Aula 11
Sistemas Operacionais I

Deadlocks

Prof. Julio Cezar Estrella
jcezar@icmc.usp.br

Material adaptado de

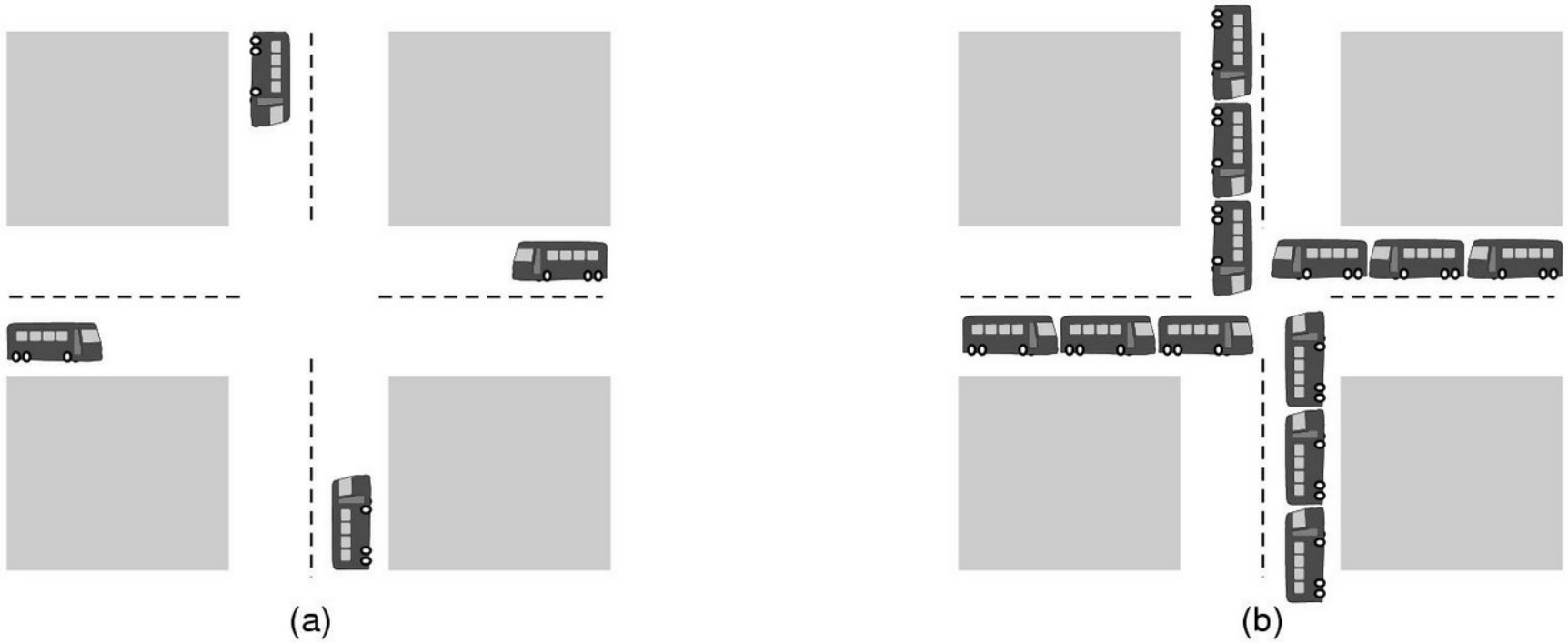
Sarita Mazzini Bruschi

baseados no livro Sistemas Operacionais Modernos de A. Tanenbaum

Deadlocks

- Dispositivos e recursos são compartilhados a todo momento: impressora, disco, arquivos, etc...;
- *Deadlock:* processos ficam parados sem possibilidade de poderem continuar seu processamento;

Deadlocks



Uma situação de *deadlock*

Deadlocks

Deadlocks

Recursos

- Recursos: objetos acessados, os quais podem ser tanto hardware quanto uma informação
  - Preemptivos: podem ser retirados do processo sem prejuízos;
    - Memória;
    - CPU;
  - Não-preemptivos: não podem ser retirados do processo, pois causam prejuízos;
    - CD-ROM;
    - Unidades de fita;
  - *Deadlocks* ocorrem com recursos não-preemptivos;

Recursos

- Operações sobre recursos/dispositivos:
  - Requisição do recurso;
  - Utilização do recurso;
  - Liberação do recurso;
- Se o recurso requerido não está disponível, duas situações podem ocorrer:
  - Processo que requisitou o recurso fica bloqueado até que o recurso seja liberado, ou;
  - Processo que requisitou o recurso falha, e depois de um certo tempo tenta novamente requisitar o recurso;

Recursos

- Aquisição do recurso
  - Para alguns tipos de recursos, os processos dos usuários gerenciam o uso dos recursos, através, por exemplo, de semáforos
    - Exemplo: acesso a registros em um sistema de banco de dados
- Se vários processos tentam acessar os mesmos recursos, podem ocorrer situações onde a ordem de solicitação dos recursos pode conduzir a um deadlock ou não

Deadlocks

Potencial *deadlock*

```
semaphore resource_1;
semaphore resource_2;

void Process_A (void){
   down(&resource_1);
   down(&resource_2);
   use_both_resources();
   up(&resource_2);
   up(&resource_1);
}
 void Process_B (void){
   down(&resource_2);
   down(&resource_1);
   use_both_resources();
   up(&resource_1);
   up(&resource_2);}
```

Livre de *deadlock*

```
semaphore resource_1;
semaphore resource_2;

void Process_A (void){
   down(&resource_1);
   down(&resource_2);
   use_both_resources();
   up(&resource_2);
   up(&resource_1);
}
 void Process_B (void){
   down(&resource_1);
   down(&resource_2);
   use_both_resources();
   up(&resource_1);
   up(&resource_2);}
```

Deadlocks

- Definição formal:
  - “Um conjunto de processos estará 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.”

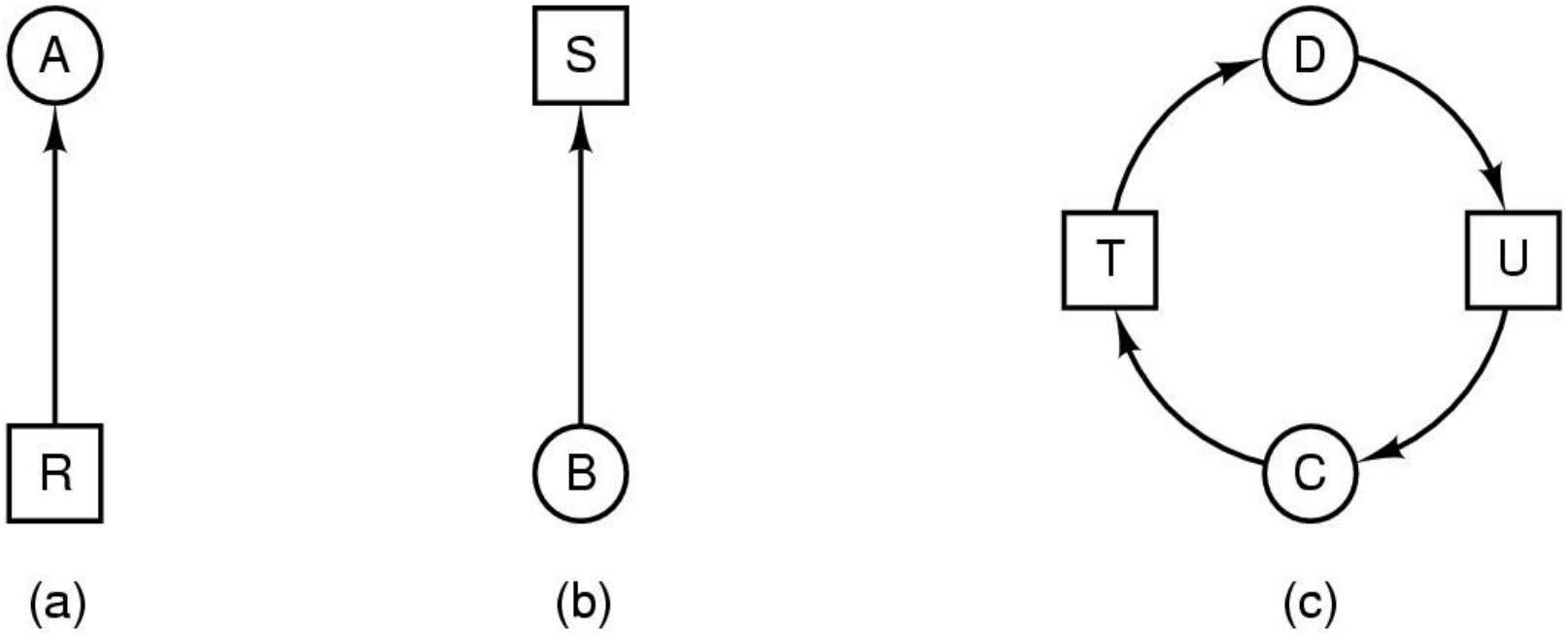
Deadlocks

- Quatro condições para que ocorra um *deadlock*:
  - Exclusão mútua: cada recurso pode estar somente em uma de duas situações: ou associado a um único processo ou disponível;
  - Posse e espera (*hold and wait*): processos que já possuem algum recurso podem requer outros recursos;
  - Não-preempção: recursos já alocados não podem ser retirados do processo que os alocou; somente o processo que alocou os recursos pode liberá-los;
  - Espera Circular: um processo pode esperar por recursos alocados a outro processo;
- Todas as condições devem ocorrer para que ocorra um *deadlock*

Deadlocks

- Geralmente, *deadlocks* são representados por grafos a fim de facilitar sua detecção, prevenção e recuperação
  - Ocorrência de ciclos pode levar a um *deadlock*;

Deadlocks
Grafos de alocação de recursos



a) Recurso R alocado ao **Processo A**
b) Processo B requisita **Recurso S**
c) Deadlock

Deadlocks

- Quatro estratégias para tratar *deadlocks:*
  1. Ignorar o problema;
  2. Detectar e recuperar o problema;
  3. Evitar dinamicamente o problema – alocação cuidadosa de recursos;
  4. Prevenir o problema por meio da não satisfação de uma das quatro condições citadas anteriormente;

Deadlocks

- **(1) Ignorar o problema**:
  - Freqüência do problema;
  - Alto custo – estabelecimento de condições para o uso de recursos;
  - UNIX e WINDOWS;
  - Algoritmo do AVESTRUZ;

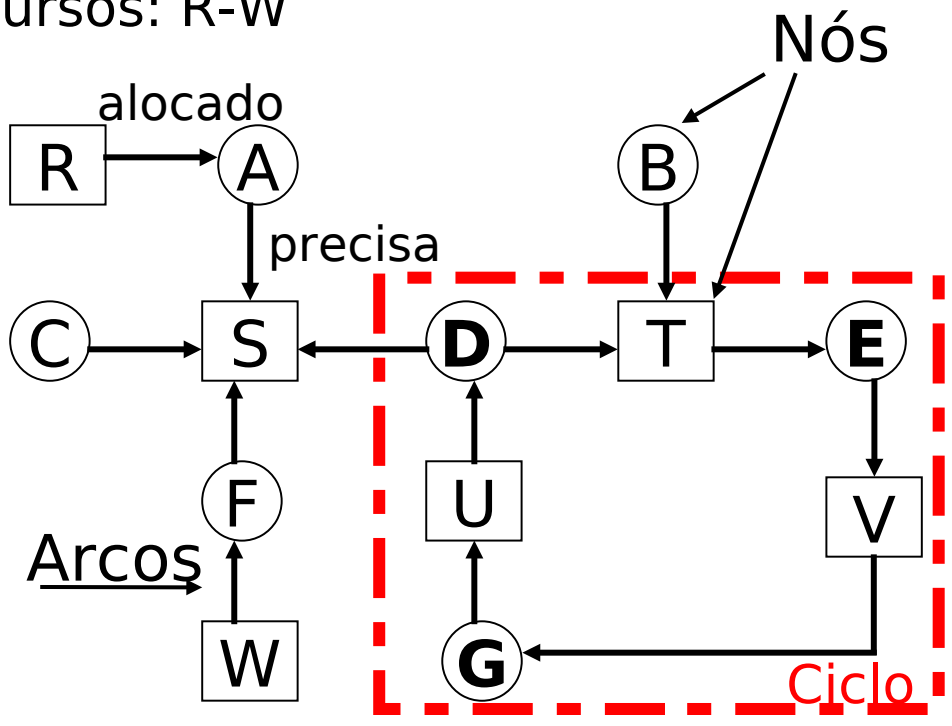
Deadlocks

- **(2) Detectar e Recuperar o problema:**
  - Processos estão com todos os recursos alocados;
  - Procedimento: Permite que os *deadlocks* ocorram, tenta detectar as causas e solucionar a situação;
  - Algoritmos:
    - Detecção com um recurso de cada tipo;
    - Detecção com vários recursos de cada tipo;
    - Recuperação por meio de preempção;
    - Recuperação por meio de *rollback* (volta ao passado);
    - Recuperação por meio de eliminação de processos;

Deadlocks

- Detecção com um recurso de cada tipo:
  - Construção de um grafo;
  - Se houver ciclos, existem potenciais *deadlocks*;

Processos: A-G
Recursos: R-W



Situação:
PA usa R e precisa de S;
PB precisa de T;
PC precisa de S;
PD usa U e precisa de S e T;
PE usa T e precisa de V;
PF usa W e precisa de S;
PG usa V e precisa de U;

Pergunta:
Há possibilidade de *deadlock*?

Deadlocks

- Detecção com vários recursos de cada tipo:
  - Classes diferentes de recursos – vetor de recursos existentes (E):
    - Se classe1=unidade de fita e E_1=2, então existem duas unidades de fita;
  - Vetor de recursos disponíveis (A):
    - Se ambas as unidades de fita estiverem alocadas, A_1=0;
  - Duas matrizes:
    - C: matriz de alocação corrente;
      - C_{ij}: número de instâncias do recurso j entregues ao processo i;
    - R: matriz de requisições;
      - R_{ij}: número de instâncias do recurso j que o processo i precisa;

Deadlocks

4 unidades de fita;
2 *plotters*;
3 *scanner*;
1 unidade de CD-ROM

Três processos já usam:
P_1 usa um *scanner*;
P_2 usa duas unidades de fita e uma de CD-ROM;
P_3 usa um *plotter* e dois *scanners*;

Requisições:
P_1 requisita duas unidades de fita e um CD-ROM;
P_2 requisita uma unidade de fita e um *scanner*;
P_3 requisita duas unidades de fita e um *plotter*;

Recursos existentes
E = (4 2 3 1)
UF P S UCD

Recursos disponíveis
A = (2 1 0 0)
UF P S UCD

Matriz de alocação

	UF	P	S	UCD	
C =	0	0	1	0	← P_1
	2	0	0	1	← P_2
	0	1	2	0	← P_3

Recursos

Matriz de requisições

	UF	P	S	UCD	
R =	2	0	0	1	← P_1
	1	0	1	0	← P_2
	2	1	0	0	← P_3

Deadlocks

4 unidades de fita;
2 *plotters*;
3 *scanners*;
1 unidade de CD-ROM

Requisições:
P_1 requisita duas unidades de fita e um CD-ROM;
P_2 requisita uma unidade de fita e um *scanner*;
P_3 requisita duas unidades de fita e um *plotter*;

Recursos existentes
E = (4 2 3 1)

Recursos disponíveis
A = (2 1 0 0) **P_3 pode executar**
A = (**0 0 0 0**) **P_3 alocou recursos**

Matriz de alocação

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ \mathbf{2} & \mathbf{2} & \mathbf{2} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow P_2 \\ \leftarrow P_3 \end{matrix}$$

Matriz de requisições

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow P_2 \\ \leftarrow \mathbf{P_3} \end{matrix}$$

Deadlocks

4 unidades de fita;
2 *plotter*;
3 *scanners*;
1 unidade de CD-ROM

Requisições:
P_1 requisita duas unidades de fita e um CD-ROM;
P_2 requisita uma unidade de fita e um *scanner*;
P_3 requisita duas unidades de fita e um *plotter*;

Recursos existentes
E = (4 2 3 1)

Recursos disponíveis
A = (2 1 0 0)
A = (**2 2 2 0**) **P_3 liberou recursos**

Matriz de alocação

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow P_2 \\ \leftarrow P_3 \end{matrix}$$

Matriz de requisições

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow P_2 \\ \leftarrow \mathbf{P_3} \end{matrix}$$

Deadlocks

4 unidades de fita;
2 *plotter*;
3 *scanners*;
1 unidade de CD-ROM

Requisições:
P_1 requisita duas unidades de fita e um CD-ROM;
P_2 requisita uma unidade de fita e um *scanner*;
P_3 requisita duas unidades de fita e um *plotter*;

Recursos existentes
E = (4 2 3 1)

Recursos disponíveis
A = (2 1 0 0)
A = (2 2 2 0) **P_2 pode executar**
A = (**1 2 1 0**) **P_2 alocou recursos**

Matriz de alocação

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ \mathbf{3} & \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow P_2 \\ \leftarrow P_3 \end{matrix}$$

Matriz de requisições

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow \mathbf{P_2} \\ \leftarrow P_3 \end{matrix}$$

Deadlocks

4 unidades de fita;
2 *plotter*;
3 *scanners*;
1 unidade de CD-ROM

Requisições:
P_1 requisita duas unidades de fita e um CD-ROM;
P_2 requisita uma unidade de fita e um *scanner*;
P_3 requisita duas unidades de fita e um *plotter*;

Recursos existentes
E = (4 2 3 1)

Recursos disponíveis
A = (2 1 0 0)
A = (2 2 2 0)
A = (**4 2 2 1**) **P_2 liberou recursos**

Matriz de alocação

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow P_2 \\ \leftarrow P_3 \end{matrix}$$

Matriz de requisições

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow \mathbf{P_2} \\ \leftarrow P_3 \end{matrix}$$

Deadlocks

4 unidades de fita;
2 *plotter*;
3 *scanners*;
1 unidade de CD-ROM

Recursos existentes
E = (4 2 3 1)

Requisições:
P_1 requisita duas unidades de fita e um CD-ROM;
P_2 requisita uma unidade de fita e um *scanner*;
P_3 requisita duas unidades de fita e um *plotter*;

Recursos disponíveis
A = (2 1 0 0)
A = (2 2 2 0)
A = (4 2 2 1) **P_1 pode executar**
A = (2 2 2 0) **P_1 alocou recursos**

Matriz de alocação

$$C = \begin{bmatrix} \mathbf{2} & \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow P_2 \\ \leftarrow P_3 \end{matrix}$$

Matriz de requisições

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow \mathbf{P_1} \\ \leftarrow P_2 \\ \leftarrow P_3 \end{matrix}$$

Deadlocks

Ao final da execução, temos:

4 unidades de fita;
2 *plotters*;
3 *scanners*;
1 unidade de CD-ROM

Recursos existentes
E = (4 2 3 1)

Recursos disponíveis
A = (4 2 3 1)

Matriz de alocação

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow P_2 \\ \leftarrow P_3 \end{matrix}$$

Matriz de requisições

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow P_2 \\ \leftarrow P_3 \end{matrix}$$

Deadlocks – Situação 1

4 unidades de fita;
2 *plotters*;
3 *scanners*;
1 unidade de CD-ROM

Requisições:
P_2 requisita duas unidade de fita, um *scanner* e uma unidade de CD-ROM;

Recursos existentes
E = (4 2 3 1)

Recursos disponíveis
A = (2 1 0 0) P_3 pode executar
A = (2 2 2 0)

Matriz de alocação

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow P_2 \\ \leftarrow P_3 \end{matrix}$$

Matriz de requisições

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 \\ \mathbf{2} & \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow P_1 \\ \leftarrow \mathbf{P_2} \\ \leftarrow P_3 \end{matrix}$$

Nessa situação, nenhum processo pode ser atendido!

DEADLOCK

Deadlocks

- Detecção com vários recursos de cada tipo:
  - Para esse algoritmo, o sistema, geralmente, procura periodicamente por *deadlocks*;
  - CUIDADO:
    - Evitar ociosidade da CPU → quando se tem muitos processos em situação de *deadlock*, poucos processos estão em execução;

Deadlocks

- Recuperação de *Deadlocks*:
  - Por meio de preempção: possibilidade de retirar temporariamente um recurso de seu atual dono (processo) e entregá-lo a outro processo;
  - Por meio de *rollback*: recursos alocados a um processo são armazenados em arquivos de verificação; quando ocorre um *deadlock*, os processos voltam ao estado no qual estavam antes do *deadlock* → **solução cara**;

Deadlocks

- Recuperação de *Deadlocks*:
  - Por meio de eliminação de processos: processos que estão no ciclo com *deadlock* são retirados do ciclo;
  - Melhor solução para processos que não causam algum efeito negativo ao sistema;
    - Ex1.: compilação – sem problemas;
    - Ex2.: atualização de um base de dados – problemas;

Deadlocks

- **(3) Evitar dinamicamente o problema**:
  - Alocação individual de recursos → à medida que o processo necessita;
  - Soluções também utilizam matrizes;
  - Escalonamento cuidadoso → alto custo;
    - Conhecimento prévio dos recursos que serão utilizados;
  - Algoritmos:
    - Banqueiro para um único tipo de recurso;
    - Banqueiro para vários tipos de recursos;
  - Definição de Estados Seguros e Inseguros;

Deadlocks

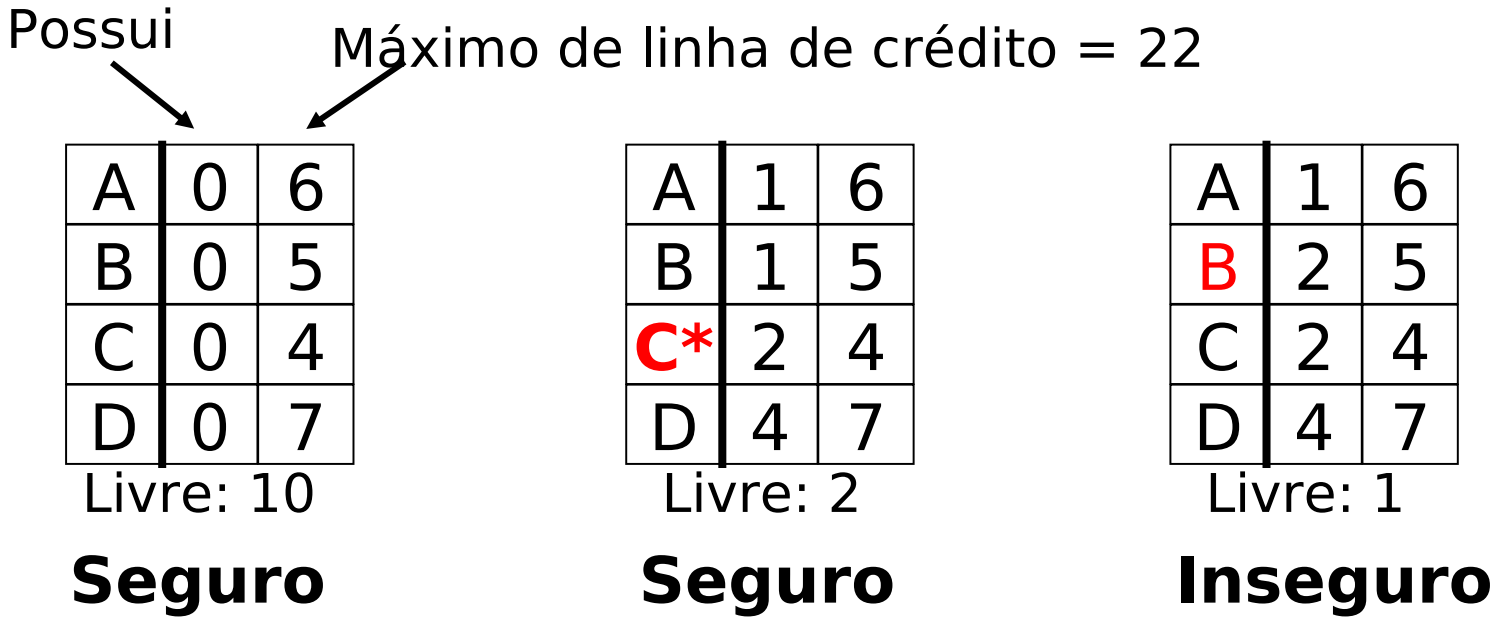
- Estados seguros: não provocam *deadlocks* e há uma maneira de atender a todas as requisições pendentes finalizando normalmente todos os processos;
  - A partir de um estado seguro, existe a garantia de que os processos terminarão;
- Estados inseguros: podem provocar *deadlocks,* mas não necessariamente provocam;
  - A partir de um estudo inseguro, não é possível garantir que os processos terminarão corretamente;

Deadlocks

- Algoritmos do Banqueiro:
  - Idealizado por Dijkstra (1965);
  - Considera cada requisição no momento em que ela ocorre, verificando se essa requisição leva a um estado seguro; Se sim, a requisição é atendida, se não o atendimento é adiado para um outro momento;
  - Premissas adotadas por um banqueiro (SO) para garantir ou não crédito (recursos) para seus clientes (processos);
  - Nem todos os clientes (processos) precisam de toda a linha de crédito (recursos) disponível para eles;

Deadlocks

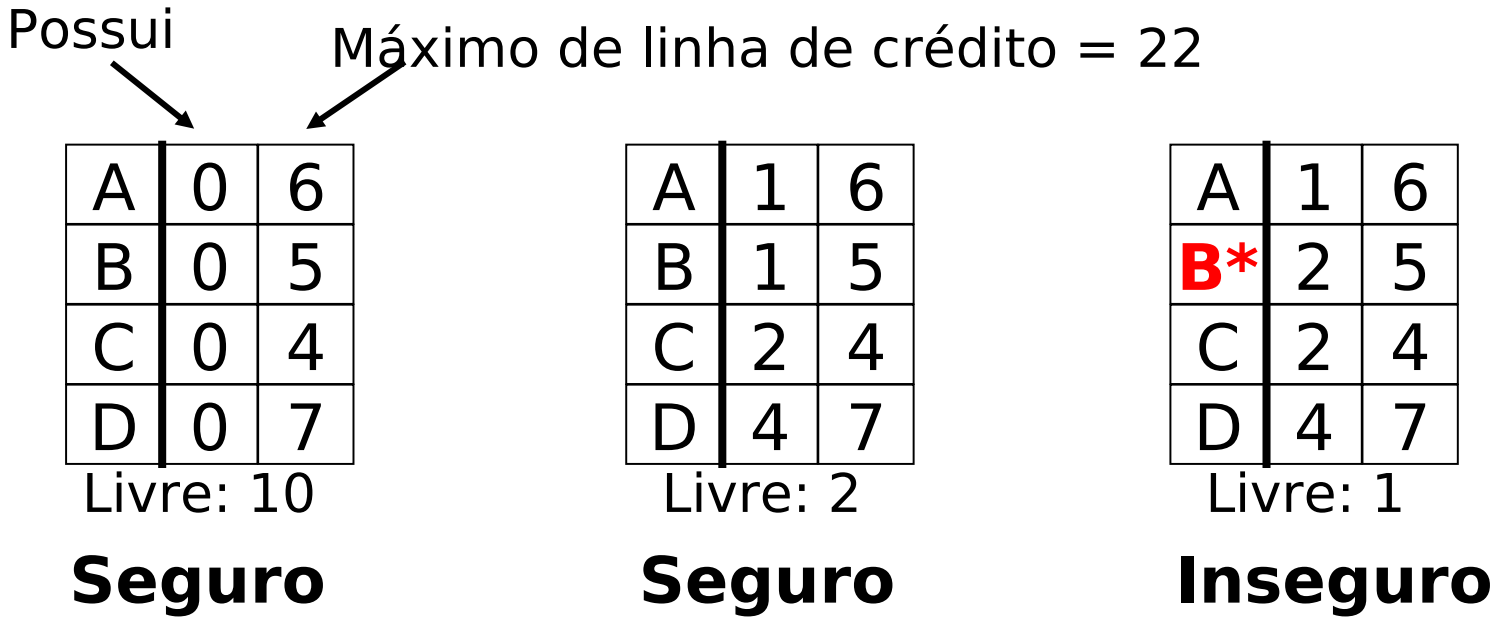
- Algoritmo do Banqueiro para um único tipo de recurso:



- Solicitações de crédito são realizadas de tempo em tempo;
- * C é atendido e libera 4 créditos, que podem ser usados por B ou D;

Deadlocks

- Algoritmo do Banqueiro para um único tipo de recurso:



- Solicitações de crédito são realizadas de tempo em tempo;
- * B é atendido. Em seguida os outros fazem solicitação, ninguém poderia ser atendido;

Deadlocks

- Algoritmo do Banqueiro para vários tipos de recursos:
  - Mesma ideia, mas duas matrizes são utilizadas;

Processos	Unidade de Fita	Plotters	Impressoras	Unidade de CD-ROM
A	3	0	1	1
B	0	1	0	0
C	1	1	1	0
D	1	1	0	1
E	0	0	0	0

C = Recursos Alocados

Recursos → E = (6 3 4 2);
Alocados → P = (5 3 2 2);
Disponíveis → A = (1 0 2 0);

A	1	1	0	0
B	0	1	1	2
C	3	1	0	0
D	0	0	1	0
E	2	1	1	0

R = Recursos ainda necessários

Deadlocks

- Algoritmo do Banqueiro para vários tipos de recursos:

Processos	Unidade de Fita	Plotters	Impressoras	Unidade de CD-ROM
A	3	0	1	1
B	0	1	**1**	0
C	1	1	1	0
D	1	1	0	1
E	0	0	0	0

C = Recursos Alocados

Alocados → P = (5 3 **3** 2);
Disponíveis → A = (1 0 **1** 0);

A	1	1	0	0
B	0	1	**0**	2
C	3	1	0	0
D	0	0	1	0
E	2	1	1	0

R = Recursos ainda necessários

- Podem ser atendidos: D, A ou E, C;

Deadlocks

- Algoritmo do Banqueiro para vários tipos de recursos:

Processos	Unidade de Fita	Plotters	Impressoras	Unidade de CD-ROM
A	3	0	1	1
B	0	1	**1**	0
C	1	1	1	0
D	1	1	0	1
E	0	0	**1**	0

C = Recursos Alocados

Alocados → P = (5 3 **4** 2);
Disponíveis → A = (1 0 **0** 0);

A	1	1	0	0
B	0	1	0	2
C	3	1	0	0
D	0	0	1	0
E	2	1	**0**	0

R = Recursos ainda necessários

- *Deadlock → atender o processo E;*
- *Solução*: Adiar a requisição de E por alguns instantes;

Deadlocks

- Algoritmo do Banqueiro:
  - Desvantagens
    - Pouco utilizado, pois é difícil saber quais recursos serão necessários;
    - Escalonamento cuidadoso é caro para o sistema;
    - O número de processos é dinâmico e pode variar constantemente, tornando o algoritmo custoso;
  - Vantagem
    - Na teoria o algoritmo é ótimo;

Deadlocks

- **(4) Prevenir Deadlocks:**
  - Atacar uma das quatro condições:

Condição	**Abordagem**
Exclusão Mútua	Não é viável deixar de usar; Alocar todos os recursos usando um *spool* - possível para alguns recursos, por ex. impressora. Só alocar recurso quando for absolutamente necessário.
Uso e Espera	Requisitar todos os recursos inicialmente – processo não sabe o que será necessário (volta ao algoritmo do banqueiro) Uso inadequado dos recursos Quando processo quer mais um recurso deve liberar todos os que possui e requisitar todos novamente

Deadlocks

- Atacar uma das quatro condições:

Condição	**Abordagem**
Não-preempção	Retirar recursos dos processos Pode ocasionar problemas de desempenho – fita Pode ocasionar erros – CDROM Opção pouco aconselhável!
Espera Circular	Ordenar numericamente os recursos Requisitar recursos só em ordem crescente Pode ser ineficiente mas é a mais atrativa de ser praticada

Deadlocks

- Problema potencial em qualquer SO
- Pode-se utilizar:
  - Algoritmos para prevenir deadlock
  - Algoritmos para detectar deadlock
- Algoritmos causam impacto negativo no desempenho e flexibilidade do sistema
- SOs de propósito geral utilizam Algoritmo do Avestruz