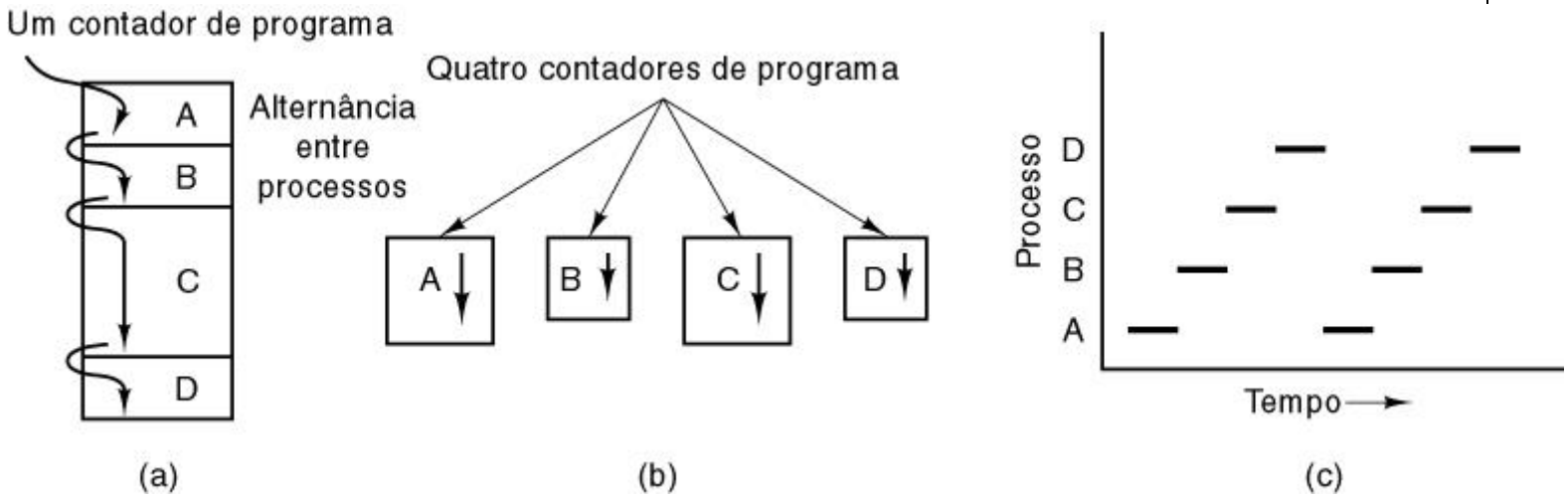
# Sistemas de Computação

## Processos e Escalonamento de Processos

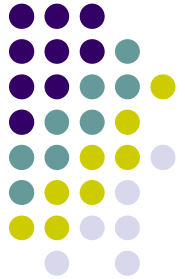
# Processos

## O Modelo de Processo




- Considere a multiprogramação de 4 programas:
  a) O contador de programa (PC) alternadamente assume endereços de cada programa
  b) Conceitualmente são 4 processos sequenciais independentes
  c) Somente um programa está ativo a cada momento

# Criação de Processos

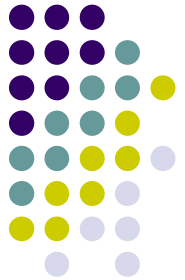


Um sistema pode executar uma conjunto muito grande de processos simultâneos/concorrentes.

Principais eventos que levam à criação de processos:

1. Ao iniciar o sistema operacional
2. Um processo pai cria um novo processo (chamada fork())
    - Usuário executa comando/ inicia programa através da shell
    - Início de um programa e em momento pré-determinado (através do cron daemon)

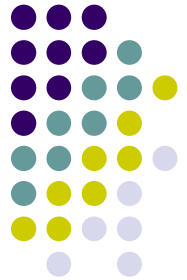
# Término de Processos



Condições que levam ao término de processos:

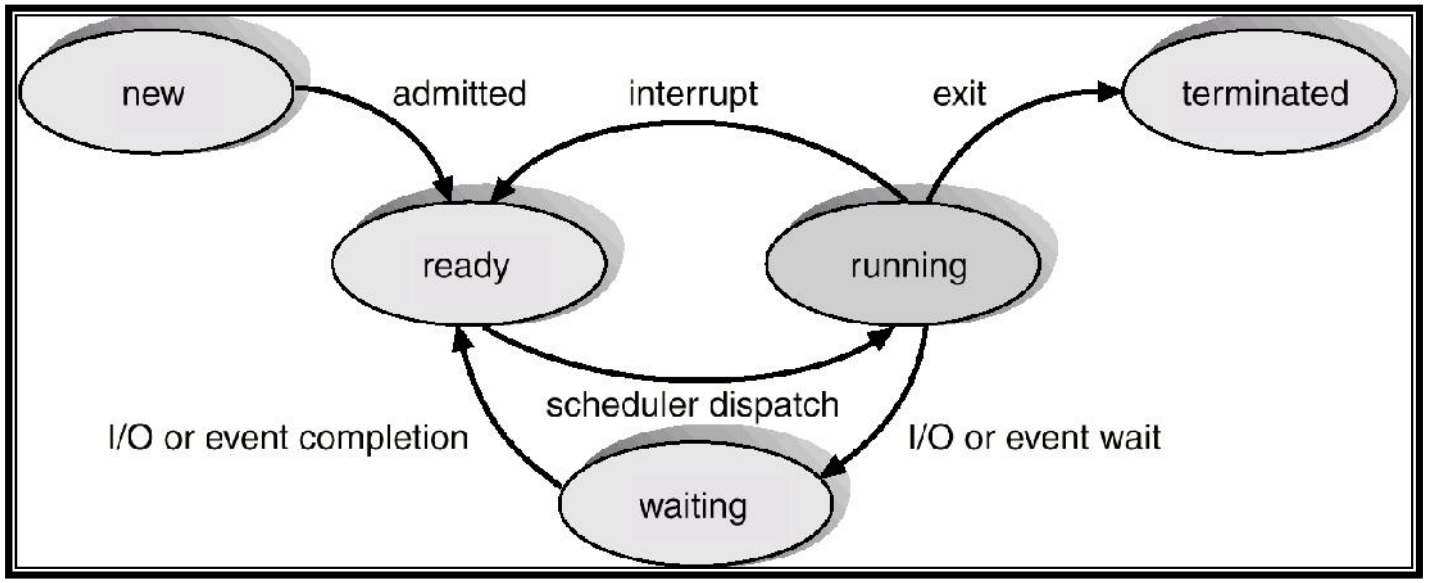
1. Saída normal (voluntária)
2. Saída por erro (voluntária)
3. Erro fatal (involuntário)
4. Cancelamento por um outro processo (involuntário), através de um sinal.

# Hierarquias de Processos



- Processo pai cria um processo filho, processo filho pode criar seu próprio processo filho, etc.
- Forma-se uma hierarquia de processos
  - UNIX chama isso de “grupo de processos”
- Windows não possui o conceito de hierarquia de processos
  - Todos os processos são criados no mesmo nível

# Estados de Processos




- Ao longo de sua execução, um processo pode assumir , os seguintes estados:
  - **new**: processo foi criado.
  - **running**: instruções sendo executadas.
  - **waiting**: Processo aguarda a ocorrência de algum sinal/interrupção.
  - **ready**: Processo aguarda alocação do processador.
  - **terminated**: Processo terminou a sua execução.

# Implementação de Processos

A cada processo estão associadas informações sobre o seu estado de execução (o seu *contexto de execução*),

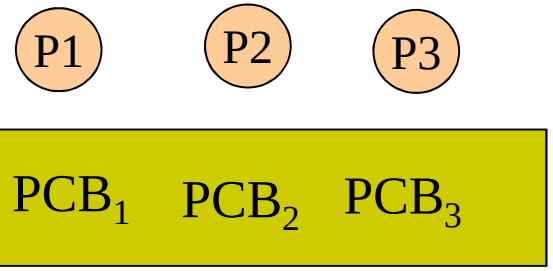
Estas ficam armazenadas em uma entrada da Tabela de Processos (ou Process Control Block)

| **Gerenciamento de processos** | **Gerenciamento de memória** | **Gerenciamento de arquivos** |
|---|---|---|
| Registradores | Ponteiro para o segmento de código | Diretório-raiz |
| Contador de programa | Ponteiro para o segmento de dados | Diretório de trabalho |
| Palavra de estado do programa | Ponteiro para o segmento de pilha | Descritores de arquivos |
| Ponteiro de pilha | | Identificador (ID) do usuário |
| Estado do processo | | Identificador (ID) do grupo |
| Prioridade | | |
| Parâmetros de escalonamento | | |
| Identificador (ID) do processo | | |
| Processo pai | | |
| Grupo do processo | | |
| Sinais | | |
| Momento em que o processo iniciou | | |
| Tempo usado da CPU | | |
| Tempo de CPU do filho | | |
| Momento do próximo alarme | | |



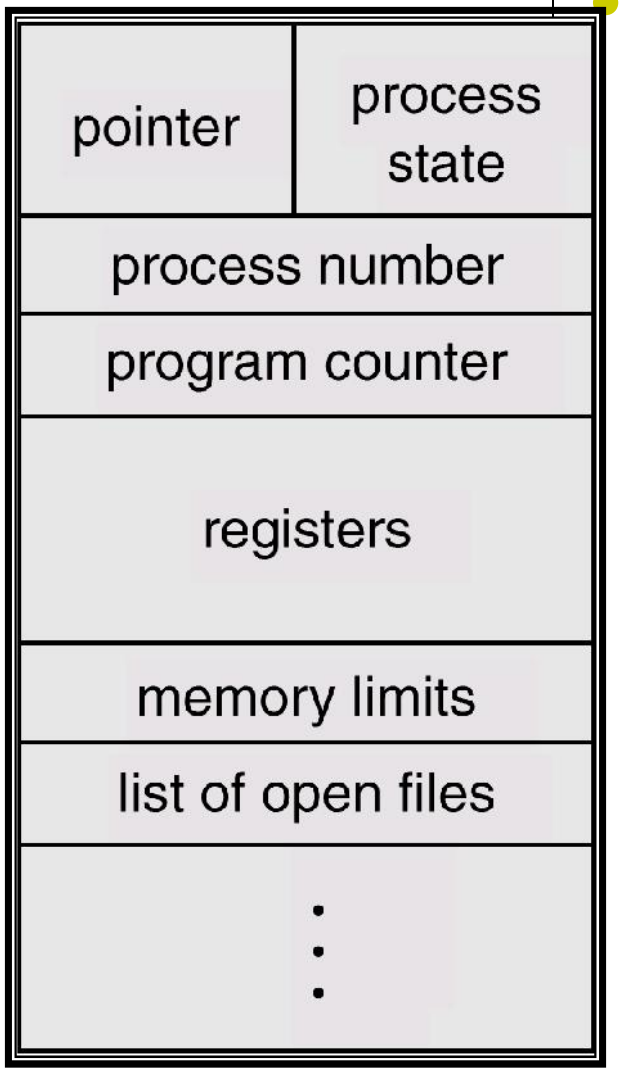
Fig.: Campos da entrada de uma tabela de processos

# Process Control Block (PCB)

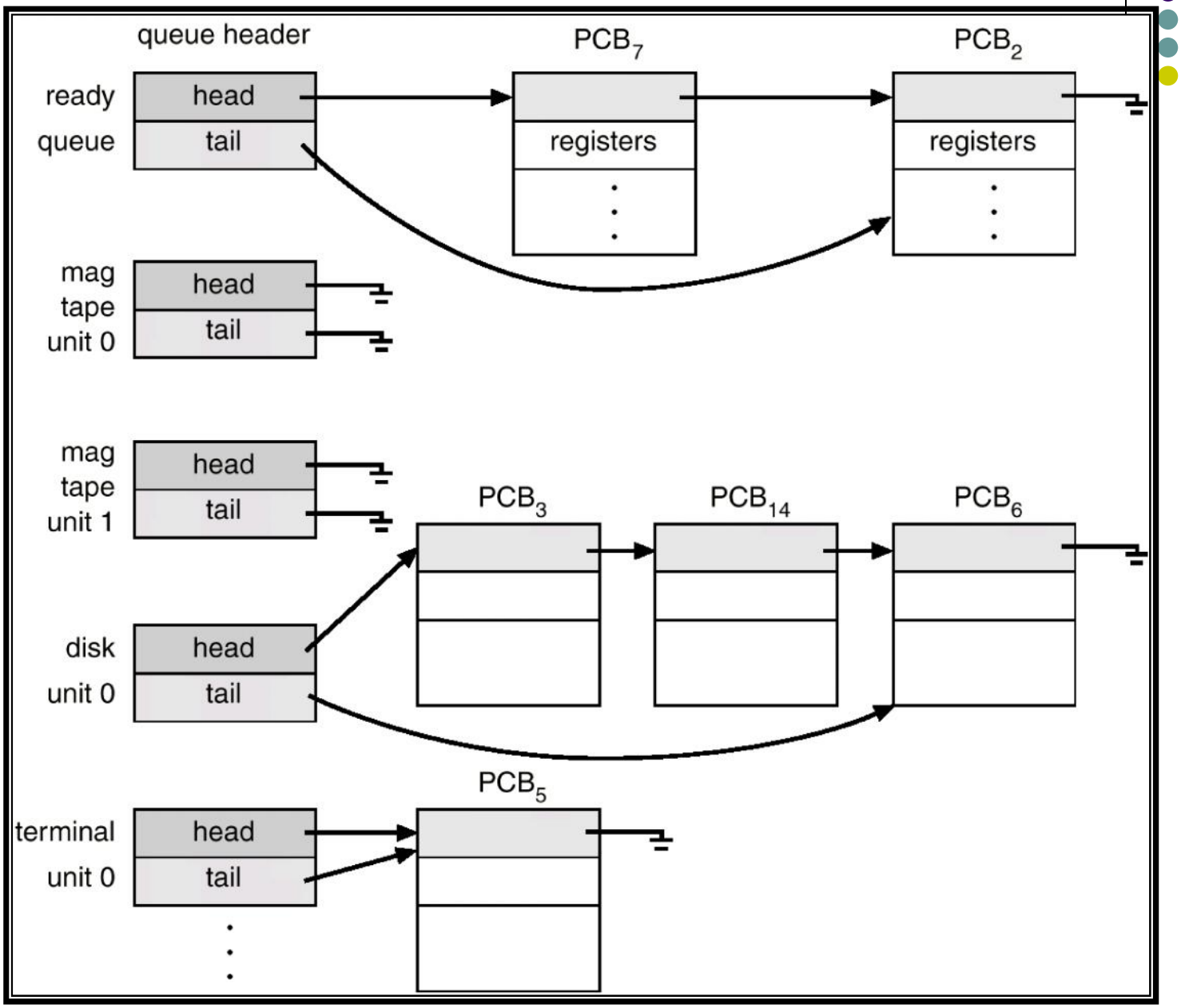



PCB é a representação de um processo no núcleo.
Pode ser uma entrada na *Tabela de Processos* ou um elemento na lista de processos.

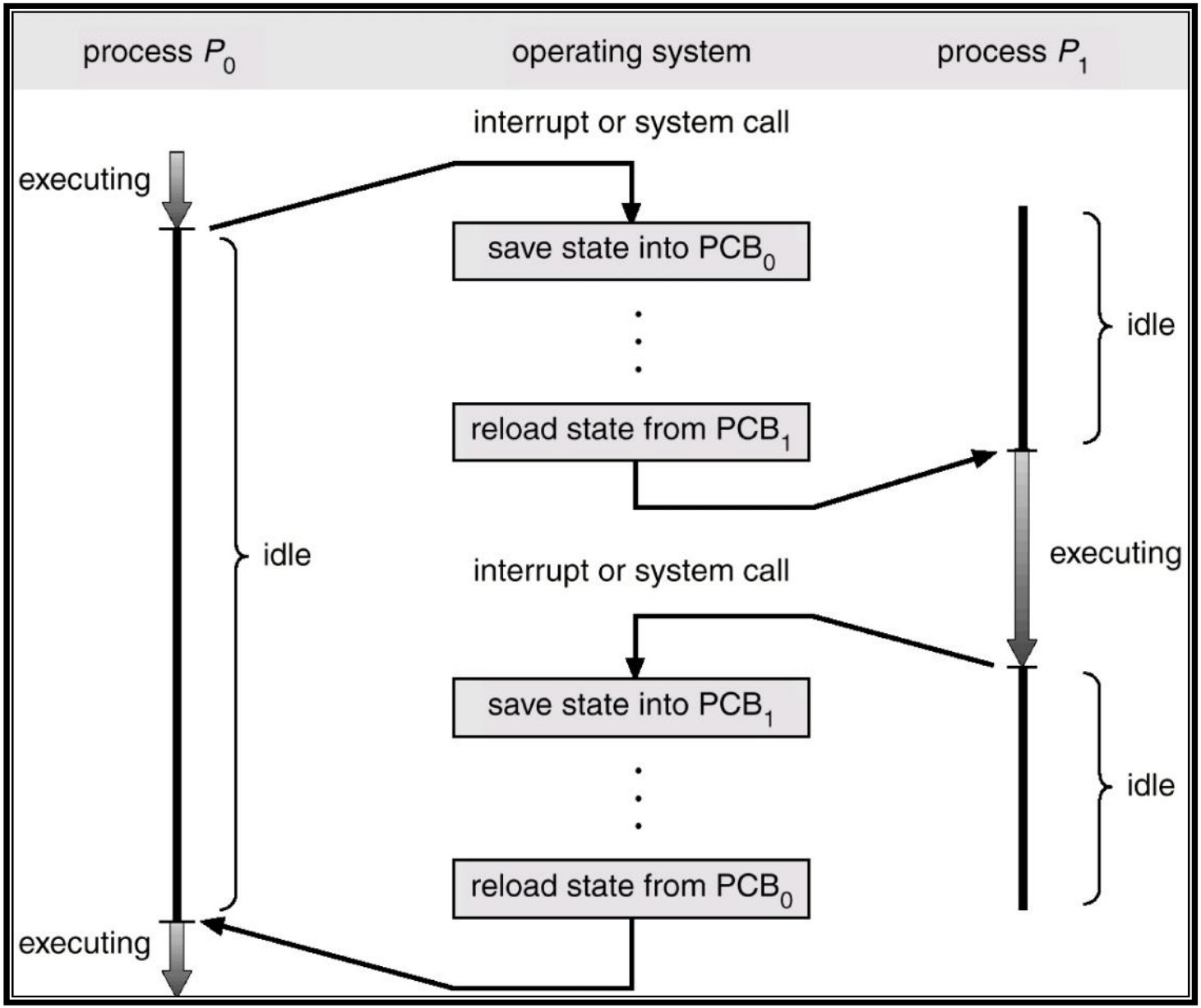
Para ser capaz de reiniciar um processo interrompido (ou esperando) o estado em que deixou a CPU precisa ser restaurado



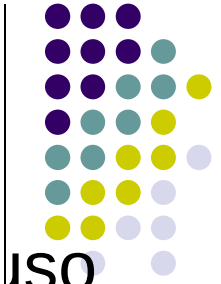
# Fila dos prontos e de espera por E/S



# Troca de Contexto

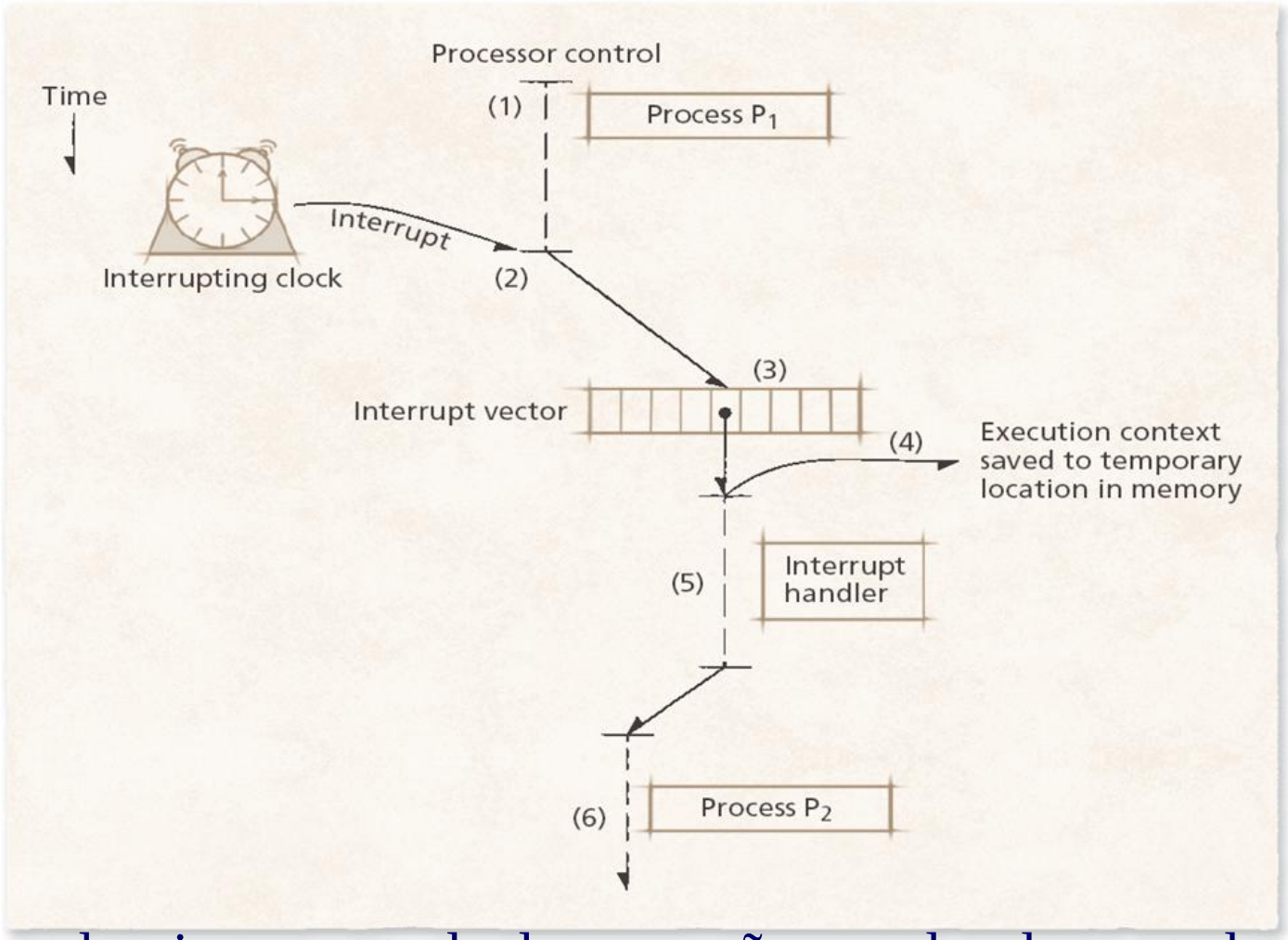


# Troca de Contexto



- Consiste de salvar o estado dos recursos em uso (especialmente CPU) do processo interrompido na tabela de processos, e carregar a CPU com um novo estado (PC, registradores, stack pointer, PSW, etc.)
- Esta troca precisa ser:
  - Completa e consistente
  - Eficiente
- O núcleo não pode ser interrompido durante o processo
  - Precisa-se garantir a atomicidade da operação
- Realizado por um tratador de interrupção genérico, tratador de interrução de primeiro nível

# Tratamento de Interrupções




- Para desviar o controle de execução, o valor do contador de programa (PC) da CPU precisa ser trocado.
- Isso é feito pelo HW ao receber uma interrupção

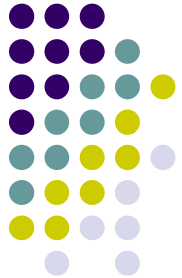
# Interrupções vs. Exceções

O conjunto de interrupções depende da arquitetura do sistema.

A especificação da Intel Architecture IA-32 distingue dois tipos de sinais que um processador pode receber:

- Interrupções
  - Notificam o processador que um evento ocorreu, e/ou que o estado de um recurso (p.ex. dispositivo de E/S )mudou
  - Gerado por um dispositivo externo ao processador
- Exceção
  - Indica a ocorrência de um erro, de hardware ou causado por uma instrução sendo executada
  - Classificados como faults, traps ou aborts

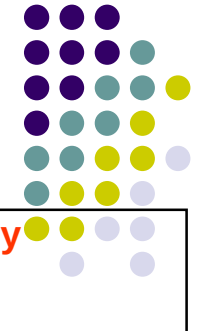
# Tipos de Interrupções



**Tipos de interrupção reconhecidos pela Intel Architecture IA-32:**

| Tipo | Descrição para cada tipo |
|---|---|
| I/O | Iniciados pelo HW, notificam o processador de que o estado do dispositivo de E/S mudou (p.ex. E/S finalizada) |
| Timer | Evento periódico para agendamento de ações e/ou monitoramento de desempenho |
| Inter-CPU | Em sistemas multi-processados, para comunicação e sincronização entre processadores |

# Tratamento de Interrupções



Dispositivo -> I/O Interrupt

Segmentation Fault -> Error

System Call -> Trap

send message -> Trap

Clock Interrupt

First Level Int. Handler (FLIH), em Assembly

- desabilita interrupções
- salva contexto em tabela de processos/PCB
- Cria nova pilha temporária no kernel
- carrega no PC o end. do Vetor de Interrupções
- habilita interrupções

Tratador de interrupção específico():

- trata a interrupção (p.ex. Escreve/le dados de buffer do driver)
- se algum processo foi desbloqueado então
- retorna

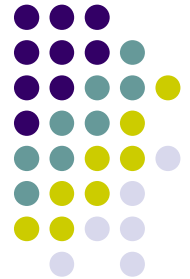
Scheduler():

- insere o processo desbloqueado na fila de prontos q
- Escolhe próximo processo
- retorna

Dispatcher, em Assembly:

- desabilita interrupções
- carrega o contexto na CPU & mapeamento de memória do processo a ser executado
- habilita interrupções

# Tratamento de Interrupções



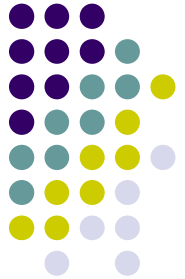
Esqueleto do que o nível mais baixo do SO faz quando ocorre uma interrupção

1. O hardware empilha o contador de programa etc.
2. O hardware carrega o novo contador de programa a partir do vetor de interrupção.
3. O procedimento em linguagem de montagem salva os registradores.
4. O procedimento em linguagem de montagem configura uma nova pilha.
5. O serviço de interrupção em C executa (em geral lê e armazena temporariamente a entrada).
6. O escalonador decide qual processo é o próximo a executar.
7. O procedimento em C retorna para o código em linguagem de montagem.
8. O procedimento em linguagem de montagem inicia o novo processo atual.

Vetor de Interrupção:

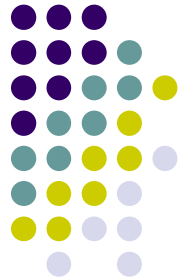
- Localizado em endereço baixo de memória (núcleo)
- Uma entrada para cada tipo de interrupção (trap, clock, E/S) e cada tipo de dispositivo floppy, HD, teclado, mouse, etc.)
- Cada entrada contém endereço para um procedimento tratador da interrupção (tratamento do serviço da interrupção)

# Escalonamento



- A cada instante um ou mais processos podem estar no estado *pronto*, e.g.:
  - Processos do sistema e de usuários
  - Processos de vários usuários (sistema time-sharing)
  - Mix de processos interativos e batch (simulação, folha de pagamento)
- Escalonador é responsável por gerenciar a fila de prontos, e escolher qual dos processos prontos vai ser o próximo a usar CPU

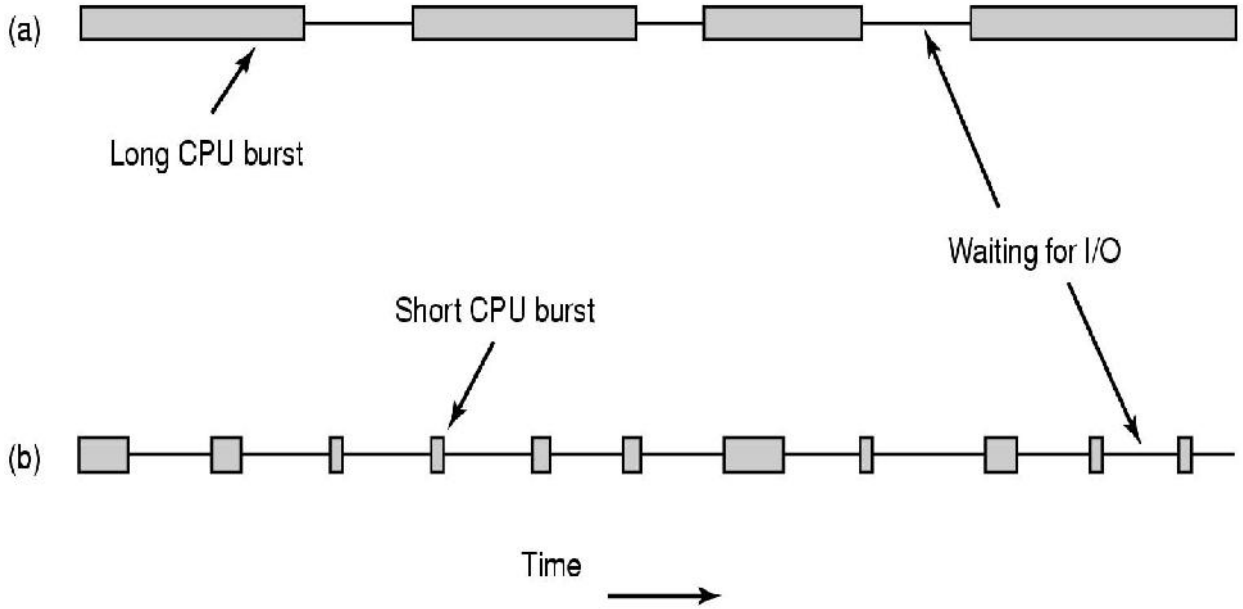
# Escalonamento



- O algoritmo poderá lidar com objetivos conflitantes, por exemplo:
  - Garantir justiça (*fairness*): cada processo ganha fatia igual da CPU
  - Aumentar eficiência:  manter utilização de CPU alta (próxima a 100%)
  - Minimizar tempo de resposta (para processos interativos)
  - Minimizar de tempo de retorno ($\Delta$t entre início-fim de processos batch)
  - Maximizar taxa de saída: número de processos processados por unidade de tempo
- Sempre que se beneficia uma classe de processos, prejudica-se as outras classes.

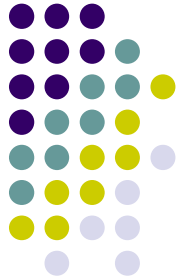
# Escalonamento

- A política de escalonamento deve ser independente do mecanismo (carregamento da CPU com um contexto)
- Têm parâmetros que precisam ser ajustados para:
  - maximizar a “satisfação geral” dos usuários e
  - garantir execução mais eficiente das tarefas essenciais ao sistema




Principal problema : o comportamento futuro de um processo não é previsível (fases de uso intensivo da CPU e fases de E/S frequente)

# Escalonamento



1. Escalonamento de longo prazo
   - ao ser criado, processo vai para fila dos prontos
   - questão: quando isso é feito e em qual posição ele entra?
2. “dispatching” ou curto prazo
   - escolhe um dos processos da(s) lista(s) de prontos para executar

Usa-se o termo *escalonamento* para ambos

# Formas de implementar o escalonador

- “embutido” na execução do processo
  - Ao final do tratamento da interrupção, o procedimento para escalonamento é chamado
  - Executa como parte do fluxo de controle do processo que estava em execução
- “autônomo”
  - Executa como um processo independente
  - Pode estar dedicado a uma CPU em uma arquitetura multi-core
  - Em máquinas com 1 processador, é executado uma vez a cada *quantum* de tempo
  - Há uma alternância entre o processo escalonador e os demais processos

# Tipos de Escalonamento

Com relação:

- ao momento da invocação do escalonador:
  - **preemptivo**: processo corrente é interrompido (por exemplo, após ter decorrido *quantum* de tempo) e escalonador escolhe outro processo para executar
  - **não-preemptivo**: escalonador só é chamado quando processo termina ou é bloqueado
- ao método de seleção do processo mais prioritário:
  - Uso da função P = Priority(p)
  - Regra de desempate (para processos de mesma prioridade)
    - Escolha randômica
    - Cronológica (FIFO)
    - Cíclica (*Round Robin*)

# Escalonamento por prioridade

- Função de prioridade retorna valor P para processo p:

  P = Priority(p)

  - Prioridade estática: não muda ao longo da execução de p;
  - Prioridade dinâmica: muda em tempo de execução

- Prioridades separam todos os processos em níveis:
  - Implementado através de “filas de prontos” multi-nível (e.g. várias *Ready Lists* – RLs)
  - p @ RL[i] executa antes de q @ RL[j] se priority(i) > priority(j)
  - p, q no mesmo nível são ordenados usando outro critério

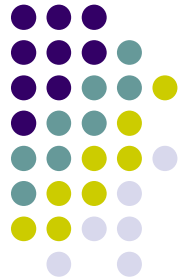
# Algoritmo geral para um escalonador preemptivo para multi-processador

```
Scheduler() {
 do { // some CPU is idle
  Find highest priority ready_a process p;
  Find a free cpu;
  if (cpu != NIL) Allocate_CPU(p,cpu);
 } while (cpu != NIL);

do {  // all CPUs are in use
  Find highest priority ready_a process p;
  Find lowest priority running process q;
  if (Priority(p) > Priority(q)) Preempt(p,q);
 } while (Priority(p) > Priority(q));

 if (self->Status.Type!='running') Preempt(p,self);
}
```

# Parâmetros típicos da Função Prioridade



- Internos (do sistema)
  - Tipo do processo (sistema vs usuário)
  - Quantidade de memória necessária
  - *Tempo total de CPU requisitado*
  - *Tempo de serviço obtido / alcançado*
  - *Tempo total de permanência no sistema*
- Externos
  - *Prazo para término de ação (Deadline)*
  - *Prioridade do usuário:* root vs normal (função na empresa, valor desembolsado)

# First In First Out (FIFO)

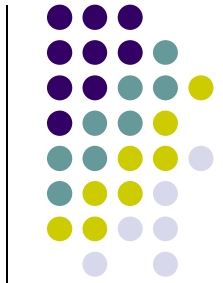
## *Execução por ordem de chegada*

| Job | Tempo de CPU |
|---|---|
| A | 8 |
| B | 1 |
| C | 1 |

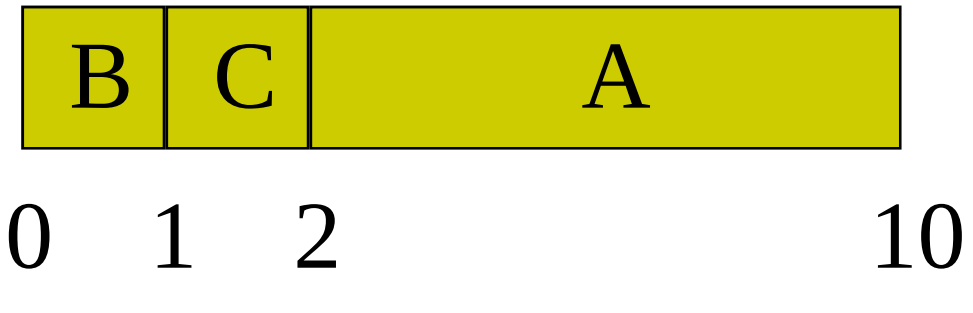

0 8 9 10

Tempo médio de espera (0 + 8 + 9) / 3 = 5.7

# Shortest Job First (SJF)



| Job | Tempo de CPU |
|---|---|
| A | 8 |
| B | 1 |
| C | 1 |

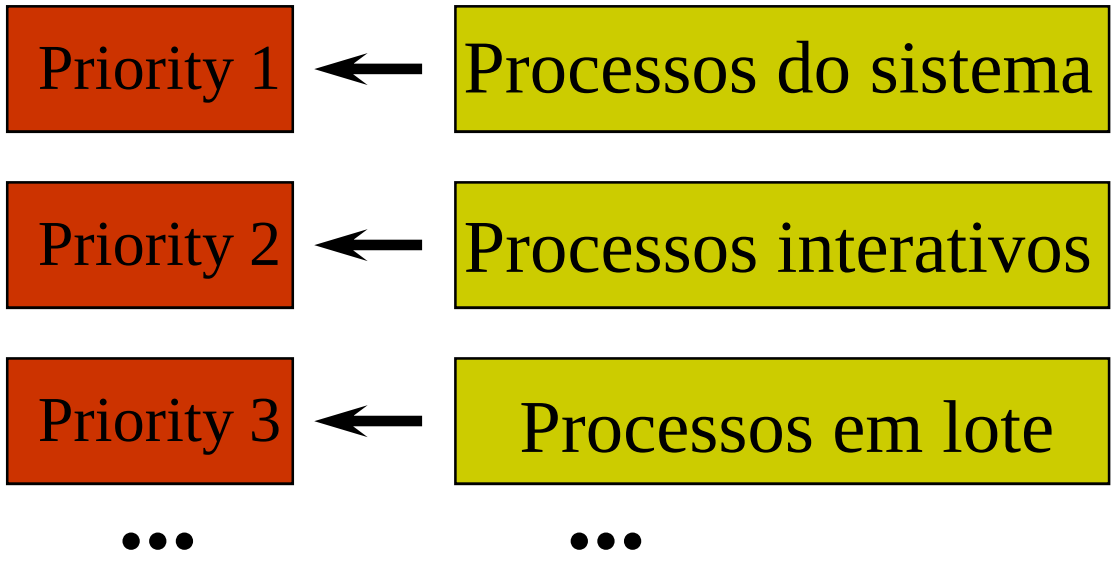



Tempo médio de espera ótimo:

(0 + 1 + 2) / 3 = 1

# Escalonamento com múltiplas filas (ML- múltiplos níveis)

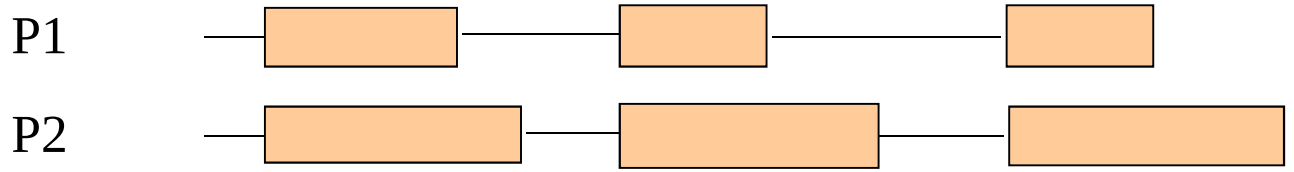
- Para sistemas com mix de processos interativos e em lote
- Processos são classificados segundo prioridade, e cada classe tem sua própria fila de prontos.




- Executa todos de prioridade 1, depois 2, …
- Para evitar o *problema de inanição* (alguns processos nunca ganham a vez), pode-se definir períodos de tempo máximos para cada categoria: por exemplo, 70% para 1, 20% para 2, …

# Múltiplas Filas (ML)
# Princípio Geral

No ML adaptou-se SJF para processos interativos, considerando o tempo efetivo de CPU entre requisições de E/S




Principal problema: como descobrir qual dos processos prontos requisitará a CPU por menor período de tempo.

Princípio adotado: *Estimar a próxima fatia de tempo necessária, olhando para o passado*.

Exemplo: Seja T0 a estimativa de tempo de uso de CPU e T1 o tempo de CPU efetivamente utilizado da última vez. Então, a estimativa para a próxima vez, T2, deveria ser ajustada.

$$T2 = \alpha * T1 + (1-\alpha) * T0.$$

Se $\alpha > 0.5$ dá-se mais importância para o comportamento mais recente, e $\alpha < 0.5$ maior importância para o comportamento passado

# Algoritmos de escalonamento (MLF)

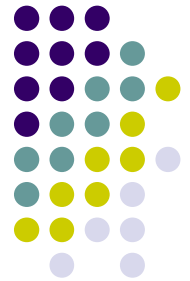
Multiplos níveis com feedback - MLF (Multi-level with feedback):

- Similar ao ML, mas com uma prioridade que muda dinamicamente
- Todo processo começa no nível mais alto n
- Cada nível P prescreve em um tempo máximo $t_P$
- $t_P$ aumenta à medida que P diminui
- geralmente:

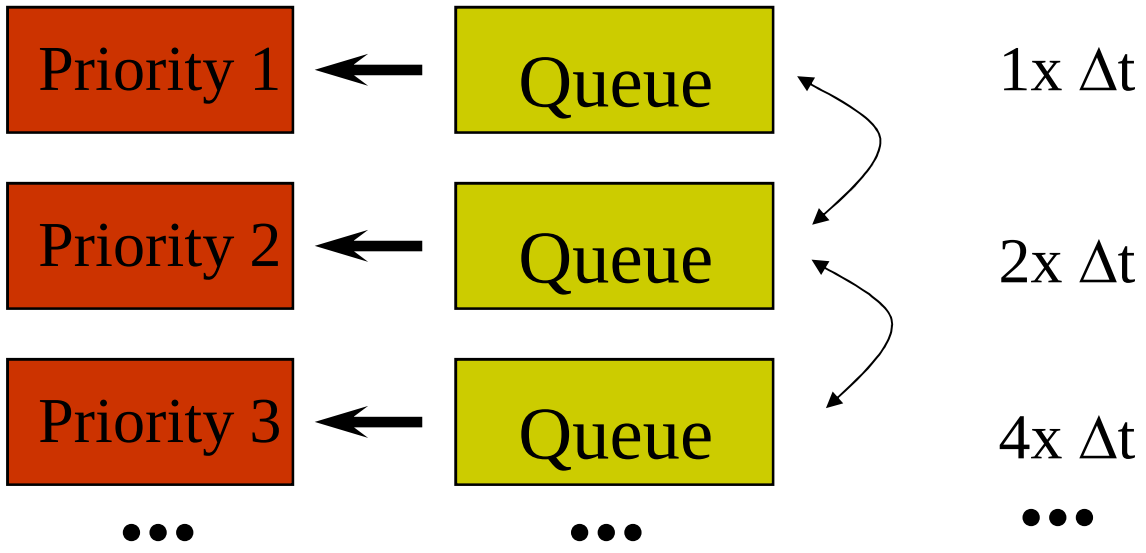
  $t_n = \Delta t$ (constante)

  $t_P = 2 \times t_{P+1}$

# Filas em múltiplos níveis com feedback (MLF)



Idéia: Maior prioridade para processos que precisam de fatia (ou *quantum*) de tempo ($\Delta t$) menor. Se um processo repetidamente gasta todo seu quantum $\Delta t$, passa para prioridade mais baixa.




- Problema: processos longos, p.ex. que precisam de 100x $\Delta t$
  - Percorrem 7 prioridades: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64
- Grande vantagem para processos com alta frequência de E/S

# Outras políticas de escalonamento

**Escalonamento garantido**

- cada um dos n usuários recebe aproximadamente 1/n dos ciclos de CPU
- Muito simples, só é feito para processos do usuário (e não de sistema)

**Escalonamento por sorteio** (*lottery scheduling*)

- Sorteio *quase* aleatório de procesos (todos ou em cada nível de prioridade)
- Vantagem: simplicidade e distribuição uniforme de valores sorteados geralmente garante igualdade de chances
- Para garantir justiça, impõe-se um limite no número de vezes que um processo pode ser sorteado em determinado período

# Perguntas?