Deadlock

Um problema de concorrência

Parte dos slides: Sistemas Operacionais Modernos – 2ª Edição, Pearson Education

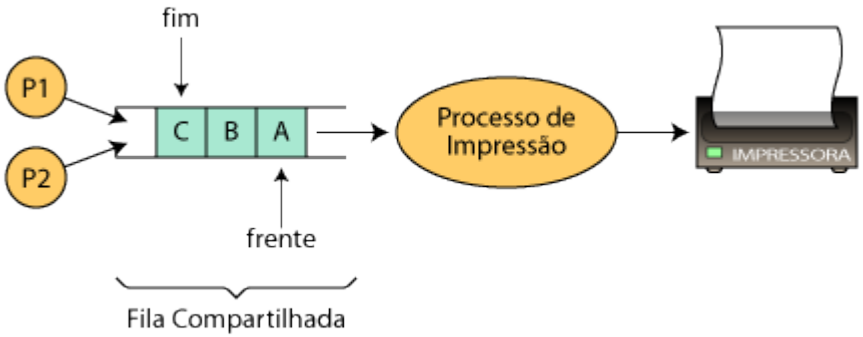
Interação entre Processos

- Processos que executam em paralelo podem trocar informações entre si
- Níveis de interação (concorrência):
  - **Processos Independentes**: Não existe troca de informações
  - **Processos Cooperativos** (Comunicativos): Um processo produz informações utilizadas por outros processos
    - Exemplo: *Shell Pipes* (ls || more)
  - **Processos Competitivos**: Vários processos competem pelo uso do mesmo recurso
    - Exemplo: Um tocador de CD e outro de MP3 rodando em paralelo

Comunicação entre Processos
Condições de Corrida

Exemplo: Fila de impressão

- Qualquer processo que queira imprimir precisa colocar o seu documento na fila de impressão (compartilhada)
- O processo de impressão retira os documentos na ordem em que chegaram na fila enviando-os à impressora



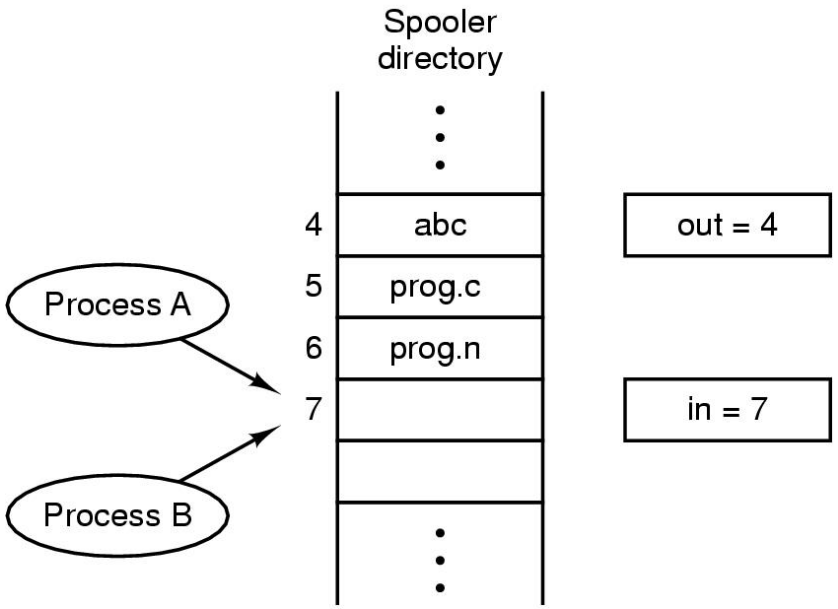
- Se a fila é compartilhada, isto significa que seus dados, assim como os indicadores de frente e fim da fila também o são

- Um processo que queira imprimir um documento precisa executar a operação de inserção na fila, que envolve basicamente os seguintes comandos:
  1. `fim++ (incrementa o indicador do fim da fila)`
  2. `coloca documento na posição do novo fim da fila`
- Se dois processos resolvem simultaneamente imprimir um documento e se, por causa do compartilhamento do tempo do processador, o primeiro processo for interrompido (por ter acabado o seu tempo – *quantum*) entre os comandos 1 e 2, então o segundo processo não poderá imprimir seu arquivo (tentou inserir seu documento na fila antes que o primeiro processo tivesse acabado de o fazer), e a fila ficará em um estado inválido
- Lembrando: esta situação se chama "condição de corrida"

http://www.ppgia.pucpr.br/~laplima/aulas/so/materia/processos.html

Comunicação entre Processos
Condições de Corrida

2 processos querendo acessar memória compartilhada ao mesmo tempo.
Quem "chega" primeiro?



- Para evitar as condições de corrida, precisamos implementar algoritmos de exclusão mútua de execução e, para tanto, definimos as regiões críticas do processo

Problemas com Concorrência

- Não-determinismo
- Dependência de Velocidade
- *Starvation*
- *Deadlock*

Recursos (1)

- Exemplos de recursos:
  - Impressoras
  - Tabelas
- Processos precisam de acesso aos recursos numa ordem racional
- Suponha que um processo detenha o recurso A e solicite o recurso B
  - ao mesmo tempo um outro processo detém B e solicita A
  - ambos são bloqueados e assim permanecem

Recursos (2)

- *Deadlocks* ocorrem quando …
  - garante-se aos processos acesso exclusivo aos dispositivos
    - esses dispositivos são normalmente chamados de recursos
- Recursos preemptíveis
  - podem ser retirados de um processo sem quaisquer efeitos prejudiciais
- Recursos não preemptíveis
  - vão induzir o processo a falhar se forem retirados

Recursos (3)

- Sequência de eventos necessários ao uso de um recurso
  1. solicitar o recurso
  2. usar o recurso
  3. liberar o recurso
- Deve esperar se solicitação é negada
  - processo solicitante pode ser bloqueado
  - pode falhar resultando em um código de erro

Introdução aos *Deadlocks*

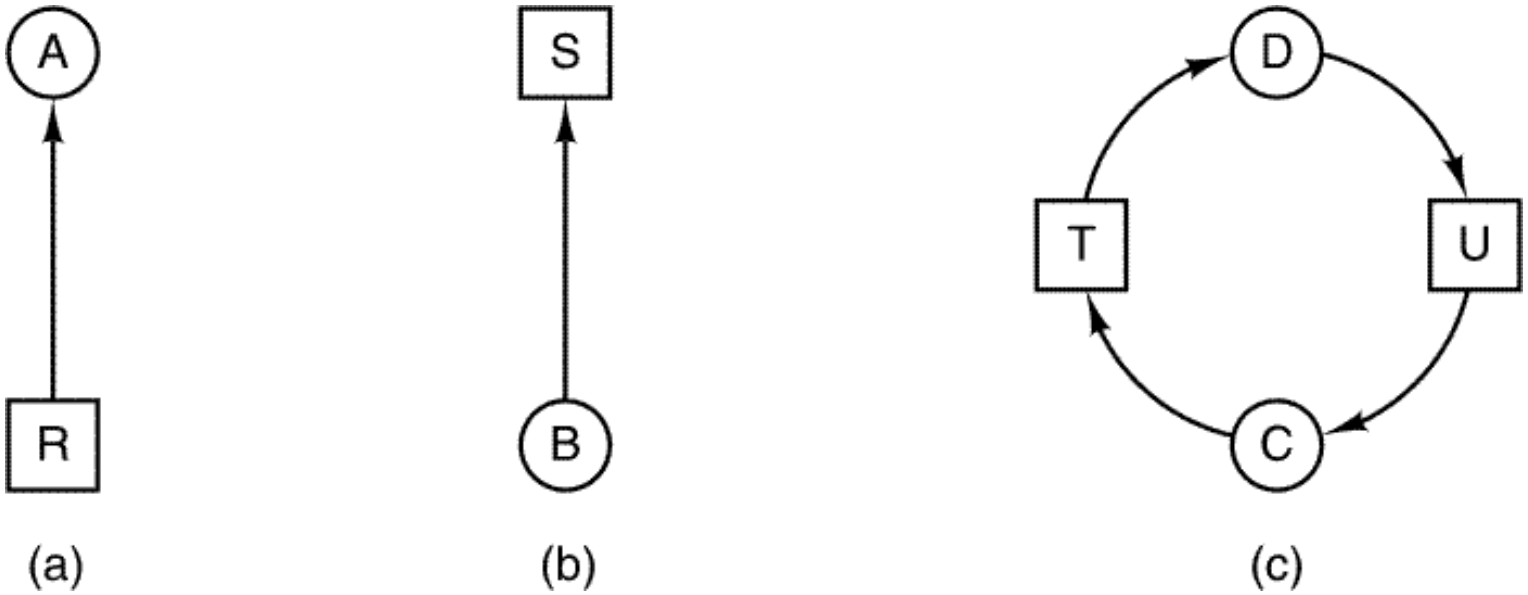
- Definição formal:
  Um conjunto de processos está em situação de deadlock se todo processo pertencente ao conjunto estiver esperando por um evento que somente um outro processo desse mesmo conjunto poderá fazer acontecer
- Normalmente o evento é a liberação de um recurso atualmente retido
- Nenhum dos processos pode...
  - executar
  - liberar recursos
  - ser acordado

Quatro Condições para *Deadlock*

1. Condição de exclusão mútua
   - todo recurso está ou associado a um processo ou disponível
2. Condição de posse e espera
   - processos que retêm recursos podem solicitar novos recursos
3. Condição de não preempção
   - recursos concedidos previamente não podem ser forçosamente tomados
4. Condição de espera circular
   - deve ser uma cadeia circular de 2 ou mais processos
   - cada um está à espera de recurso retido pelo membro seguinte dessa cadeia

Modelagem de *Deadlock* (1)

- Modelado com grafos dirigidos



a) recurso R alocado ao processo A
b) processo B está solicitando/esperando pelo recurso S
c) processos C e D estão em *deadlock* sobre recursos T e U

Modelagem de *Deadlock* (2)

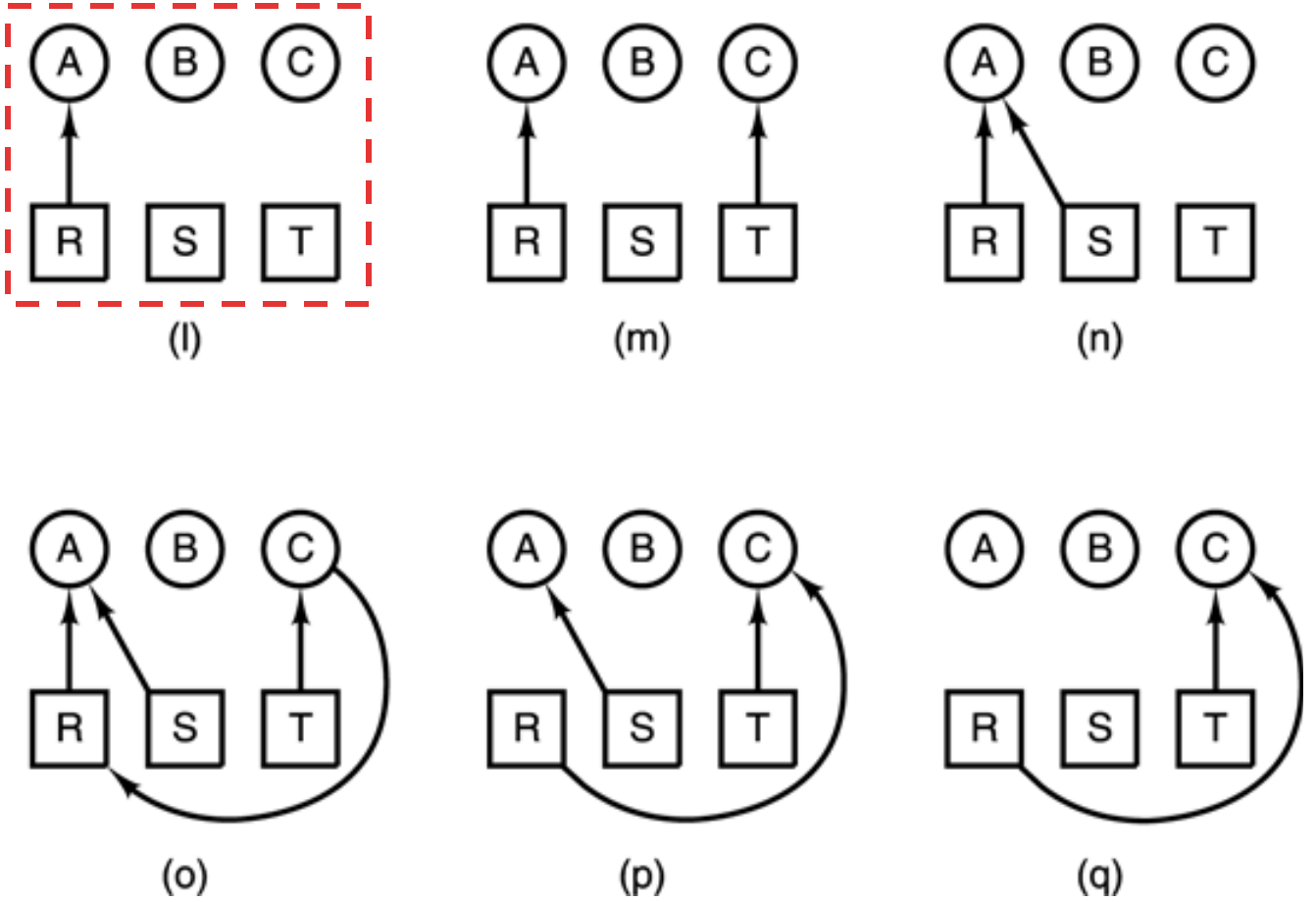
Estratégias para tratar *Deadlocks*

1. ignorar por completo o problema
2. detecção e recuperação
3. evitação dinâmica
   - alocação cuidadosa de recursos
4. prevenção
   - negação de uma das quatro condições necessárias

Modelagem de *Deadlock* (3)

1. A requisita R
2. C requisita T
3. A requisita S
4. C requisita R
5. A libera R
6. A libera S

nenhum deadlock



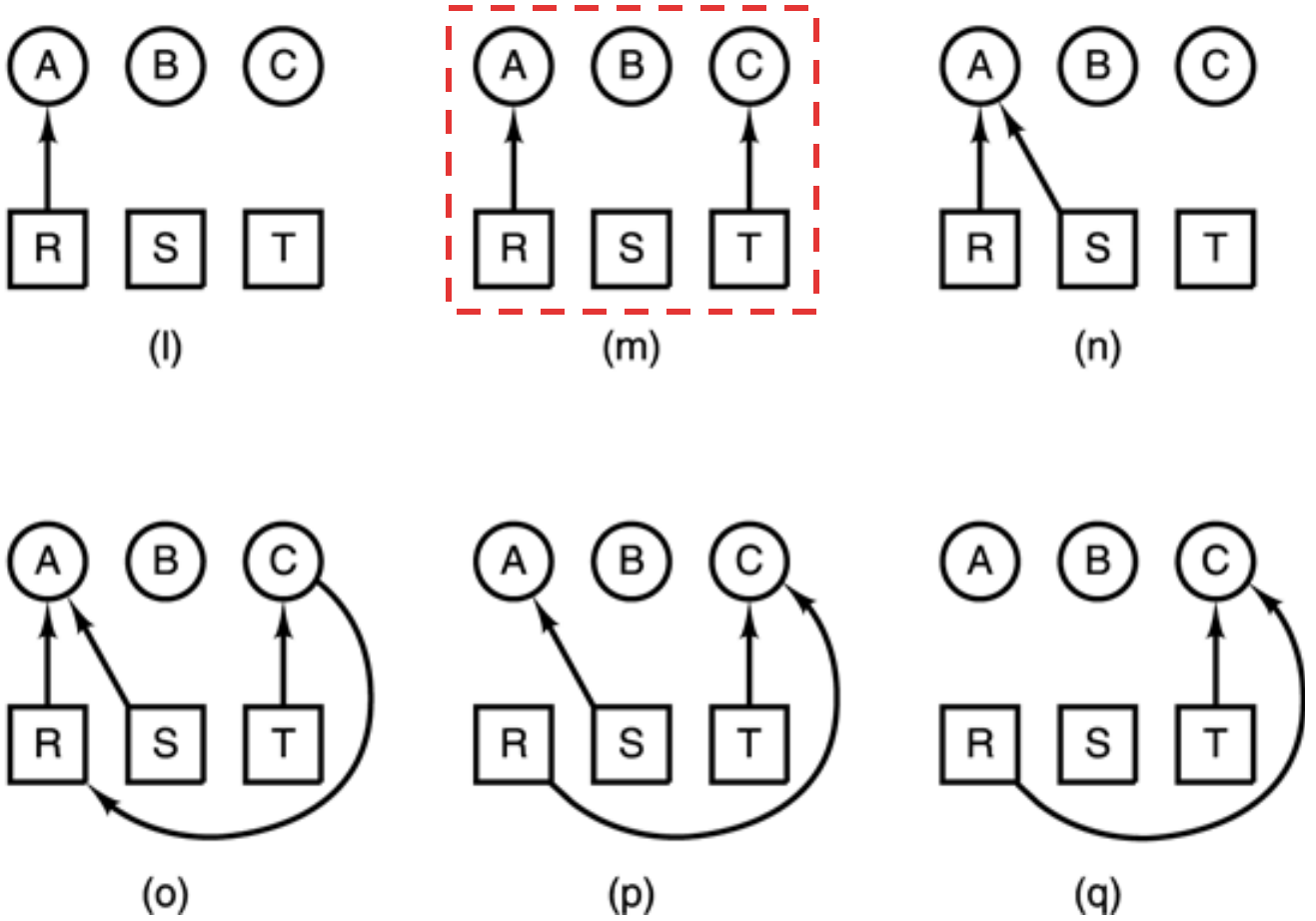
Como pode ser evitado um *deadlock*

Modelagem de *Deadlock* (3)

1. A requisita R
2. C requisita T
3. A requisita S
4. C requisita R
5. A libera R
6. A libera S

nenhum deadlock

(k)



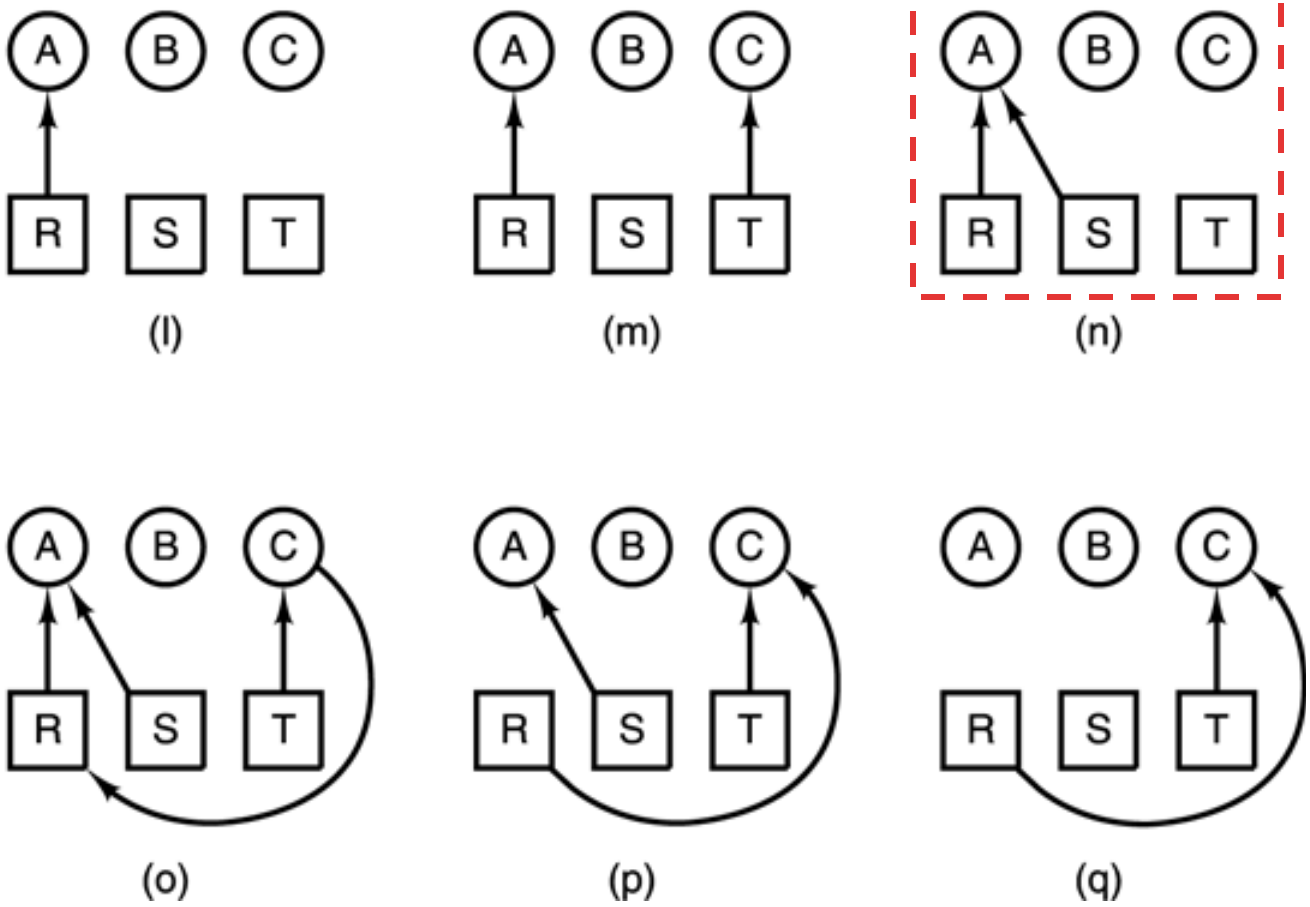
Como pode ser evitado um *deadlock*

Modelagem de *Deadlock* (3)

1. A requisita R
2. C requisita T
3. A requisita S
4. C requisita R
5. A libera R
6. A libera S

nenhum deadlock

(k)

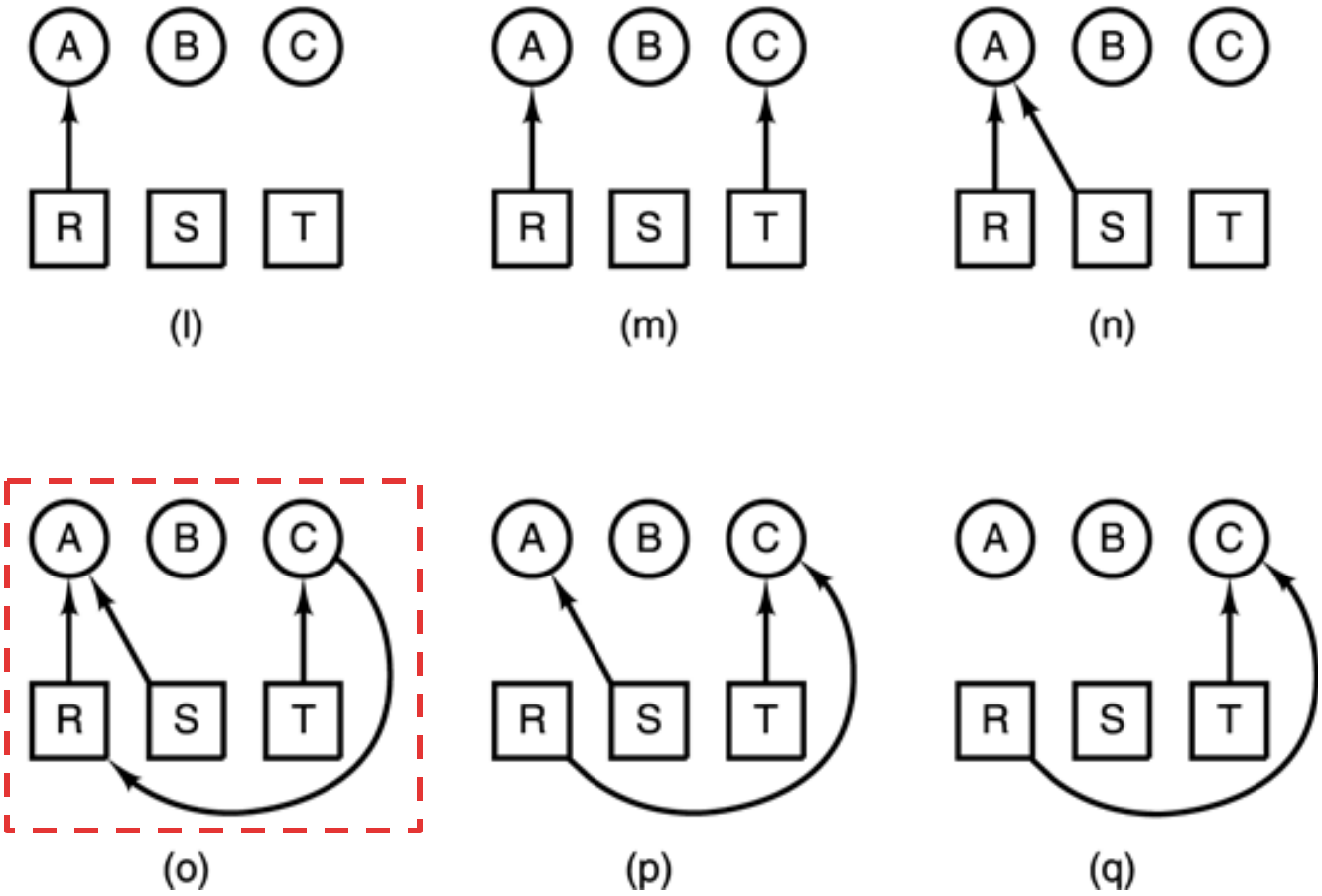


Como pode ser evitado um *deadlock*

Modelagem de *Deadlock* (3)

1. A requisita R
2. C requisita T
3. A requisita S
4. C requisita R
5. A libera R
6. A libera S

nenhum deadlock

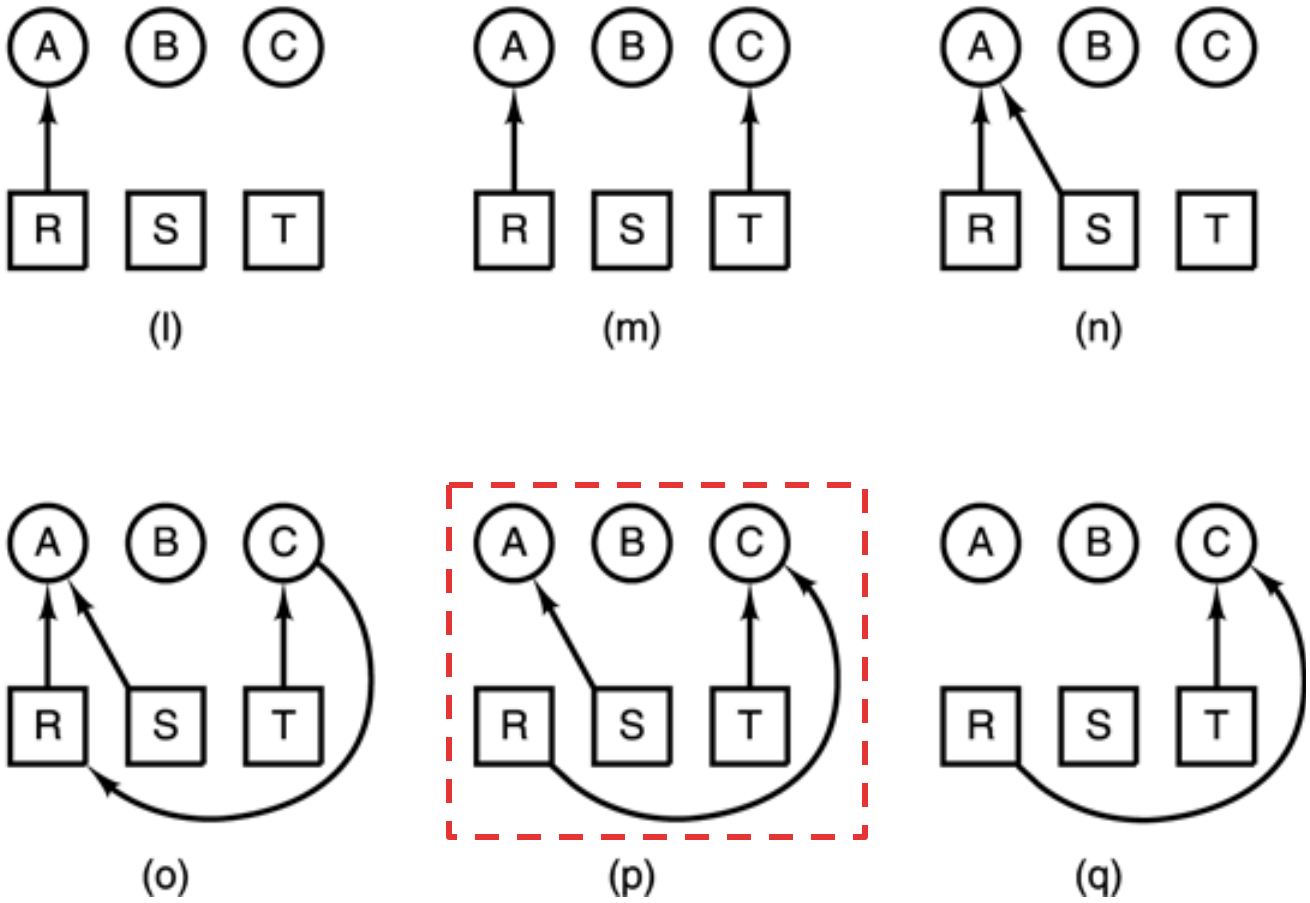


Como pode ser evitado um *deadlock*

Modelagem de *Deadlock* (3)

1. A requisita R
2. C requisita T
3. A requisita S
4. C requisita R
5. A libera R
6. A libera S

nenhum deadlock



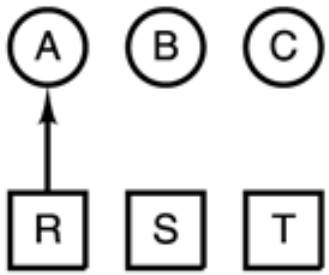
Como pode ser evitado um *deadlock*

Modelagem de *Deadlock* (3)

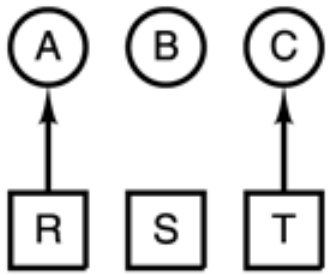
1. A requisita R
2. C requisita T
3. A requisita S
4. C requisita R
5. A libera R
6. A libera S

nenhum deadlock

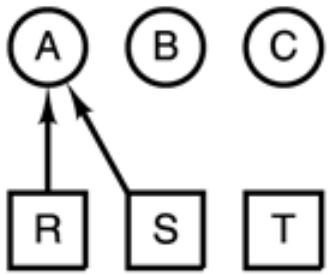
(k)



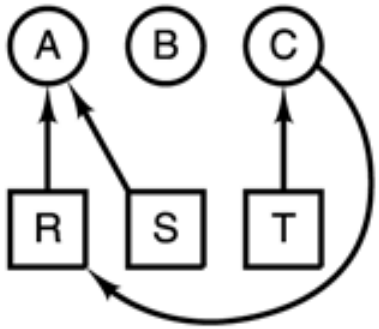
(l)



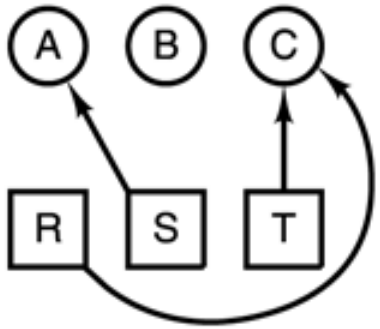
(m)



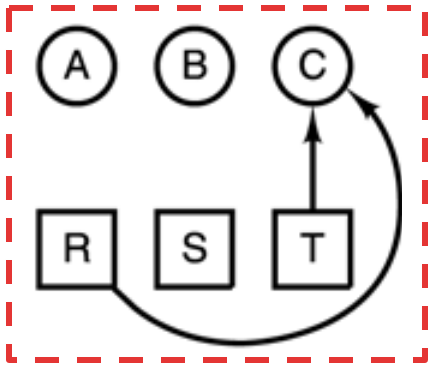
(n)



(o)



(p)



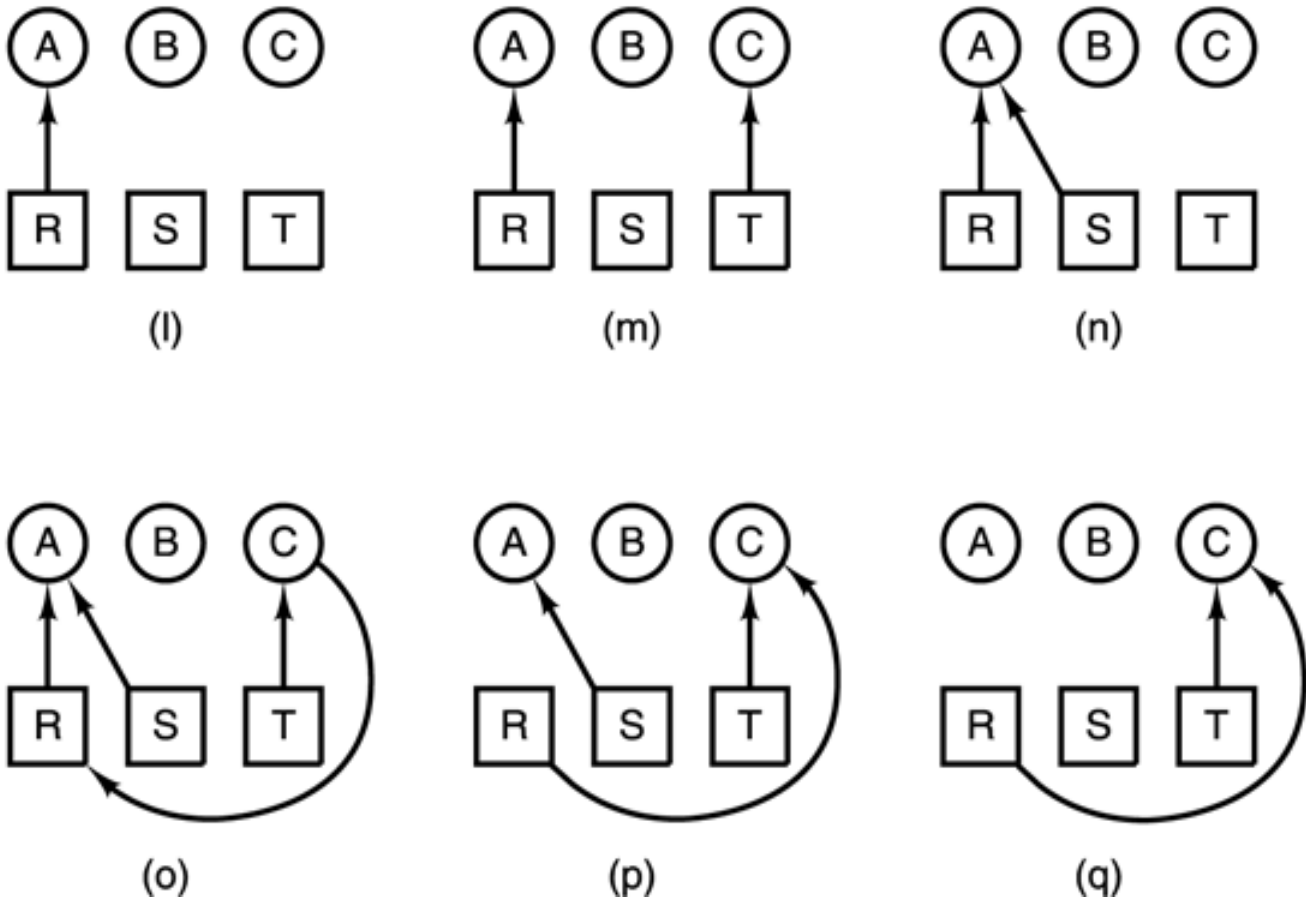
(q)

Como pode ser evitado um *deadlock*

Modelagem de *Deadlock* (3)

1. A requisita R
2. C requisita T
3. A requisita S
4. C requisita R
5. A libera R
6. A libera S

nenhum deadlock



Como pode ser evitado um *deadlock*

Estratégias para tratar *Deadlocks*

1. ignorar por completo o problema
2. detecção e recuperação
3. evitação dinâmica
   - alocação cuidadosa de recursos
4. prevenção
   - negação de uma das quatro condições necessárias

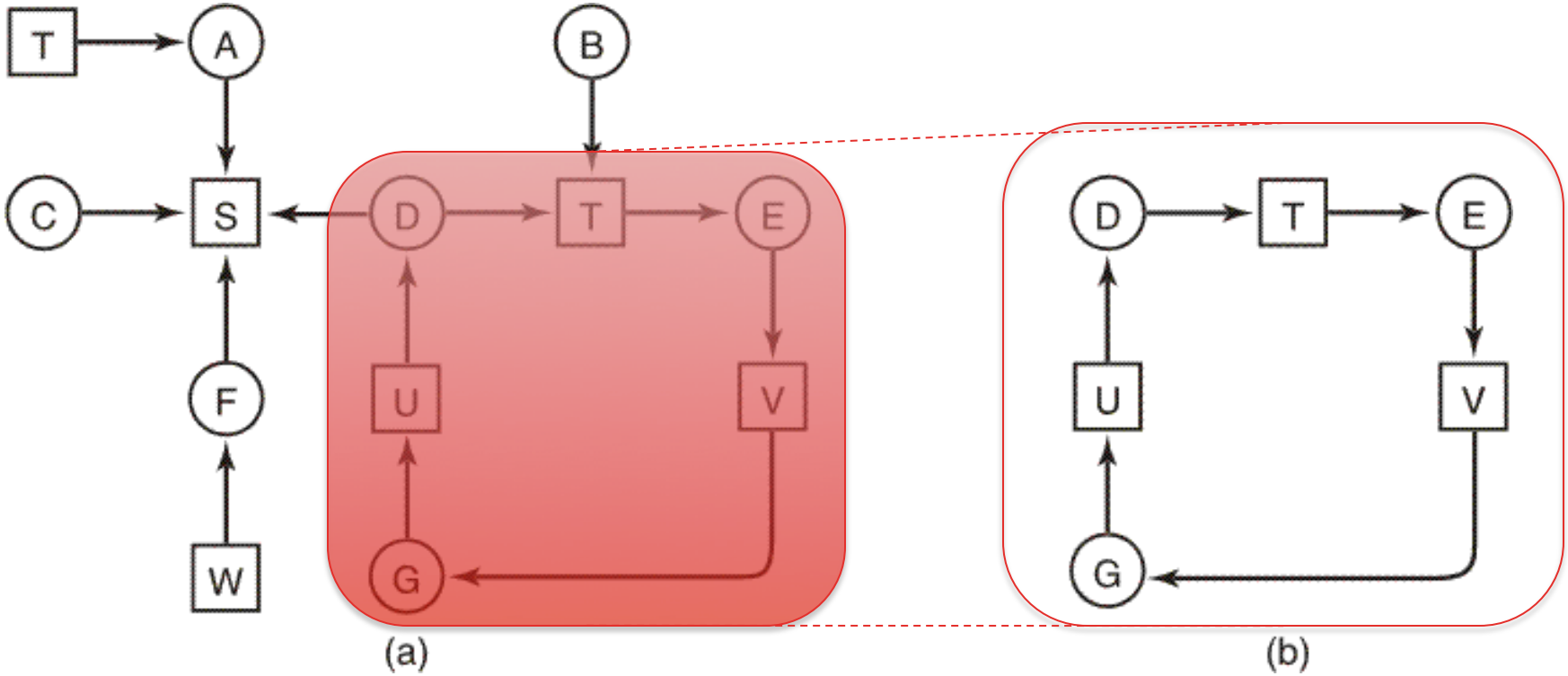
"Algoritmo" do Avestruz

- Finge que o problema não existe
- Razoável se
  - *deadlocks* ocorrem muito raramente
  - custo da prevenção é alto
- UNIX e Windows seguem esta abordagem
- É uma ponderação entre
  - conveniência
  - correção

Estratégias para tratar *Deadlocks*

1. ignorar por completo o problema
2. detecção e recuperação
3. evitação dinâmica
   - alocação cuidadosa de recursos
4. prevenção
   - negação de uma das quatro condições necessárias

Detecção com um Recurso de Cada Tipo



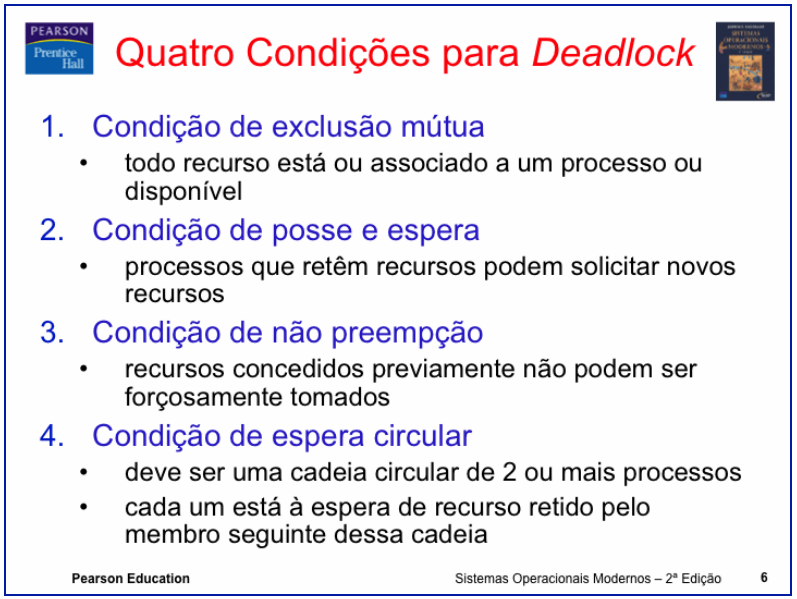
- Observe a posse e solicitações de recursos □
- Um ciclo pode ser encontrado dentro do grafo, denotando *deadlock*

Recuperação de Deadlock

- Recuperação através de preempção
  - retirar um recurso de algum outro processo
  - depende da natureza do recurso (preemptível?)
- Recuperação através de reversão de estado
  - verifica um processo periodicamente
  - reinicia o processo se este é encontrado em estado de deadlock (usa o último estado correto salvo)
- Recuperação através da eliminação de processos
  - forma mais grosseira, mas também mais simples de quebrar um deadlock
  - elimina um dos processos no ciclo de deadlock
  - os outros processos conseguem seus recursos
  - escolhe processo que pode ser reexecutado desde seu início

Estratégias para tratar *Deadlocks*

1. ignorar por completo o problema
2. detecção e recuperação
3. evitação dinâmica
   - alocação cuidadosa de recursos
4. prevenção
   - negação de uma das quatro condições necessárias



Prevenção de Deadlock
Atacando a Condição de Exclusão Mútua

- Alguns dispositivos (como uma impressora) podem fazer uso de *spool* [“fila”]
  - o *daemon* de impressão é o único que usa o recurso impressora
  - desta forma *deadlock* envolvendo a impressora é eliminado
- Nem todos os dispositivos podem fazer uso de *spool*
- Princípio:
  - evitar alocar um recurso quando ele não for absolutamente necessário
  - tentar assegurar que o menor número possível de processos possa de fato requisitar o recurso

Prevenção de Deadlock
Atacando a Condição de Posse e Espera

- Exigir que todos os processos requisitem os recursos antes de iniciarem
  - um processo nunca tem que esperar por aquilo que precisa
- Problemas
  - podem não saber quantos e quais recursos vão precisar no início da execução
  - e também retêm recursos que outros processos poderiam estar usando
- Variação:
  - processo deve desistir de todos os recursos
  - para então requisitar todos os que são imediatamente necessários

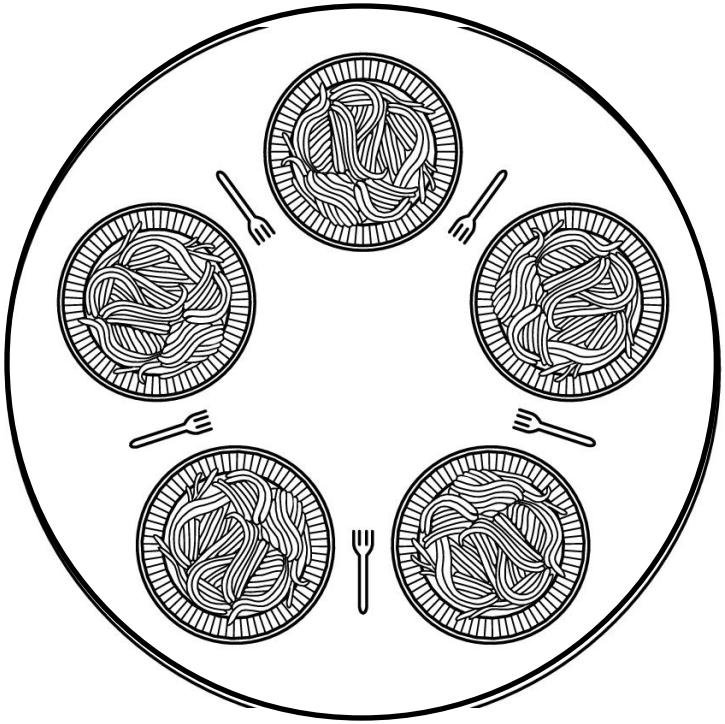
Prevenção de Deadlock

Condição	Abordagem contra deadlocks
Exclusão mútua	Usar spool em tudo
Posse-e-espera	Requisitar inicialmente todos os recursos necessários
Não preempção	Retomar os recursos alocados
Espera circular	Ordenar numericamente os recursos

Resumo das abordagens para prevenir deadlock

O clássico problema dos 'Filósofos Jantantes'

- Filósofos comem/ pensam
- Comem espaguete e precisam de 2 garfos
- Pegam um garfo de cada vez
- Como prevenir *deadlock* ?



```
#define N                5          /* number of philosophers */
#define LEFT             (i+N−1)%N  /* number of i's left neighbor */
#define RIGHT            (i+1)%N    /* number of i's right neighbor */
#define THINKING         0          /* philosopher is thinking */
#define HUNGRY           1          /* philosopher is trying to get forks */
#define EATING           2          /* philosopher is eating */
typedef int semaphore;              /* semaphores are a special kind of int */
int state[N];                       /* array to keep track of everyone's state */
semaphore mutex = 1;                /* mutual exclusion for critical regions */
semaphore s[N];                     /* one semaphore per philosopher */

void philosopher(int i)             /* i: philosopher number, from 0 to N−1 */
{
    while (TRUE) {                  /* repeat forever */
        think( );                   /* philosopher is thinking */
        take_forks(i);              /* acquire two forks or block */
        eat( );                     /* yum-yum, spaghetti */
        put_forks(i);               /* put both forks back on table */
    }
}
```

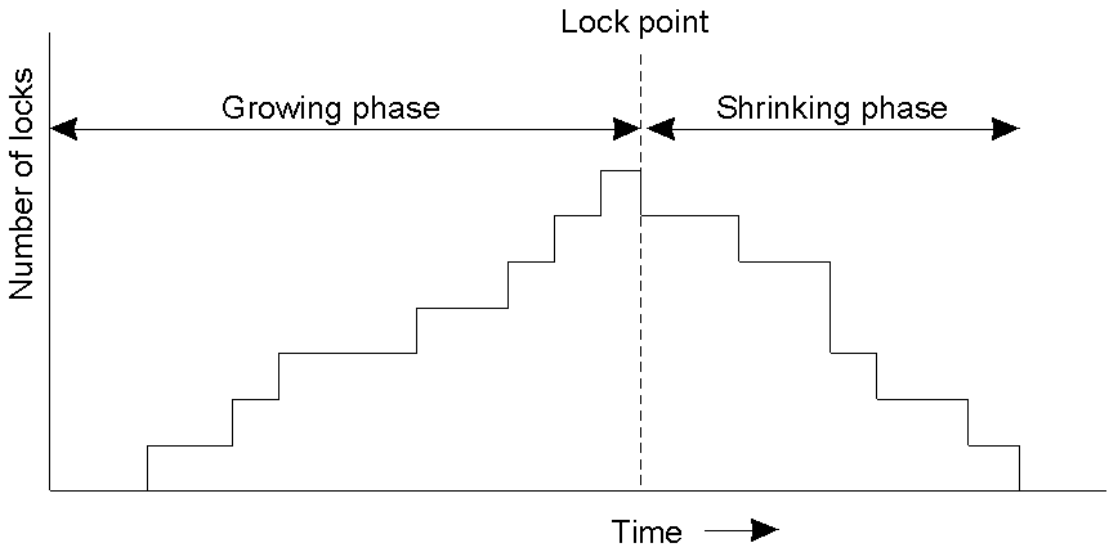
Solução (parte 1)

```
void take_forks(int i)          /* i: philosopher number, from 0 to N–1 */
{
    down(&mutex);               /* enter critical region */
    state[i] = HUNGRY;          /* record fact that philosopher i is hungry */
    test(i);                    /* try to acquire 2 forks */
    up(&mutex);                 /* exit critical region */
    down(&s[i]);                /* block if forks were not acquired */
}

void put_forks(i)               /* i: philosopher number, from 0 to N–1 */
{
    down(&mutex);               /* enter critical region */
    state[i] = THINKING;        /* philosopher has finished eating */
    test(LEFT);                 /* see if left neighbor can now eat */
    test(RIGHT);                /* see if right neighbor can now eat */
    up(&mutex);                 /* exit critical region */
}

void test(i)                    /* i: philosopher number, from 0 to N–1 */
{
    if (state[i] == HUNGRY && state[LEFT] != EATING && state[RIGHT] != EATING) {
        state[i] = EATING;
        up(&s[i]);
    }
}
```

Solução (parte 2)

Two-Phase Locking

- Cada transação tem uma fase de requisição de *locks (growing phase)*
- Uma segunda fase libera *locks (shrinking phase)*



Distributed Systems: Principles and Paradigms
© Tanenbaum and van Steen 2002

O Modelo de Transação

```
BEGIN_TRANSACTION
  reserve REC -> RIO;
  reserve RIO -> POA;
  reserve POA -> BSB;
END_TRANSACTION
```

(a)

```
BEGIN_TRANSACTION
  reserve REC -> RIO;
  reserve RIO -> POA;
  reserve POA -> BSB full =>
ABORT_TRANSACTION
```

(b)

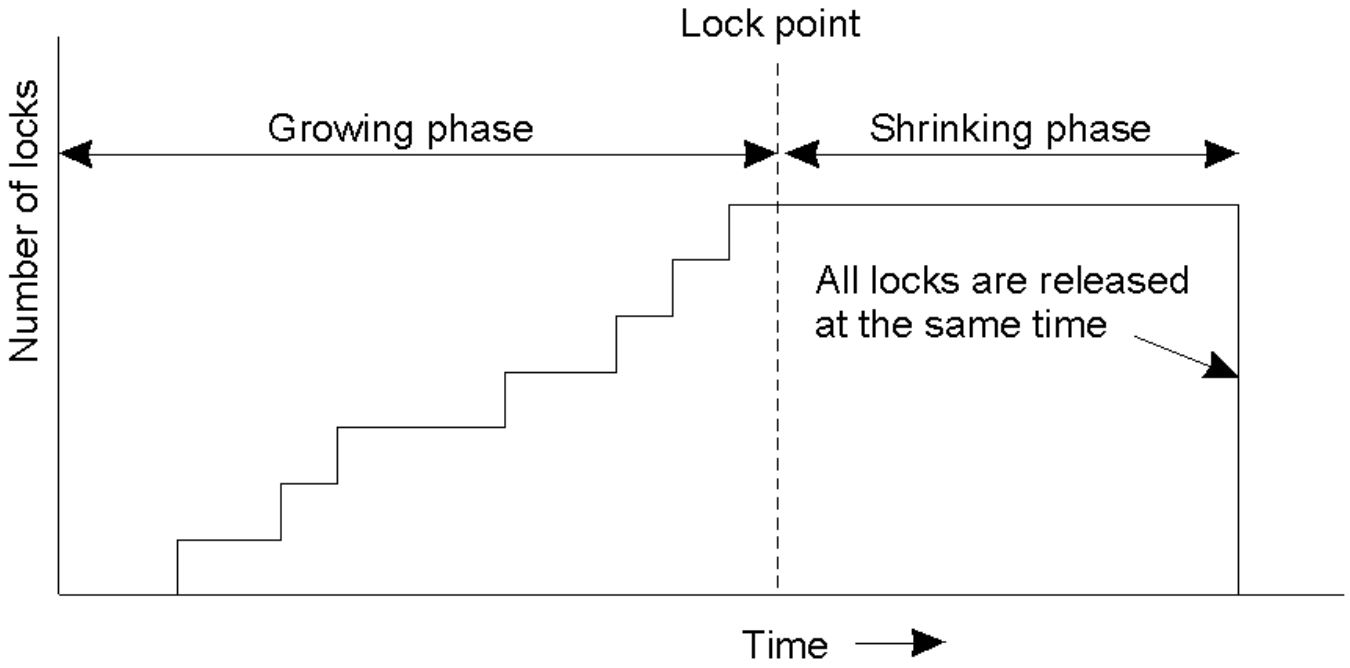
a) Transação para a reserva de 3 vôos *commits*

b) Transação aborta (*rollback*) quando o terceiro vôo não está disponível

Two-Phase Locking (2)

- Transações podem abortar
  - Então é necessário execução estrita para prevenir leituras erradas ou escritas prematuras
  - Assim, quaisquer *locks* conseguidos durante uma transação são sustentados até que a transação termine ou aborte ➡ ***strict two-phase locking***

Strict Two-Phase Locking



Distributed Systems: Principles and Paradigms
© Tanenbaum and van Steen 2002

Abordagens para Controle de Concorrência

1. A maioria dos sistemas usam esquemas de ***locking***
2. Ordenação baseada em ***timestamps***

- 1 e 2 são abordagens **pessimistas**
  - Em ***two-phase locking*** e **ordenação baseada em *timestamps***, o servidor detecta conflitos entre transações a cada acesso a item de dado
  - **Ordenação baseada em *timestamps*** é melhor para transações de leitura
  - ***Two-phase locking*** é melhor quando as operações são predominantemente de atualizações (escrita)

- Esquemas **otimistas** permitem que uma transação prossiga até que termine, para então o servidor fazer uma checagem para descobrir se houve conflito
  - se sim, a transação terá que ser refeita