas os outros CPUs podem estar parados porque esse não “despacha” depressa,
      - nesse caso o *throughput* diminui



Sistemas Operativos - 2021/2022

41

.41

## Sistemas Distribuídos (1)

- Nos anos 80 apareceram as redes locais para partilha de
  - recursos caros (e.g. impressoras) ou
  - inconvenientes de replicar (e.g. sistemas de ficheiros)
  - redirecionamento de IO

Exemplo: cat fich.txt | rsh print\_server lpr

- Questões
  - protocolos de comunicação, modelo cliente-servidor?
  - como saber o estado de recursos remotos?

Sistemas Operativos - 2021/2022

42

.42

## Sistemas Distribuídos (2)

- Em breve
  - se passou dos *network aware OSs* para sistemas que estão vocacionados para o trabalho em rede
  - as aplicações podem localizar e aceder recursos remotos de uma forma transparente
- E chegou-se à Web...



Sistemas Operativos - 2021/2022

43

.43

E ainda...

- SOs para *mainframes*:
  - IBM MVS, IBM VM/CMS.
  - desenvolvidos nos anos 60 e ainda em operação (z/VM)!
  - Actualmente a virtualização é (outra vez) **HOT TOPIC** (vmware, Xen...) + Docker...

Sistemas Operativos - 2021/2022

44

.44

E ainda...

- SO de Tempo Real
  - controlo de processos industriais, sistemas de vôo, automóveis, máquinas de lavar, etc.
  - SO normais não conseguem dar **garantias** de tempo de resposta.
- SOs para computadores “restritos”:
  - smartcards, PDAs, telemóveis, sensores...

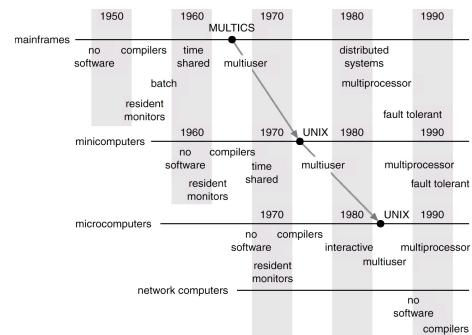


Sistemas Operativos - 2021/2022

45

.45

## Evolução de conceitos de SO



Sistemas Operativos - 2021/2022

46

.46

Antes de continuar...



- Assegure-se que percebeu os conceitos anteriores, e que entendeu os problemas que as soluções indicadas procuram resolver...
- Por exemplo:
  - Sabe mesmo o que são e para que servem os 2 **modos de execução**?
  - Modo de execução é **hardware** ou **software**?
  - E multiprogramação? E multiprocessamento? E interrupção?
  - Para que servem as interrupções?
  - Para que servem as system calls? Qual a diferença em relação a uma função normal?
  - O que é o **tempo virtual**?

Sistemas Operativos - 2021/2022

47

.47

## Arquitectura de Sistemas Operativos

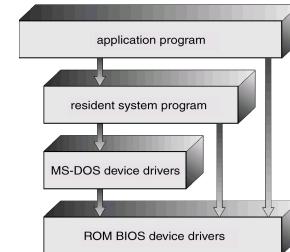
- Alguns exemplos
  - Sistemas monolíticos
  - Sistemas em camadas, hierárquicos
  - Modelo cliente-servidor
  - Máquinas virtuais
  - ...

Sistemas Operativos - 2021/2022

48

.48

## MS-DOS Layer Structure

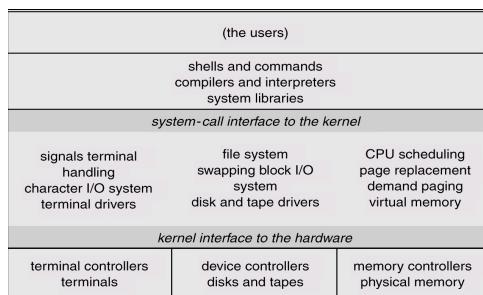


Sistemas Operativos - 2021/2022

49

.49

## UNIX System Structure

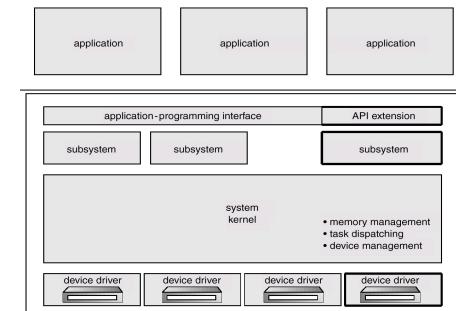


Sistemas Operativos - 2021/2022

50

.50

## OS/2 Layer Structure

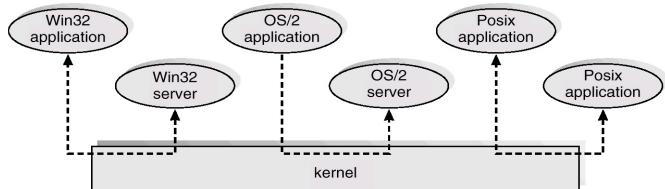


Sistemas Operativos - 2021/2022

51

.51

## Windows NT (cliente-servidor)



Sistemas Operativos - 2021/2022

52

.52

## Agora que já sabemos

- Para que serve um sistema operativo
- Quais os objectivos de um sistema operativo
- E começamos a saber:
  - como é um sistema operativo → **estrutura interna, algoritmos, ...**
  - e os porquês de ser assim
    - **que benefícios/objectivos se pretendem alcançar com determinadas estratégias**
    - **em que circunstâncias não se pode fazer melhor**

Sistemas Operativos - 2021/2022

54

.54

## E nas nossas aulas?

- O nosso SO é bastante modular
  - Módulo de gestão de processos
  - Módulo de gestão de memória
  - Módulo de gestão de periféricos
  - Módulo de gestão de ficheiros
- Mas há hierarquia / interdependência:
  - e.g. Memória virtual / memória real / disco / processos

Sistemas Operativos - 2021/2022

53

.53

## Convinha garantir que...

- Sabemos de facto
  - “Como é” um programa (e porquê?)
  - “Como é” um computador (e porquê?)
- Ou seja,
  - perceber as razões para o hardware e software de sistemas serem como são

Sistemas Operativos - 2021/2022

55

.55

## O que é/como é um programa/processo?

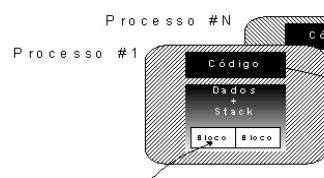
- Programa executável:
  - Resultado da compilação, ligação, (re)colocação em memória
  - Normalmente dependerá de módulos externos, libs
- Processo em execução:
  - código já (re)colocado em memória central + dados +stack
  - Estruturas de gestão:
    - . Processo: contexto, recursos HW e SO em uso (registos, ficheiros abertos...)
    - . Utilizador (uid, gid, account...)

Sistemas Operativos - 2021/2022

56

.56

## The big picture



Dois programas a acederem simultaneamente ao mesmo ficheiro ou base de dados

Sistemas Operativos - 2021/2022

58

.58

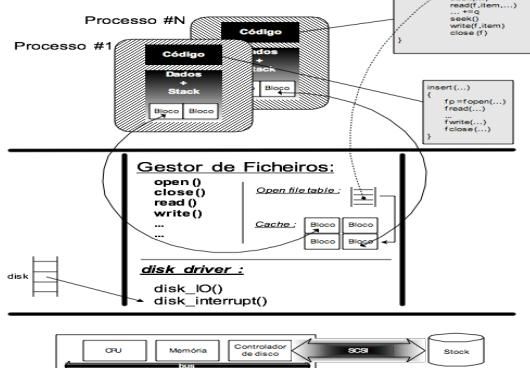
## O que é/como é um computador?

- CPU
  - Registos (PC, SP, BP, CS, DS...) → “contexto volátil”
  - Instruções privilegiadas → só podem ser executadas em modo “protegido”; a forma de um programa do utilizador solicitar serviços ao SO é através das chamadas ao sistema (syscalls)
- Memória (mas o que é um endereço? E modos de endereçamento?)
- Periféricos + formas de dialogar com eles
- Interrupções (já agora, recordemos traps e exceções!)

Sistemas Operativos - 2021/2022

57

.57



Sistemas Operativos - 2021/2022

59

.59

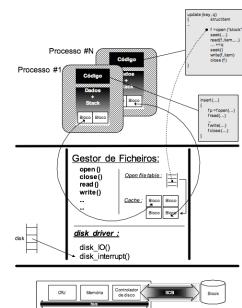
## The big picture revisited

- Assegure-se que percebeu
  - Como surgem as “race conditions”
    - entre processos
    - dentro do SO
  - Vantagens/desvantagens do uso de caches
  - Note que estamos falar de caches por software, de cópias de dados em memória mas acessíveis em contextos diferentes



Sistemas Operativos - 2021/2022

60



.60

## Programa

- Introdução
- Gestão de processos
- Noções de programação concorrente
- Gestão de memória
- Gestão de periféricos
- Gestão de ficheiros

61

Sistemas Operativos - 2021/2022

.61

## Porquê criar vários processos?

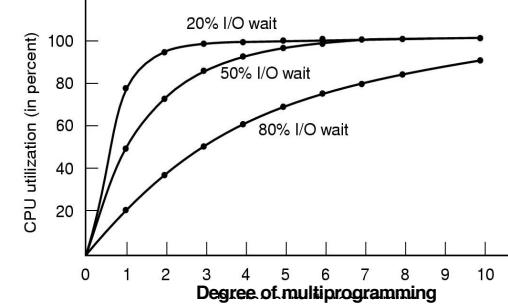
- Porque dá jeito... + conveniência
  - Estruturação dos programas
  - Para não estar à espera (spooling, background...)
  - Múltiplas actividades / janelas
- Porque é melhor + eficiência
  - Múltiplos CPUs
  - Aumenta a utilização de recursos (e.g multiprogramação)

Sistemas Operativos - 2021/2022

62

.62

## Benefícios da multiprogramação



Sistemas Operativos - 2021/2022

63

.63

## Processos

- **Processo:** um programa em execução, tem actividade própria
- **Programa:** entidade *estática*, **Processo:** entidade *dinâmica*
- Duas invocações do mesmo programa resultam em dois processos diferentes (e.g. vários utilizadores a usarem cada um a sua shell, o vi, browser, etc.)

Sistemas Operativos - 2021/2022

64

.64

## Exemplo de informação sobre um processo

Process management	Memory management	File management
Registers	Pointer to text segment	Root directory
Program counter	Pointer to data segment	Working directory
Program status word	Pointer to stack segment	File descriptors
Stack pointer		User ID
Process state		Group ID
Priority		
Scheduling parameters		
Process ID		
Parent process		
Process group		
Signals		
Time when process started		
CPU time used		
Children's CPU time		
Time of next alarm		

Sistemas Operativos - 2021/2022

66

.66

## Processos

- O contexto de execução de um processo (i.e. o seu **estado**) compreende:
  - código
  - dados (variáveis globais, *heap*, *stack*)
  - estado do processador (registos)
  - ficheiros abertos,
  - tempo de CPU consumido, ...

Sistemas Operativos - 2021/2022

65

.65

## Processos

- O SO deverá ser capaz de:
  - Criar, suspender e reiniciar a execução de processos
  - Suportar a comunicação entre processos
- O próprio SO tem muitos processos “do sistema”

Sistemas Operativos - 2021/2022

67

.67

## Processos

- Para poderem executar os seus programas, os processos requerem tempo de CPU, memória, utilização de dispositivos...
- Por outras palavras, os processos
  - COMPETEM POR RECURSOS**
- E cabe ao sistema operativo fazer o escalonamento dos processos, i.e. atribuir os recursos pela ordem correspondente às políticas de escalonamento

Sistemas Operativos - 2021/2022

68

.68

## Objectivos

- Conveniência
  - Justiça
  - Redução dos tempos de resposta
  - Previsibilidade
  - ...
- Eficiência
  - Débito (*throughput*), transacções por segundo, ...
  - Maximização da utilização de CPU e outros recursos
  - Favorecer processos “bem comportados”, etc.

Sistemas Operativos - 2021/2022

70

.70

## Políticas de escalonamento

- Qual a melhor?
- E a resposta é...
  - Depende!
- De quem responde, utilizador ou administrador?
- É preciso definir **OBJECTIVOS**

Sistemas Operativos - 2021/2022

69

.69

## Critérios de escalonamento

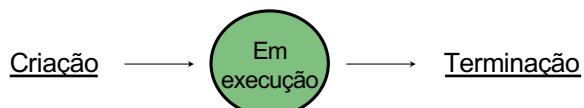
- IO-bound ou CPU-bound
- Interactivo ou não (batch, background)
- Urgência de resposta (e.g. tempo real)
- Comportamento recente (utilização de memória, CPU)
- Necessidade de periféricos especiais
- PAGOU para ir à frente dos outros...

Sistemas Operativos - 2021/2022

71

.71

## Estados de um processo (i)



Sistemas Operativos - 2021/2022

72

.72

## Processos em Unix

- Para criar um novo processo:
  - **fork**: cria um novo processo (a chamada ao sistema retorna “duas vezes”, uma para o pai e outra para o filho)
  - A partir daqui, ambos executam o mesmo programa
- Para executar outro programa
  - **exec**: substitui o programa do processo corrente por um novo programa
- Para terminar a execução
  - **exit**

 Compare o **exec** com a invocação de uma função: são muito diferentes

Sistemas Operativos - 2021/2022

73

.73

## fork/exec

```

pid = fork()
if (pid == 0) {
    /* Sou o filho */
    exec( novo programa )
} else {
    /* Sou o pai
       A Identificação do meu filho é colocada na variavel pid
    */
}
    
```

Sistemas Operativos - 2021/2022

74

.74

## fork'ing e exec'ing

- O padrão fork/exec é muito frequente (e.g. shell)
- Optimizações (a rever no capítulo de gestão de memória):
  - **copy on write**
  - Variante: **vfork**, não duplica o espaço de endereçamento; ambos os processos partilham o espaço de endereçamento e o pai é bloqueado até o filho terminar ou invocar o exec.

Sistemas Operativos - 2021/2022

75

.75

.19

## Estados de um processo (ii)

Podemos para já admitir que durante a sua “vida” os processos passam por 2 estados:



Sistemas Operativos - 2021/2022

76

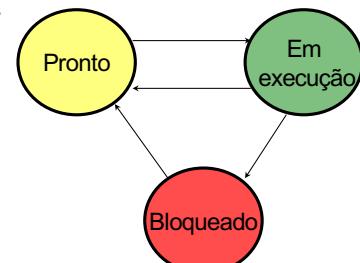
.76

## Estados de um processo (iii)

Na prática, há mais processos não bloqueados do que CPUs

Surge uma fila de espera com processos Prontos a executar

Processos em execução podem ser desafectados



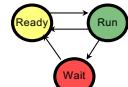
Sistemas Operativos - 2021/2022

77

.77

## Estados de um processo (iv)

- Em execução
  - Foi-lhe atribuído o/um CPU, executa o programa correspondente
- Bloqueado
  - O processo está logicamente impedido de prosseguir, e.g. porque lhe falta um recurso ou espera por evento
  - Do ponto de vista do SO, é uma transição **VOLUNTÁRIA!**
- Pronto a executar, aguarda escalonamento

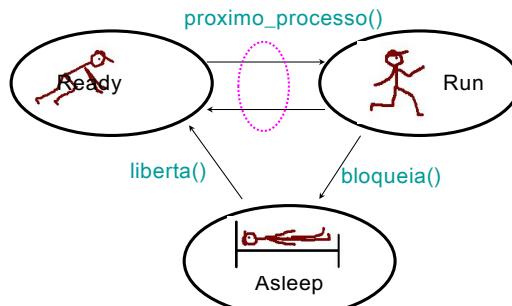


Sistemas Operativos - 2021/2022

78

.78

## Primitivas de despacho (i)



Sistemas Operativos - 2021/2022

79

.79

## Primitivas de despacho (ii)

- Bloqueia(evento)
  - Coloca **processo corrente** na fila de processos **parados** à espera deste “evento”
  - Invoca `próximo_processo()`
- Liberta(evento) ou `liberta(processo,evento)`
  - Se o **outro** processo não está à espera de mais nenhum evento, então coloca-o na lista de processos **prontos a executar**
  - Nesta altura pode invocar ou não `próximo_processo()`



Sistemas Operativos - 2021/2022

80

.80

## Primitivas de despacho (iii)

- `Proximo_processo()`
  - Seleciona um dos processos existentes na lista de processos prontos a executar, de acordo com a política de escalonamento
  - Executa a comutação de contexto
    - Salvaguarda contexto volátil do processo corrente
    - Carrega contexto do processo escolhido e regressa (executa o `return`)

Como o Stack Pointer foi mudado,  
“regressa” para o **processo escolhido!**

Sistemas Operativos - 2021/2022

81

.81

## Principais decisões

- Qual o próximo processo?
- Quando começa a executar?
- Durante quanto tempo?
- 
- Por outras palavras,

Há **desafectação forçada** ou não?

Sistemas Operativos - 2021/2022

82

.82

## Escalonamento de processos

- Quando, uma vez atribuído a um processo, o CPU nunca lhe é retirado então diz-se que o escalonamento é **cooperativo** (non-preemptive).
  - Exemplos: Windows 3.1, co-rotinas, `thread_yield()`
- Quando o CPU pode ser retirado a um processo ao fim do quantum ou porque surgiu outro de maior prioridade diz-se que o escalonamento é com **desafectação forçada** (preemptive)

Sistemas Operativos - 2021/2022

83

.83

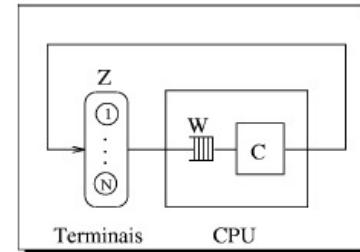
## Escalonamento de processos

- Escalonamento **cooperativo** (non-preemptive).
  - “poor man’s approach to multitasking” ?
  - Sensível às variações de carga
- Escalonamento com **desafectação forçada**
  - Sistema “responde” melhor
  - Mas a comutação de contexto tem overhead

Sistemas Operativos - 2021/2022

84

## Modelo de sistema interactivo

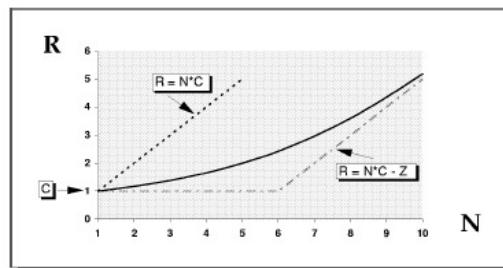


Z = Think time  
 C = Service time  
 W = Wait time  
 N = Number of users

Sistemas Operativos - 2021/2022

85

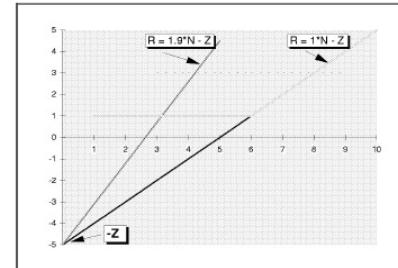
## Tempo de Resposta (carga homogénea)



Sistemas Operativos - 2021/2022

86

## Tempo de Resposta (carga heterogénea)



Assuma-se agora que uma em cada 10 interacções é muito longa, 10 vezes maior.  
 Veja-se a degradação de tempos de resposta

Sistemas Operativos - 2021/2022

87

.86

.87

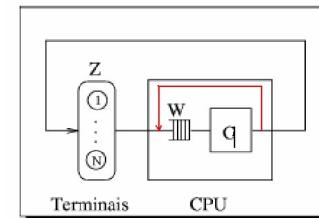
## Tempo de Resposta (carga heterogénea)

- Para evitar que as interações longas monopolizem o CPU e aumentem o tempo de resposta das restantes deve usar-se desafectação forçada.
- Neste caso deve atribuir-se um quantum (ou time slice) para permitir a troca rápida de processos:
  - Interacções curtas terminam dentro dessa fatia de tempo, logo não são afectadas pela política de desafectação.
  - Interacções longas executam durante um quantum e a seguir o processo correspondente regressa ao estado de **Pronto a Executar**, dando a vez a outros processos. Mais tarde ser-lhe-á atribuído nova fatia de tempo, e sucessivamente até a interacção terminar.

.88

## Duração da fatia de tempo

- Maioria das interacções deve “caber” num quantum
- $$R = W + C$$
- Se precisar de 2 passagens pelo CPU,  $T_{Resposta}$  é quase o dobro!
- $$R = W + q + W + c'$$



.89

## Escalonamento de processos

- Escalonadores de longo-prazo (segundos, minutos) e de curto-prazo (milisegundos)
- Processo CPU-bound: processo que faz pouco I/O mas que requer muito processamento
- Processo I/O-bound: processo que está frequentemente à espera de I/O.

.90

## Escalonamento de processos

- Os processos prontos são seriados numa fila (*ready list*)
- A lista é uma lista ligada de apontadores para PCB's
- A lista poderá estar ordenada por prioridades de forma a dar um tratamento preferencial aos processos com maior prioridade

.91

## Escalonamento de processos

- Quando um processo é escalonado, é retirado da *ready list* e posto a executar
- O processo pode “perder” o CPU por várias razões:
  - Aparece um processo com maior prioridade
  - Pedido de I/O (passa ao estado de bloqueado)
  - O *quantum* expira (passa ao estado de pronto)

## Escalonamento de processos

- A decisão de escalar um processo pode ser tomada em diversas alturas:
  - Qdo um processo passa de a-executar a bloqueado
  - Qdo um processo passa de a-executar a pronto
  - Qdo se completa uma operação de I/O
  - Qdo um processo termina

## Escalonamento de processos

- Pretende-se maximizar a utilização do CPU tendo em atenção outras coisas importantes:
  - Tempo de resposta para aplicações interactivas
  - Utilização de dispositivos de I/O
  - Justiça na distribuição do tempo de CPU

## Escalonamento de processos

- Diferentes algoritmos de escalonamento visam objectivos diferentes:
  - Diminuir o tempo de resposta (reduzindo o tempo de espera para determinados processos)
  - Maximizar a utilização do CPU

## Escalonamento de processos

- Alguns algoritmos de escalonamento:
  - FCFS (First Come, First Served)
  - SJF (Shortest Job First)
  - SRTF (Shortest Remaining Time First)
  - Preemptive Priority Scheduling
  - RR (Round Robin)

Sistemas Operativos - 2021/2022

96

.96

## First Come, First Served (FCFS)

- A *ready list* é uma fila FIFO
- Os processos são colocados no fim da fila e selecionado o da frente
- Método cooperativo
- Nada apropriado para ambientes interactivos

Sistemas Operativos - 2021/2022

97

.97

## FCFS

- Tempo de espera com grandes flutuações dependendo da ordem de chegada e das características dos processos
- Sujeito ao “efeito de comboio”
- Uma vantagem óbvia do FCFS é sua simplicidade de implementação
- Parece haver vantagens em escalar os processos mais curtos à frente...

Sistemas Operativos - 2021/2022

98

.98

## SJF (Shortest Job First)

- A ideia é escalar sempre o processo mais curto primeiro
- Possibilidades:
  - Desafectação forçada (SRTF) - interrompe o processo em execução se aparecer um mais curto
  - Cooperativo – aguardar pela terminação do processo em execução mesmo na presença de um processo recente mais curto

Sistemas Operativos - 2021/2022

99

.99

## SJF

- Não se consegue adivinhar o tempo de processamento dos processos
- Apenas se podem fazer estimativas
- Usa uma combinação de tempos reais e suas estimativas para fazer futuras previsões.

Sistemas Operativos - 2021/2022

100

.100

## Preemptive Priority

- Associa uma prioridade (geralmente um inteiro) a cada processo.
- A *ready queue* é uma fila seriada por prioridades.
- Escalona sempre o processo na frente da fila.
- Se aparece um processo com maior prioridade do que o que está a executar faz a troca dos processos

Sistemas Operativos - 2021/2022

101

.101

## Preemptive Priority

- Problema: starvation
- Uma solução: envelhecimento – aumenta a prioridade dos processos pouco a pouco de forma a que inevitavelmente executem e terminem.

Sistemas Operativos - 2021/2022

102

.102

## RR (Round Robin)

- Dá a cada processo um intervalo de tempo fixo de CPU de cada vez
- Quando um processo esgota o seu quanto retira-o do CPU e volta a colocá-lo no fim da fila.
- Ignorando os overheads do escalonamento, cada um dos  $n$  processos CPU-bound terá  $(1/n)$  do tempo disponível de CPU

Sistemas Operativos - 2021/2022

103

.103

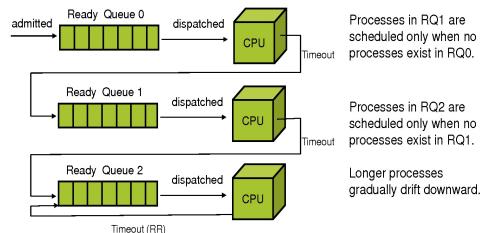
## RR

- Se o quantum for (muito) grande o RR tende a comportar-se como o FCFS
- Se o quantum for (muito) pequeno então o overhead de mudanças de contexto tende a dominar degradando os níveis de utilização de CPU
- Tem um tempo de resposta melhor que o SJF (o quantum “é” normalmente o SJ)

.104

## Multilevel Feedback Queue Scheduling

- Another way to put a preference on short-lived processes
  - Penalize processes that have been running longer.
- Preemptive



.105

## Níveis de escalonamento

- Uma vez que há inúmeros critérios de escalonamento (ie muitas variáveis a considerar para saber qual o “melhor” process, é habitual dividir a questão...
- 2 ou 3 níveis:
  - Nível 0 --- só despacha o que está em RAM
  - Nível 1 --- Decide que processos são multiprogramados
  - Nível 2 --- Não deixa criar processos nas horas de ponta

.106

- Introdução
- Gestão de processos
- Noções de programação concorrente
- Gestão de memória
- Gestão de periféricos
- Gestão de ficheiros

.107

## Paralelismo versus concorrência

- Execução paralela => hardware
  - Vários computadores, eg. cluster
  - Multiprocessamento, eg. um processo em cada CPU
  - Hyper-threading / Dual core
  - CPU a executar instruções em paralelo com a operação de disco (que se manifesta através de uma **interrupção**, com prioridade superior à actividade no CPU)

Sistemas Operativos - 2021/2022

108

.108

## Papel do SO

- O sistema operativo tem a responsabilidade de
  - Fornecer **mecanismos** que permitam a criação e interacção entre processos
  - Gerir a execução concorrente (ou em paralelo), de acordo com as **políticas** definidas pelo administrador de sistemas

Sistemas Operativos - 2021/2022

110

.110

## Em geral...

- Seja num ambiente de paralelismo real ou simulado pelo SO
- Existem várias “actividades” em execução “paralela”
- Normalmente essas actividades **não são independentes**, há **interacção** entre elas
- Este facto que levanta algumas questões...

Sistemas Operativos - 2021/2022

109

.109

## Cooperação e Competição

- Há normalmente 2 padrões de interacção entre processos:
  - Cooperam entre si para atingir um resultado comum
    - Processo inicia transferência do disco e aguarda passivamente que esta termine
    - O disco interrompe e a rotina de tratamento avisa que o processo já pode prosseguir
  - Competem por recursos (CPU, memória, impressora, etc.)
    - Há necessidade de forçar 1 ou mais processos a esperar até que o recurso pretendido fique disponível e lhes seja atribuído (seja a sua vez).

Sistemas Operativos - 2021/2022

111

.111

## Sincronização

- Nos dois casos anteriores estamos perante uma questão de sincronização:
  - Cooperação (espera até que evento seja assinalado)
  - Competição (espera até que recurso esteja disponível)
- **Sincronizar** é fazer esperar, atrasar deliberadamente um processo até que determinado evento surja
  - Convém que a espera seja passiva.

Sistemas Operativos - 2021/2022

112

.112

## Exemplos de concorrência

- Inspirados na vida real
  - Diálogo cliente/bar(wo)men
  - Actualização do saldo de uma conta bancária
  - Entrada num parque de estacionamento ou sala de cinema sem marcação de lugar
- São exemplos, respectivamente, de
  - Sincronização
  - Exclusão mútua (caso particular em que capacidade = 1)
  - Controlo de capacidade

Sistemas Operativos - 2021/2022

114

.114

## Comunicação

- Para haver interacção tem de haver de **comunicação**:
  - Processos podem requisitar ao SO memória partilhada, podem escrever/ler ficheiros comuns, enviar/receber *mensagens* através de “canais”, pipelines, sockets, etc.
  - Threads do mesmo processo podem comunicar através de variáveis globais
- A comunicação pode ser tão simples como o assinalar a ocorrência de um evento (de sincronização), ou pode transportar dados.

Sistemas Operativos - 2021/2022

113

.113

## Na realidade...

- Os três exemplos anteriores são casos de **Sincronização**, pois em todos poderá ser necessário esperar até que se verifique determinada condição:
  - Cliente: existir pelo menos um copo no balcão
  - O recurso estar livre, não haver outro processo a actualizar “esse” registo do ficheiro
  - Sala de cinema ou parque de estacionamento não estar totalmente cheios.
- Como veremos a seguir, conduzem a 3 padrões de soluções

Sistemas Operativos - 2021/2022

115

.115

## Exemplo: num festival...

- Que algoritmo sugere para controlar a concorrência de largas dezenas de clientes ansiosos por retirarem um copo de cerveja do balcão?
- Que algoritmo sugere seja usado pela pessoa ou pessoas que estão a encher os copos e a colocá-los no balcão?

Sistemas Operativos - 2021/2022

116

.116

## Onde está a espera?

- Uma lista é apenas uma estrutura de dados, quando muito poderia servir para comunicação entre barmen e clientes (balcão)
- E depois de inserir um copo nessa fila, como/quem espera por um cliente? Se a fila for de clientes, como esperam pelo seu copo?
- É preciso perceber a diferença entre **comunicação** e **sincronização**!

Sistemas Operativos - 2021/2022

118

.118

## Não basta dizer...



### • Cliente/servidor ?

- Já temos, não?
- Clientes pedem, barman/servidor responde?

### • Arranja-se uma fila

- Onde? Só uma? Porquê? Como a implementa?

### • Lista ligada?

- De quê? De copos, clientes ou barmen? Dos 3???

Sistemas Operativos - 2021/2022

117

.117

## Vamos recapitular

- **Comunicação:** escrita/leitura de dados passados através de vários mecanismos (ficheiros, memória partilhada...)
- **Sincronização:** coordenação de eventos entre processos (usando semáforos, variáveis de condição, locks, etc.), designadamente para garantir uma ordem na ocorrência desses eventos -- só leio depois de tu escreveres;
- Há mecanismos que tratam dos dois aspectos, e.g. pipelines, mensagens, sockets...

Sistemas Operativos - 2021/2022

119

.119

## Arquitectura da solução

- Que processos temos, quem são os componentes activos que executam algoritmos?
  - processos Cliente e processos Barman
- Como comunicam através do “balcão”?
  - variável/array/lista/ficheiro de copos?
- Como sincronizam?
  - Cliente espera por copo, barman pousa copo

Sistemas Operativos - 2021/2022

120

.120

## Sincronização com variáveis partilhadas

### CLIENTE

```
/* aguarda por copo cheio */
while (n_copos == 0);

n_copos = n_copos - 1;
tirar_copo_do_balcao();
...
```

Consegue perceber a ideia ?

Sistemas Operativos - 2021/2022

121

.121

## Sincronização com variáveis partilhadas

### CLIENTE

```
/* aguarda por copo cheio */
while (n_copos == 0);

n_copos = n_copos - 1;
tirar_copo_do_balcao();
...
```

### BARMAN

```
/* aguarda vaga no balcão*/
while (n_copos == MAX);

n_copos = n_copos + 1;
pousar_copo_no_balcao();
...
```

Acha que este pseudo-código está correcto?

Sistemas Operativos - 2021/2022

122

.122

## Infelizmente não está...

- Não garante que não haja copos partidos (?!)
- Nem clientes a pegarem no mesmo copo (?!?)
- E é muito ineficiente
  - esperas activas desperdiçam tempo de CPU
  - precisamos de primitivas capazes de *adormecer/acordar* processos

Sistemas Operativos - 2021/2022

123

.123

## Mecanismos de sincronização

- Existem muitas propostas, sendo o seu estudo diferido para unidades curriculares como programação concorrente, sistemas distribuídos e computação paralela.
- Umas são genéricas (semáforos, mensagens), outras vocacionadas para casos particulares nomeadamente
  - exclusão mútua (e.g. mutexes, fcntl, Linux leases, métodos synchronized, etc.),
  - para serem usadas dentro do kernel do SO (sleep/wakeup, spin locks)
  - em ambientes multithreaded (wait/signal/notify)...

Sistemas Operativos - 2021/2022

124

.124

## Semáforos

- Servem para resolver problemas de sincronização, exclusão mútua e controlo de capacidade
- Com apenas 3 operações\*:
  - Inicialização :
  - $s = \text{cria\_semáforo}(\text{valor\_inicial})$
  - P (s) ou   Down (s)
  - V (s) ou   Up (s)

\* Na realidade há mais operações

Sistemas Operativos - 2021/2022

126

.126

## Mecanismos de sincronização

- Em sistemas operativos explora-se a partilha entre processos de estado global tipicamente guardado em ficheiros e, por outro lado, o encapsulamento desse estado em processo(s) gestor(es).
- Nas aulas teóricas usam-se semáforos como introdução e treino mental de controlo de concorrência, enquanto que nas práticas se usam pipes e fifos, que combinam comunicação e sincronização no mesmo mecanismo.

Sistemas Operativos - 2021/2022

125

.125

## Semáforos

- Imagine uma caixa com bolas e as operações:
  - P: Se há bola(s) na caixa, retiro uma e continuo, senão aguardo (passivamente) que alguém deposite uma
  - V: Devolvo a bola à caixa; se há alguém bloqueado à espera, acordo-o

(P = PÁRA e V = VAI; podem bloquear e libertar processos,respectiv.)

Sistemas Operativos - 2021/2022

127

.127

## Semáforos

```
P(s){  
    s = s - 1  
    if (s < 0)  
        then bloqueia("S")  
}
```

```
V(s){  
    s = s + 1  
    if (s ≤ 0)  
        then liberta("S")  
}
```

Quando  $s < 0$ , o seu valor absoluto  $|s|$  conta o número de processos bloqueados no P()

Sistemas Operativos - 2021/2022

128

.128

## Semáforos

- Bloquear significa retirar o processo corrente do estado RUN e inseri-lo na fila “S”
- Libertar significa escolher um processo da fila “S” e inseri-lo na fila READY
- Normalmente essa escolha é FIFO
- **Mas pode não ser...**

Sistemas Operativos - 2021/2022

129

.129

## Sincronização com semáforos

- Para cada evento de sincronização, é criado um semáforo com **valor inicial zero**

- Um processo espera *passivamente* pelo evento, e só avança depois do evento acontecer

P(s)      /\* se caixa vazia, espera; senão evento já ocorreu \*/

- Outro processo assinala ocorrência do evento

V(s)      /\* se ninguém à espera, deixa bola na caixa para indicar que o evento já ocorreu\*/

Sistemas Operativos - 2021/2022

130

.130

### CLIENTE

```
/* aguarda por copo cheio */  
P(copo)  
  
tirar_copo_do_balcao();
```

### BARMAN

```
pousar_copo_no_balcao();  
  
/* avisa que há +1 copo cheio */  
V(copo)  
....
```

**Falta inicializar o semáforo copo a Zero**

Sistemas Operativos - 2021/2022

131

.131

## Capacidade

- Se a capacidade do balcão fosse de apenas 1 copo, Cliente e Barman executariam à vez. (Seria má estratégia... porquê?)
- Para aguardar por espaço no balcão, usa-se um semáforo inicializado à capacidade do recurso partilhado (e não a Zero)
- É um caso particular de sincronização: só bloqueia se o recurso estiver esgotado naquele instante

Sistemas Operativos - 2021/2022

132

.132

## CLIENTE

```
/* aguarda por copo cheio */
P(copo)

tirar_copo_do_balcão();

/* avisa que há vaga */
V(espaço)
```

## BARMAN

```
/* aguarda por vaga no balcão */
P(espaço)

pousar_copo_no_balcão();

/* avisa que há +1 copo cheio */
V(copo)
....
```

**Falta inicializar o semáforo copo a Zero e espaço à capacidade do balcão**

Sistemas Operativos - 2021/2022

133

.133

## Exclusão mútua com semáforos

- Para cada região crítica, é criado um semáforo com valor inicial igual a **1 (um)**
- No início da região crítica

P(s)      /\* só avança se região está livre \*/

- No fim da região crítica

V(s)      /\* assinala que a região está livre \*/

Sistemas Operativos - 2021/2022

134

.134

## “Receitas” com semáforos

- Sabendo que valor inicial + #V() ≥ #P() concluídos
  - Sincronização:

valor inicial = 0

- Exclusão mútua:

valor inicial = 1

- Capacidade:

valor inicial = N = capacidade do recurso

Sistemas Operativos - 2021/2022

135

.135

## Produtor/consumidor com semáforos

- Agora que resolvemos os aspectos de sincronização
- E já sabemos a “receita” da exclusão mútua
- É altura de reparar que o balcão é uma variável partilhada pelos vários processos (M barmen + N clientes)

=>Falta garantir **exclusão mútua** no acesso ao balcão!

Sistemas Operativos - 2021/2022

136

.136

## Produtor(es)

```
P(espaço);
P(mutex);
Buf[p++ % N] = px;
V(mutex);
V(copo);
```

## Consumidor(es)

```
P(copo)
P(mutex);
cx = Buf[c++ % N];
V(mutex);
V(espaço)
```

**Falta inicializar os semáforos espaço a N, copo a ZERO, mutex a UM, e as variáveis p e c a ZERO.**

Sistemas Operativos - 2021/2022

137

.137

## E não temos cliente/servidor?

- O que aqui temos são dois conjuntos de processos, uns a “produzem” dados e outros a “consumirem” esses dados, de forma coordenada, eficiente e justa (ordem FIFO)
- Os algoritmos tratam apenas da passagem de dados entre produtores/barmen e consumidores/clientes/utentes. Mas poderão vir a ser usados numa arquitectura cliente/servidor!
- E antes de chegarmos a essa arquitectura, há que responder a:
  - *Que mal teria deixar os utentes/clientes servirem-se a eles próprios? Porque há um balcão e gente a servir?*

Sistemas Operativos - 2021/2022

138

.138

## Self-scheduling vs Client/Server

- As chamadas ao sistema são executadas dentro do kernel mas em ambiente protegido e controlado
- Na arquitectura cliente/servidor há separação de processos:
  - o cliente nunca tem acesso directo ao estado do servidor nem AOS RECURSOS que este gere: isto implica permissões diferentes nos ficheiros e periféricos!
  - cliente faz o pedido e aguarda pela resposta: são precisos mecanismos de comunicação e sincronização, bem como de autenticação de clientes

Sistemas Operativos - 2021/2022

139

.139

## E não há...

- Sistemas operativos com arquitectura C/S?
  - Há! E desde os anos 80... tipicamente com um micro-kernel que gera escalonamento e diálogo com periféricos e um conjunto de processos “gestores” de recursos (e.g. o MACH de Carnegie Mellon University)
  - Curiosidade: dois dos investigadores principais do MACH mudaram-se em meados de 90 para a Microsoft e Apple, presumivelmente influenciando a evolução para Windows NT e MAC OSX....

Sistemas Operativos - 2021/2022

140

.140

## Programa

- Introdução
- Gestão de processos
- Noções de programação concorrente
- Gestão de memória
- Gestão de periféricos
- Gestão de ficheiros

Sistemas Operativos - 2021/2022

141

.141

## Gestão de Memória

- Idealmente a memória seria:
  - grande
  - rápida
  - não volátil
- Na realidade, há uma hierarquia
 

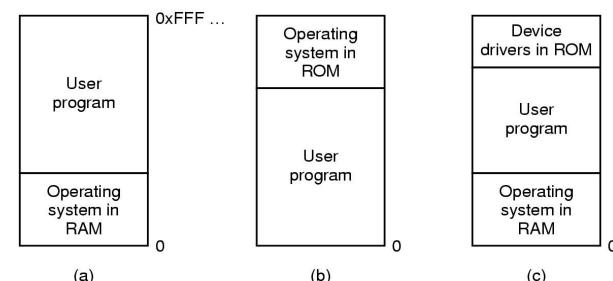
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pouca memória muito rápida</li> <li>- Velocidade média, custo aceitável</li> <li>- Giga/terabytes de memória auxiliar</li> </ul>	– cache(s) – RAM – discos mag. /SSD
---	---

Sistemas Operativos - 2021/2022

142

.142

## Monoprogramação



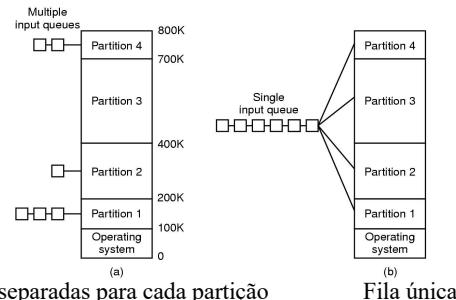
Três formas de organizar a memória com SO e apenas um processo

Sistemas Operativos - 2021/2022

143

.143

## Multiprogramação c/ partições de dimensão fixa (qq alteração implica reboot ?)



Sistemas Operativos - 2021/2022

144

•144

## Recolocação e Protecção

- Para carregar um processo em qualquer partição livre...
  - O endereço de carregamento do programa não pode ser definido pelo compilador!
  - Isso é, o endereço de variáveis funções não pode ser *absoluto*
  - Tem de ser *recolocável*, para ser alterável no momento do carregamento
  - Para o compilador, *tudo começa no endereço 0!*
- CPUs passam a dispor de registos base e limite
  - Endereços saídos do CPU são adicionados à base para obter endereços físicos
  - Valores superiores ao registo limite são erros ( =>processo é terminado)

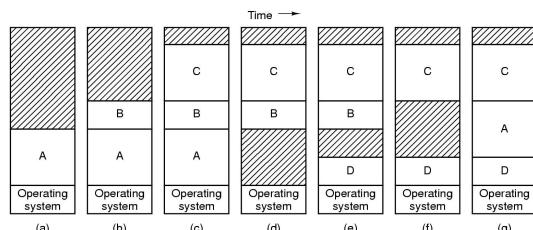
Sistemas Operativos - 2021/2022

145

•145

## Swapping

A alocação de memória muda sempre que um processo é criado ou terminado (óbvio!), e também sempre que um processo é *swapped out* ou *swapped in* de disco

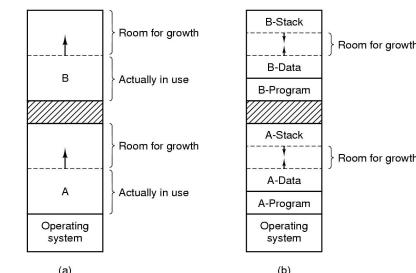


Sistemas Operativos - 2021/2022

146

•146

## Swapping



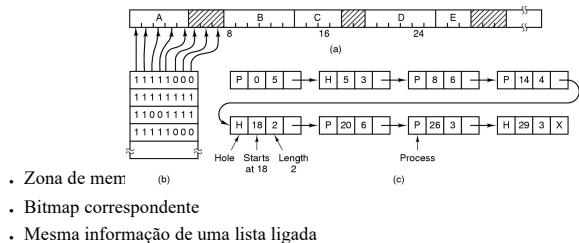
(a) Alocação para segmento de dados crescente  
 (b) Alocação para segmentos de dados e stack crescentes

Sistemas Operativos - 2021/2022

147

•147

## Gestão de memória com bitmaps

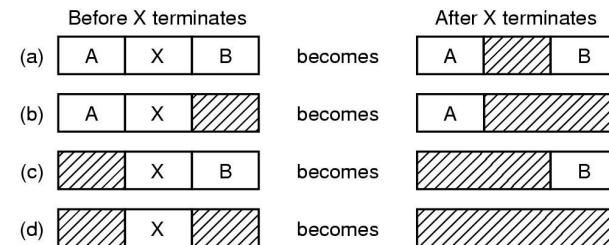


Sistemas Operativos - 2021/2022

148

.148

## Gestão de memória listas ligadas



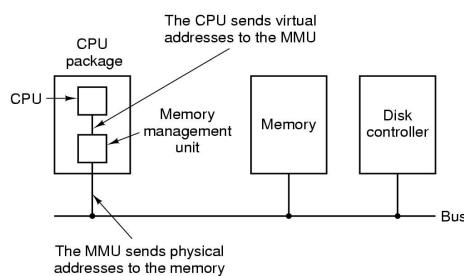
Quatro cenários para a terminação do processo X

Sistemas Operativos - 2021/2022

149

.149

## Memória Virtual



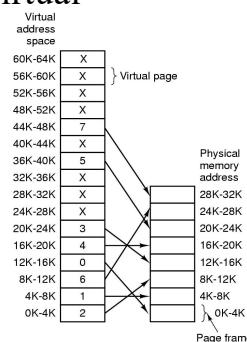
Sistemas Operativos - 2021/2022

150

.150

## Memória Virtual

A relação entre  
endereços virtuais e  
físicos é dada por uma  
tabela

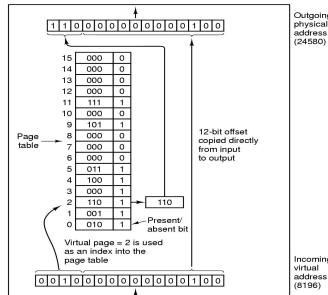


Sistemas Operativos - 2021/2022

151

.151

## Memória Virtual



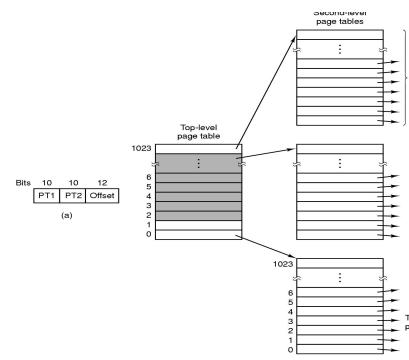
Operação da MMU com 16 páginas de 4 KB

.152

## Memória Virtual

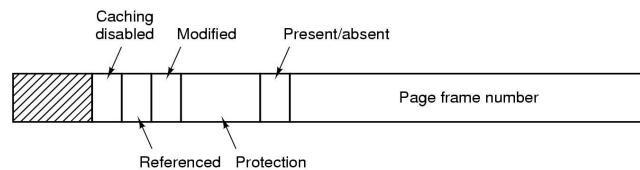
- Endereço de 32 bit c/ 3 campos:
  - PT1, PT2, Offset
- Tabelas de páginas de 2 níveis
  - Indexadas por PT1 e PT2
- Tabela de 2º nível tem endereço
  - base do frame respetivo
  - Ao qual se some o Offset

Porquê 2 ou mais níveis????



.153

## Memória Virtual



Entrada típica da tabela de páginas

.154

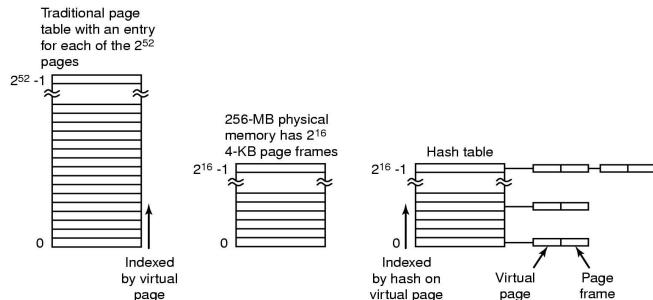
## Memória Virtual

- TLBs – Translation Lookaside Buffers – para melhorar o desempenho

Valid	Virtual page	Modified	Protection	Page frame
1	140	1	RW	31
1	20	0	R X	38
1	130	1	RW	29
1	129	1	RW	62
1	19	0	R X	50
1	21	0	R X	45
1	860	1	RW	14
1	861	1	RW	75

.155

## Memória Virtual



- Comparação entre tabelas tradicionais e **tabelas invertidas**

Sistemas Operativos - 2021/2022

156

•156

## Aspectos de Implementação

### Tratamento da Page Fault:

1. MMU interrompe o processador.
2. Kernel salvaguarda os registos e invoca função de tratamento
3. GMV determina a página necessária e a razão para interrupção
4. SO valida endereço e procura/cria page frame
  - Page in, zero fill, in transit...
  - Pode implicar rejeição de outra página

Sistemas Operativos - 2021/2022

157

•157

## Aspectos de Implementação

O SO intervém na paginação em 4 situações:

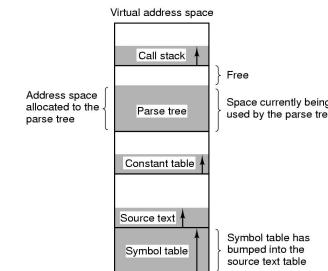
1. Criação do processo
  - Determina o tamanho do programa
  - Cria a tabela de página
2. Execução do processo *ie, na comutação para o próximo\_processo*
  - Re-inicializa a MMU para o novo processo
  - Limpar a TLB
3. Page Fault
  - Determina o endereço virtual causador da *page fault*
  - Coloca a página em memória, se endereço for legal
4. Fim da execução do processo
  - Liberta a tabela de páginas e as páginas/frames

Sistemas Operativos - 2021/2022

158

•158

## Segmentação



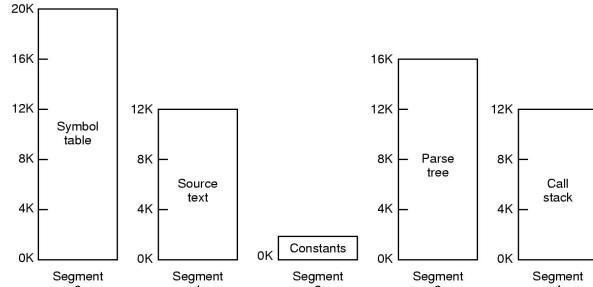
- Espaço de endereçamento único com tabelas crescentes
- Uma tabelas pode sobrepor-se a outra

Sistemas Operativos - 2021/2022

159

•159

## Segmentação



- Cada tabela pode crescer ou encolher independentemente

Sistemas Operativos - 2021/2022

160

•160

## Segmentação vs Paginação

	Paginação	Segmentação
Transparente para o programador	Sim	Não
Número de espaços de endereçamento	1	Vários
O espaço de endereçamento pode ultrapassar o tamanho da memória física	Sim	Sim
O código e dados podem ser distintos e protegidos separadamente	Não	Sim
Tabelas de tamanho variável podem ser geridas facilmente	Não	Sim
A partilha de código é facilitada	Não	Sim

Sistemas Operativos - 2021/2022

161

•161

## Segmentação com Paginação: Pentium



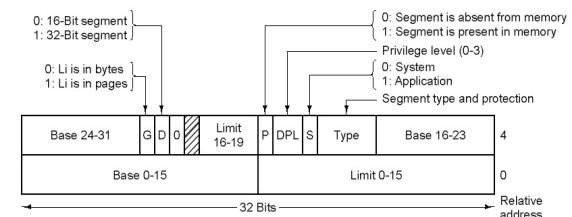
Um **selector** no Pentium

Sistemas Operativos - 2021/2022

162

•162

## Segmentação com Paginação: Pentium



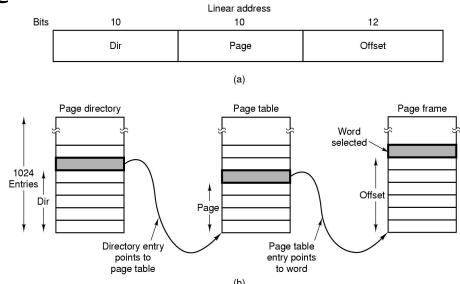
Descriptor de segmento de código

Sistemas Operativos - 2021/2022

163

•163

## Segmentação com Paginação: Pentium



Mapeamento de um endereço linear para o endereço físico

.164

## Rejeição de páginas

- Rejeitar a página que será usada mais tarde
  - Inexequível
- Aproximado por estimativa
  - Histórico de execuções anteriores do processo
  - Também isto é impraticável

.166

## Rejeição de páginas

- Um *page fault* leva:
  - A encontrar espaço para a nova página, a criar ou trazer de disco
  - A decidir que página em memória rejeitar, caso não haja espaço
- Uma página modificada tem que ser escrita (em disco)
  - Uma que não modificada pode ser imediatamente utilizada
- Convém não rejeitar uma página frequentemente usada
  - Pois provavelmente terá de ser carregada a seguir

.165

## Rejeição de páginas NRU

- Cada página tem 1 bit de acesso e 1 de escrita
- As páginas são assim classificadas:
  1. Não acedida, não modificada
  2. Não acedida, modificada
  3. Acedida, não modificada
  4. Acedida, modificada

NRU remove a página com menor “ranking”

.167

## Rejeição de páginas FIFO

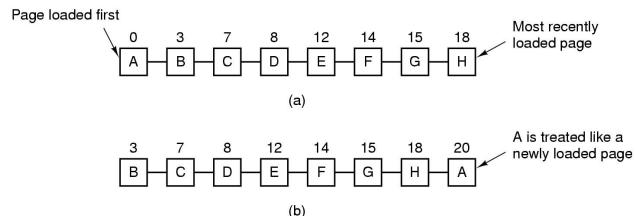
- Mantém uma lista das páginas em memória
  - Segundo a ordem em que foram carregadas
- A página no topo da lista é rejeitada
- Desvantagem
  - A página há mais tempo em memória poderá ser a mais usada

Sistemas Operativos - 2021/2022

168

.168

## Segunda Oportunidade



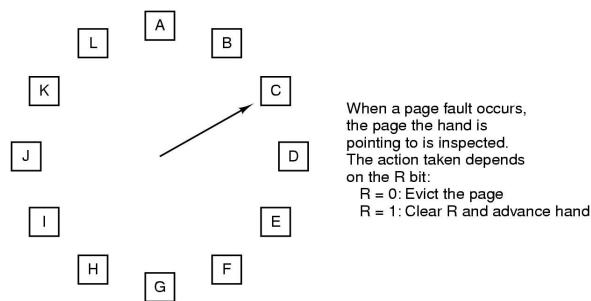
- Ordem FIFO
- Se a página mais antiga tiver sido acedida, não é rejeitada
- É limpo o bit de acesso e é colocada no fim da fila

Sistemas Operativos - 2021/2022

169

.169

## Rejeição de páginas: Relógio



Sistemas Operativos - 2021/2022

170

.170

## Rejeição de páginas LRU

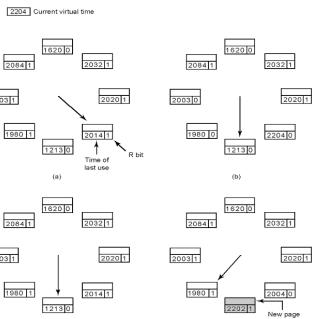
- Assume que as páginas usadas recentemente serão usadas em breve
  - Rejeitar a página não usada há mais tempo
- Tem de gerir uma (enorme?) lista de páginas
  - Ordenada pela mais recente
  - Tem de actualizar em todos os acessos à memória! (talvez não...)
- Uma alternativa seria manter um contador em cada entrada da tabela de páginas
  - Escolher a página com o menor valor
  - Periodicamente zerar o contador (de todas?)

Sistemas Operativos - 2021/2022

171

.171

## WorkingSetClock



Sistemas Operativos - 2021/2022

172

.172

## Rejeição de páginas

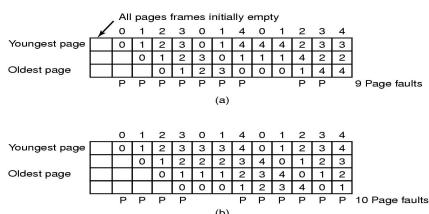
Algoritmo	Características
Óptimo	Inexequível. Padrão para comparação.
NRU (não usado recentemente)	Aproximação grosseira.
FIFO	Leva à rejeição de páginas importantes.
Segunda Oportunidade	Melhoramento do FIFO.
Relógio	Solução realista.
LRU (menos recentemente usado)	Muito bom. Implementação exacta difícil.
NFU (menos frequentemente usado)	Aproximação grosseira do LRU.
Aging (envelhecimento)	Aproximação boa e eficiente do LRU.
Working set	Implementação ineficiente.
WClock	Aproximação boa e eficiente.

Sistemas Operativos - 2021/2022

173

.173

## Anomalia de Belady



- FIFO com 3 page frames
- FIFO com 4 page frames
- Os P's indicam ocorrência de page faults

Sistemas Operativos - 2021/2022

174

.174

## Gestão de Memória – recap

Como auto-avaliação, assegure-se que consegue acompanhar os vídeos seguintes:

<https://www.youtube.com/watch?v=qdkxXygc3rE>

<https://www.youtube.com/watch?v=qlH4-oHnBb8>

Sistemas Operativos - 2021/2022

175

.175

## Sistemas Paginados

- Aspectos de Concepção de
  - Alocação local e global
  - Controlo de carga / thrashing
  - Tamanho das páginas

.176

## Alocação Local e Global

	Age
A0	10
A1	7
A2	5
A3	4
A4	6
A5	3
B0	9
B1	4
B2	6
B3	2
B4	5
B5	6
B6	12
C1	3
C2	5
C3	6

(a)

	Age
A0	10
A1	7
A2	5
A3	4
A4	6
B0	9
B1	4
B2	6
B3	2
B4	5
B5	6
B6	12
C1	3
C2	5
C3	6

(b)

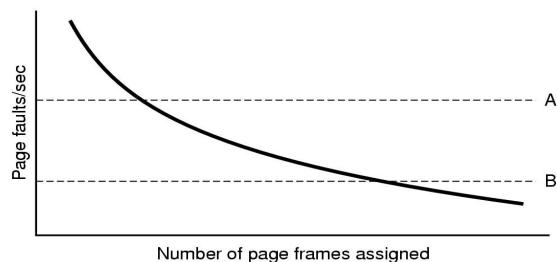
	Age
A0	10
A1	7
A2	5
A3	4
A4	6
B0	9
B1	4
B2	6
B3	2
B4	5
B5	6
B6	12
C1	3
C2	5
C3	6

(c)

Config. original    Subst. local    Subst. global

.177

## Alocação Local e Global



.178

## Controlo de carga

- Apesar de um bom desenho, pode ainda ocorrer **thrashing**
- Quando a Frequência de Page Faults é elevada e indica que:
  - Alguns processos precisam de mais memória central
  - Mas nenhum pode ceder parte da memória que tem
- A solução passa por reduzir o número de processos que competem por memória
  - Passando um ou mais processos para disco, libertando os frames que lhes estavam atribuídas. Mas quais???

.179

## Tamanho das páginas

### Páginas pequenas

- Vantagens
  - Menos fragmentação interna
  - Melhor adequação a várias estruturas de dados e código
  - Menos partes de programas não usados em memória
- Desvantagens
  - Mais páginas, tabelas de páginas maiores

Sistemas Operativos - 2021/2022

180

.180

## Tamanho das páginas

- Overhead estimado:

$$\text{overhead} = \frac{s \cdot e}{p} + \frac{p}{2}$$

Espaço da tabela de páginas

Fragmentação interna

- Em que

- s = tamanho médio dos processos em bytes
- p = tamanho das páginas
- e = entrada na tabela de páginas

Valor óptimo quando

$$p = \sqrt{2se}$$

Sistemas Operativos - 2021/2022

181

.181

## Tamanho das páginas

- Hardware pode impor valores fixos (e.g. 4KB em Intel) mas o SO pode *olhar para a memória* de outra forma, permitindo tamanhos maiores a certas aplicações
- **Huge pages** de 2 MB... 2 GB ? Que não saem de RAM? **Porquê?**
- Lembram-se do *sticky-bit* no início do Unix?

Sistemas Operativos - 2021/2022

182

.182

## Programa

- Introdução
- Gestão de processos
- Noções de programação concorrente
- Gestão de memória
- Gestão de periféricos
- Gestão de ficheiros

Sistemas Operativos - 2021/2022

183

.183

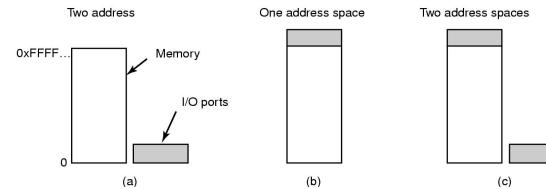
## Hardware de E/S

Device	Data rate
Keyboard	10 bytes/sec
Mouse	100 bytes/sec
56K modem	7 KB/sec
Telephone channel	8 KB/sec
Dual ISDN lines	16 KB/sec
Laser printer	100 KB/sec
Scanner	400 KB/sec
Classic Ethernet	1.25 MB/sec
USB (Universal Serial Bus)	1.5 MB/sec
Digital camcorder	4 MB/sec
IDE disk	5 MB/sec
40x CD-ROM	6 MB/sec
Fast Ethernet	12.5 MB/sec
ISA bus	16.7 MB/sec
EIDE (ATA-2) disk	16.7 MB/sec
FireWire (IEEE 1394)	50 MB/sec
XGA Monitor	60 MB/sec
SONET OC-12 network	78 MB/sec
SCSI Ultra 2 disk	80 MB/sec
Gigabit Ethernet	125 MB/sec
Ultrium tape	320 MB/sec
PCI bus	528 MB/sec
Sun Gigaplane XB backplane	20 GB/sec

Sistemas Operativos - 2021/2022

184

## I/O mapeado em memória



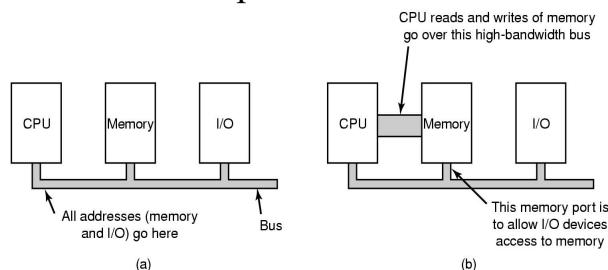
- Portas de E/S e memória separados
- E/S mapeado em memória
- Híbrido

Sistemas Operativos - 2021/2022

185

.184

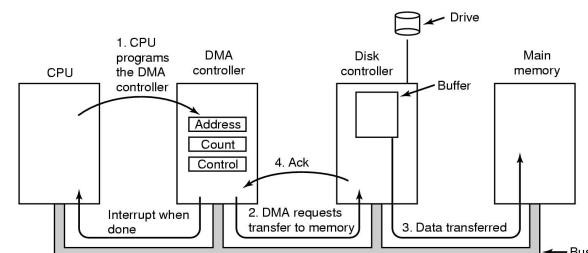
## E/S mapeado em memória



Sistemas Operativos - 2021/2022

186

## Memória de Acesso Directo (DMA)



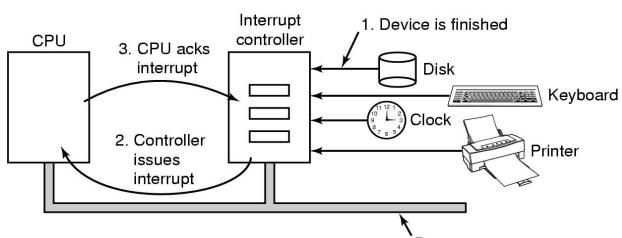
Sistemas Operativos - 2021/2022

187

.186

.187

## Interrupções



Sistemas Operativos - 2021/2022

188

.188

## Características do Software de E/S

- Independência de dispositivos
  - Programas podem aceder a qualquer dispositivo através de abstracções, sem que o tenham de especificar à priori.
- Uniformização de nomes
  - Nomes de ficheiros e dispositivos independentes da máquina
- Tratamento de erros
  - Tão perto do hardware quanto possível

Sistemas Operativos - 2021/2022

189

.189

## Aspectos do Software de E/S

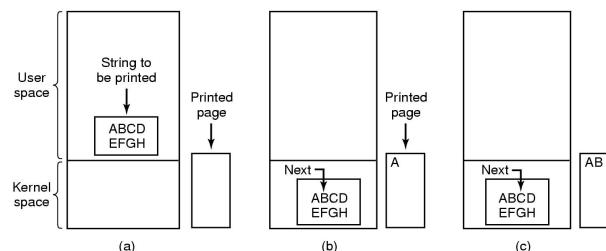
- Transferências síncronas e assíncronas
  - Espera activa vs. interrupções
- Armazenamento temporário (buffering)
  - Armazenamento e cache em vários níveis
- Dispositivos partilhados vs. dedicados

Sistemas Operativos - 2021/2022

190

.190

## E/S programado



Fases na impressão de uma string

Sistemas Operativos - 2021/2022

191

.191

## E/S programado

```
copy_from_user(buffer, p, count);           /* p is the kernel buffer */
for (i = 0; i < count; i++) {
    while (*printer_status_reg != READY);   /* loop until ready */
    *printer_data_register = p[i];          /* output one character */
}
return_to_user();
```

Escrita de uma string para a impressora usando E/S programado

- Com espera activa?
- Sem Mutex?
- Acesso ao controlador (ie. printer\_data\_register) ?

Sistemas Operativos - 2021/2022

192

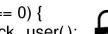
.192

## E/S por interrupções



```
copy_from_user(buffer, p, count);
enable_interrupts();
while (*printer_status_reg != READY);
*printer_data_register = p[0];
scheduler();
```

(a)



```
if (count == 0) {
    unblock_user();
} else {
    *printer_data_register = p[i];
    count = count - 1;
    i = i + 1;
}
acknowledge_interrupt();
return_from_interrupt();
```

(b)

(a) Inicia transferência e (b) Trata interrupção

Falta esperar pela impressora livre e que seja a minha vez, garantia de mutex neste “driver”, libertar o próximo, etc

Sistemas Operativos - 2021/2022

194

.194

## E/S com DMA

copy_from_user(buffer, p, count); set_up_DMA_controller(); scheduler();	acknowledge_interrupt(); unblock_user(); return_from_interrupt();
---	---

(a)

(b)

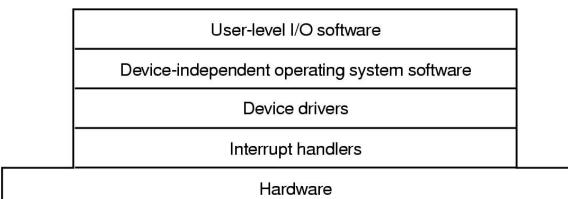
## Operação de E/S com DMA

Sistemas Operativos - 2021/2022

193

.193

## Níveis do software de E/S

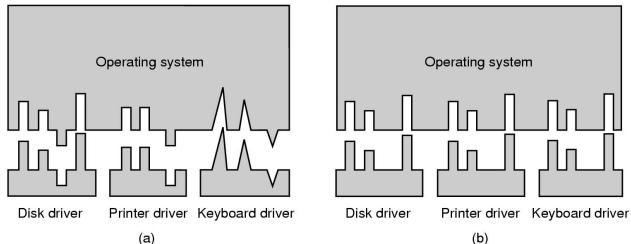


Sistemas Operativos - 2021/2022

195

.195

## E/S independente do dispositivo



Sem interface standard

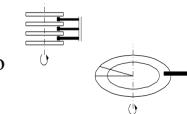
Com interface standard

Sistemas Operativos - 2021/2022

196

## Discos

- O tempo necessário para aceder a um bloco é determinado por três factores:
  - Tempo de procura (posicionamento na pista)
  - Tempo de rotação do disco (posicionamento no sector)
  - Tempo de transferência
- O tempo de procura (seek) é dominante

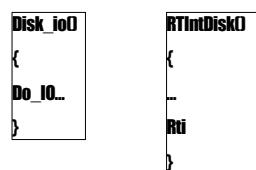


Sistemas Operativos - 2021/2022

197

## Escalonamento de pedidos de transferência

- FIFO
- SSTF
- Elevator
- Scan circular

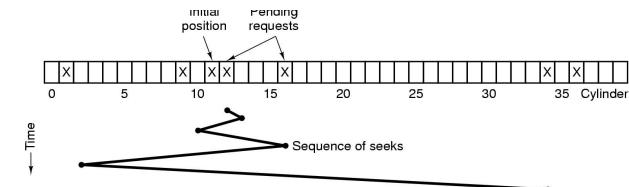

Consegue imaginar os algoritmos?

Como bloquear um processo até que chegue a vez do seu pedido?

Sistemas Operativos - 2021/2022

198

## Escalonamento de pedidos a disco



Shortest Seek First (SSF)

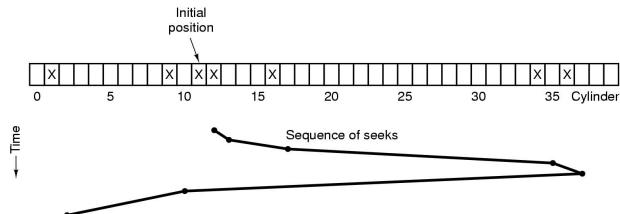
Sistemas Operativos - 2021/2022

199

.198

.199

## Escalonamento de pedidos a disco

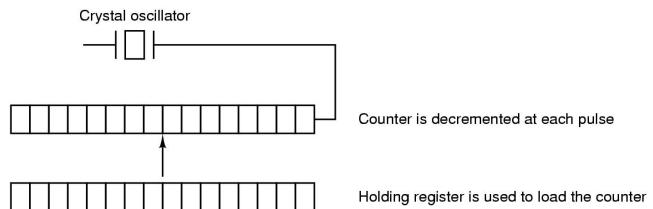


Elevador

Sistemas Operativos - 2021/2022

200

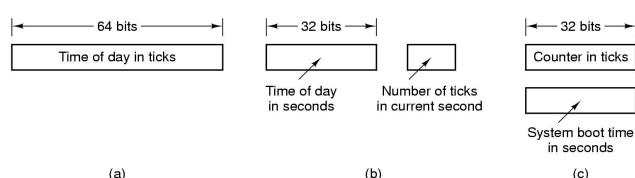
## Relógios



Um relógio programável

201

## Relógios

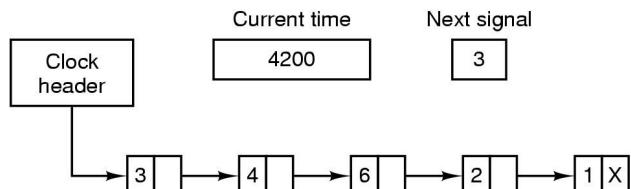


Três formas de manter a hora actual

Sistemas Operativos - 2021/2022

202

## Relógios



Simulação de vários contadores com um único relógio

Sistemas Operativos - 2021/2022

203

.202

## Programa

- Introdução
- Gestão de processos
- Noções de programação concorrente
- Gestão de memória
- Gestão de periféricos
- Gestão de ficheiros

Sistemas Operativos - 2021/2022

204

.204

## Gestão de Ficheiros

- Sistemas de ficheiros
  - Recapitulação de hw e sw de IO
    - Discos, partições, disk IO, device drivers, concorrência, caches, etc.
  - Requisitos, objectivos, estudo de casos
  - RAID, Log structured File Systems
  - Noções de sistemas de ficheiros distribuídos

Sistemas Operativos - 2021/2022

205

.205

## Sistemas de ficheiros: requisitos

- Persistência
- Grande escala (quantidade de ficheiros + dimensão elevada)
- Rapidez de acesso (Tempo de acesso a disco >> TaccRAM)
- Concorrência
- Segurança
- ...

Sistemas Operativos - 2021/2022

206

.206

## Objectivos (1)

- Armazenamento
  - Persistente (backup, undelete, RAID)
  - Eficiente
    - Espaço (=> aproveitar)
    - Dados (exemplos)
      - Alocação não contígua para eliminar fragmentação externa
      - Suporte para ficheiros “dispersos” (resultado de “hash”, por exemplo)
    - Metadados, eg. estruturas para representar blocos livres/ocupados: FAT, i-nodes, ...
    - Tempo: algoritmos de gestão e **recuperação** rápidos

Sistemas Operativos - 2021/2022

207

.207

## Objectivos (2)

- Acesso
  - Escalável
  - Conveniente
    - estrutura interna visível (pelo kernel) ou só pelas aplicações?
    - Sequência de bytes vs. Ficheiros indexados
  - Seguro
    - controlo de acessos
    - auditoria
    - privacidade...

Sistemas Operativos - 2021/2022

208

.208

## Objectivos (3)

- Acesso
  - Rápido (alguns exemplos de “bom-senso”)
    - Evitar dispersão de blocos pelo disco => cuidado na alocação, usando por exemplo
      - os “cylinder groups” do BSD, “file extents” do JFS e XFS
      - “hot file clustering” e desfragmentação “on-the-fly” do Mac OS X
    - Uso de caches (em disco e RAM) e delayed write => **CUIDADO!**
    - Directórias
      - Podem ter milhares de entradas (eg. e-mail!)
      - Procura sequencial? Binária? B-trees?

Sistemas Operativos - 2021/2022

209

.209

## Objectivos (4)

- Acesso rápido
  - **Escalonamento de pedidos de transferência do disco** para minimizar movimentos do braço
    - A ideia é reduzir o tempo médio de acesso a disco
    - Como de costume, ao alterar a ordem de serviço, atrasa alguns pedidos em benefício de outros...
  - Recorde as várias estratégias:
    - FIFO, SSTF, SCAN, C-SCAN...
    - Consegue imaginar os algoritmos?

Sistemas Operativos - 2021/2022

210

.210

## E se um disco tem uma avaria?



Sistemas Operativos - 2021/2022

211

.211

## RAID

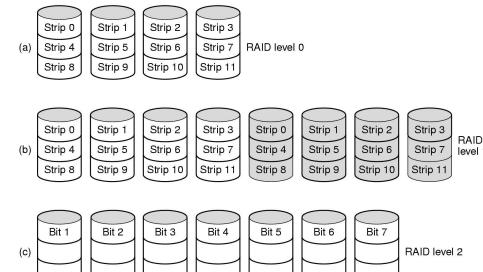
- Redundant Arrays of Inexpensive Disks
  - Pesquise no google por “Raid-1 Raid-5 primer”
- Objectivos:
  - Desempenho
  - Disponibilidade
    - Tolerância a faltas nos discos (depende do tipo de RAID)
    - Não resolve ficheiros apagados, virus, bugs, etc
      - Continua a precisar de BACKUPs!!

Sistemas Operativos - 2021/2022

212

.212

## Sistemas RAID

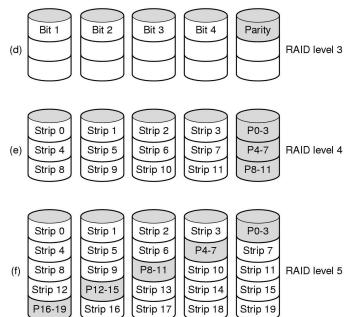


Sistemas Operativos - 2021/2022

213

.213

## Sistemas RAID



Sistemas Operativos - 2021/2022

214

.214

## Sistemas RAID

RAID LEVEL 0 : Striped Disk Array without Fault Tolerance



Copyright © 1996 - 2004 Advanced Computer & Network Corporation. All Rights Reserved.

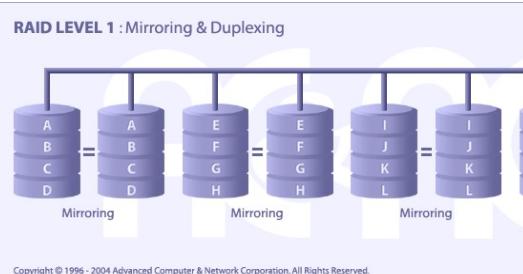
**A&NC**  
[www.acnc.com](http://www.acnc.com)

Sistemas Operativos - 2021/2022

215

.215

## Sistemas RAID



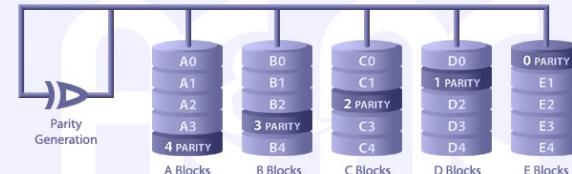
Sistemas Operativos - 2021/2022

216

.216

## Sistemas RAID

**RAID LEVEL 5 :Independent Data Disks with Distributed Parity Blocks**



Sistemas Operativos - 2021/2022

217

.217

E se há um *crash* do sistema?



Sistemas Operativos - 2021/2022

218

.218

## Log-structured File Systems

- Devido à existência de caches em memória, e a necessidade de várias escritas em disco, há hipótese da informação ficar incoerente após crash => corrupção do SF
- FSCK pode demorar muito tempo pois tem de testar todos os meta-dados (faça man fsck e imagine os algoritmos)
  - **inaceitável** em certos cenários
- É preciso que o sistema de ficheiros **recupere depressa**

**Solução?**

Sistemas Operativos - 2021/2022

219

.219

## Log-structured File Systems

- A solução passa por utilizar as “boas práticas” dos sistemas de gestão de Bases de Dados...
- SGBDs há muito utilizam Logs para garantir as propriedades ACID (aqui interessa em particular a Atomicidade)
  - SGBD escrevem no Log operações e dados
  - FS tendem a escrever apenas meta-dados (i-nodes, free block allocation maps, i-nodes maps, etc.)

Sistemas Operativos - 2021/2022

220

.220

## Estudo de casos

- MS-DOS
  - Baseado em FATs
    - File Allocation Tables indicam blocos ocupados por cada ficheiro e ainda os blocos livres na partição
    - Entrada na directória indica o primeiro bloco do ficheiro. Para localizar o seguinte é preciso seguir a FAT
    - Dimensão da FAT ? Pode obrigar a overlays de partes da FAT
    - Duplicação de FATs para tolerar corrupção

Sistemas Operativos - 2021/2022

222

.222

## Log-structured File Systems

- Os sistemas de ficheiros baseados em “diário” (Log) mantêm um registo (log) das operações de actualização do SF.
  - As transacções são registadas no Log
  - Em background, as operações indicadas no Log são executadas sobre o sistema de ficheiros e a transacção marcada como committed. Em caso de crash, reexecuta-se apenas o log não completado
  - Checkpointing pode atrasar aplicações
  - Numa leitura, se o bloco pretendido não tiver sido alvo de “checkpoint” há que consultar o log => atraso.

Sistemas Operativos - 2021/2022

221

.221

## Estudo de casos

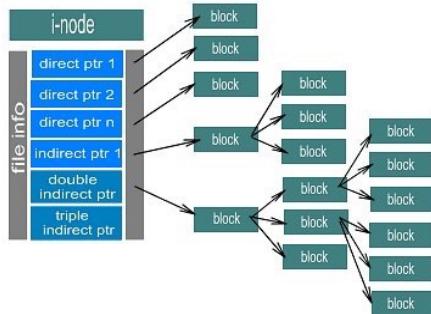
- Unix
  - Directórias + I-nodes + data blocks
  - Directórias
    - São ficheiros especiais que fazem a associação nome / i-node
  - I-nodes contêm restantes atributos dos ficheiros, incluindo permissões (ugo), datas e localização dos blocos (até 3 níveis de indirecção)

Sistemas Operativos - 2021/2022

223

.223

## Estudo de casos

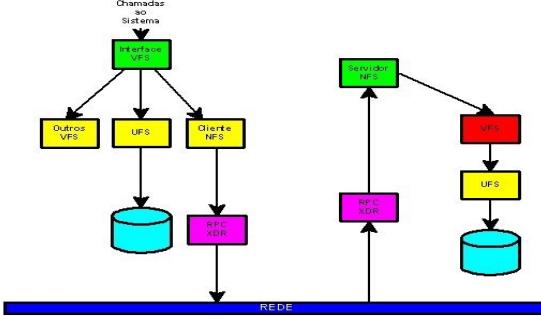


Sistemas Operativos - 2021/2022

224

.224

## Network File System (NFS)



Sistemas Operativos - 2021/2022

225

.225

## E ainda...

- Extent-based file systems
- Parallel File Systems
- Distributed File Systems
- Storage Area Networks
- ...

Sistemas Operativos - 2021/2022

226

.226

## O “estado-da-arte”

- Perquise no Google por Ext3, XFS, JFS, NTFS, Coda...
- Ou passe algum tempo em  
<http://www.aspsys.com/software/links.aspx/14.aspx>
- Se o tempo é limitado, recomenda-se a leitura de
  - **Reiser FS** (<http://www.namesys.com/>)

Sistemas Operativos - 2021/2022

227

.227

## Backups

- Assegure-se que percebe a diferença entre
  - Backup
  - Redundância nos discos, por exemplo Raid-1(mirroring) ou Raid-5
- Backups
  - Para onde? Quando? Que garantias de integridade?

**FIM**