Sincronização

Parte II – Programação Concorrente

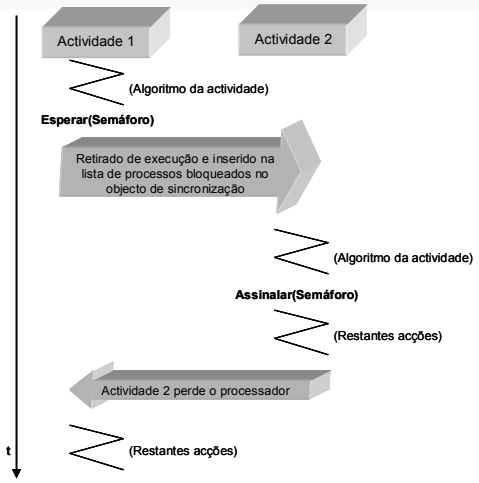
Cooperação entre Processos

- Vários processos executam em conjunto uma ou mais tarefas, nas quais
  - Competem por recursos
  - Indicam uns aos outros a:
    - Ausência/existência de recursos
    - Ocorrência de acontecimentos

Modelo inicial de sincronização

- Para sincronizar tarefas, pretendemos um mecanismo que, independentemente do estado da tarefa e da sua velocidade de execução, permita assinalar que um acontecimento já ocorreu:
  - A Actividade 2 quer ser informada quando a Actividade 1 terminar a sua unidade de trabalho para poder prosseguir.
- Precisamos, portanto, de um mecanismo independente da velocidade de execução das acções que permita:
  - À Actividade 2 bloquear-se até que lhe seja assinalado que a Actividade 1 já concluiu a sua unidade de trabalho;
  - À Actividade 1 assinalar a conclusão, desbloqueando a Actividade 2.

Situação mais simples de cooperação



Cooperação entre dois processos com semáforos

```
Proci
semEvent = CriarSemaforo(0);
...
void EsperarAcontecimento() {
   Esperar (semEvent);
}

Procj
void AssinalarAcontecimento(){
   Assinalar (semEvent);
}
```

O semáforo é inicializado a zero

Gestão de Recursos

- Um processo requisita um recurso
  - Executa Esperar (SemRecursos)
- Um processo liberta um recurso
  - Executa Assinalar (SemRecurso)
- O semáforo que controla o algoritmo é inicializado com o número de recursos disponíveis
  - SemRecurso = CriarSemaforo (NUM_RECURSOS)

Semáforos (exemplo)

Alocador de memória com O semáforo SemMem a controlar a existência de memória livre

```
#define MAX_PILHA 100
char* pilha[MAX_PILHA];
int topo = MAX_PILHA-1;
  semáforo_t SemMem;
  Mutex_t mutex;

char* PedeMem() {
   Esperar(SemMem);
   Esperar(mutex);

   ptr = pilha[topo];
   topo--;
   Assinalar(mutex);
   return ptr;
}

void DevolveMem(char* ptr) {
   Esperar(mutex);
   topo++;
   pilha[topo]= ptr;
   Assinalar(mutex);
   Assinalar(SemMem);
}
```

```
main(){
/*...*/
  semExMut = CriarSemaforo(1);
  semMem = CriarSemaforo(MAX_PILHA);
}
```

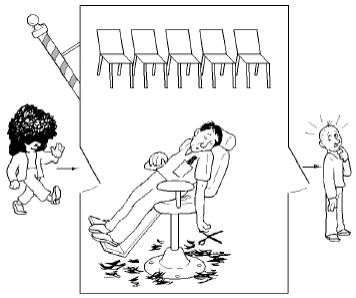
O semáforo é inicializado com o valor dos recursos disponíveis

Problemas típicos de sincronização

- O algoritmo do Barbeiro
  - uma ou mais tarefas servidoras de tarefas clientes
- O algoritmo dos Produtores/Consumidores
  - tarefas que produzem informação para um buffer e tarefas que lêem a informação do buffer
- O algoritmo dos Leitores/Escritores
  - tarefas que pretendem ler uma estrutura de dados e tarefas que actualizam (escrevem) a mesma estrutura de dados

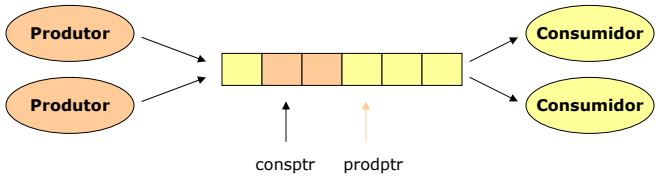
Exercício

Numa barbearia existe uma cadeira onde o barbeiro corta cabelo e N cadeiras para os clientes que estão à espera. Se não existem clientes, o barbeiro senta-se na cadeira e adormece. Quando um cliente chega, ele tem que acordar o barbeiro dorminhoco para lhe cortar o cabelo. Se entretanto chegarem mais clientes enquanto o barbeiro estiver a cortar o cabelo ao primeiro, ou esperam numa cadeira livre ou vão-se embora se já não houver mais cadeiras livres.



.

Exemplo de Cooperação entre Processos: Produtor - Consumidor



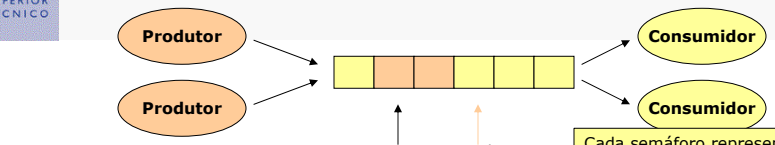

```
/* ProdutorConsumidor */
int buf[N];
int prodptr=0, consptr=0;
produtor()
{
  while(TRUE) {
    int item = produz();
    buf[prodptr] = item;
    prodptr = (prodptr+1) % N;
  }
}
```

Que acontece se o buffer estiver cheio ?

```
consumidor()
{
  while(TRUE) {
    int item;
    item = buf[consptr];
    consptr = (consptr+1) % N;
    consome(item);
  }
}
```

Que acontece se não houver itens no buffer ?

Exemplo de Cooperação entre Processos: Produtor - Consumidor



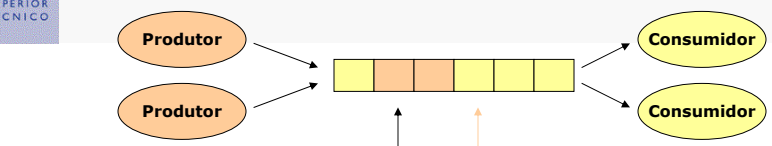

```
int buf[N];
int prodptr=0, consptr=0;
trinco_t trinco;
semaforo_t pode_prod = criar_semaforo(N),
           pode_cons = criar_semaforo(0);

produtor()
{
  while(TRUE) {
    int item = produz();
    esperar(pode_prod);
    fechar(trinco);
    buf[prodptr] = item;
    prodptr = (prodptr+1) % N;
    abrir(trinco);
    assinalar(pode_cons);
  }
}
```

Cada semáforo representa um recurso:
pode_produzir: espaços livres, inicia a N
pode_consumir: itens no buffer, inicia a 0

```
consumidor()
{
  while(TRUE) {
    int item;
    esperar(pode_cons);
    fechar(trinco);
    item = buf[consptr];
    consptr = (consptr+1) % N;
    abrir(trinco);
    assinalar(pode_prod);
    consome(item);
  }
}
```

Departamento de Engenharia Informática

Exemplo de Cooperação entre Processos: Produtor - Consumidor

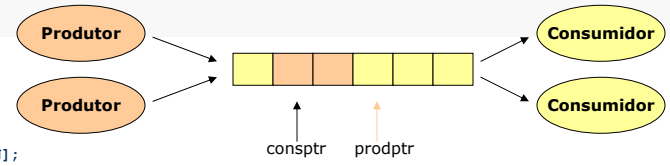



```
int buf[N];
int prodptr=0, consptr=0;
trinco_t trinco_p, trinco_c;
semaforo_t pode_prod = criar_semaforo(N),
           pode_cons = criar_semaforo(0);

produtor()
{
  while(TRUE) {
    int item = produz();
    esperar(pode_prod);
    fechar(trinco_p);
    buf[prodptr] = item;
    prodptr = (prodptr+1) % N;
    abrir(trinco_p);
    assinalar(pode_cons);
  }
}
```

Optimização: Permite produzir e consumir ao mesmo tempo em partes diferentes do buffer

```
consumidor()
{
  while(TRUE) {
    int item;
    esperar(pode_cons);
    fechar(trinco_c);
    item = buf[consptr];
    consptr = (consptr+1) % N;
    abrir(trinco_c);
    assinalar(pode_prod);
    consome(item);
  }
}
```

Exemplo de Cooperação entre Processos: Produtor - Consumidor



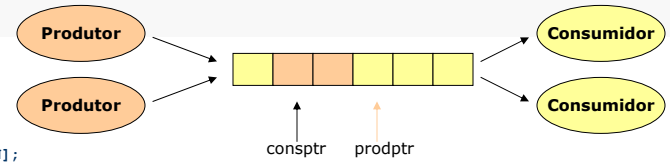

```
int buf[N];
int prodptr=0, consptr=0;
trinco_t trinco_p, trinco_c;
semaforo_t pode_prod = criar_semaforo(N),
           pode_cons = criar_semaforo(0);

produtor()
{
  while(TRUE) {
    int item = produz();
    esperar(pode_prod);
    fechar(trinco_p);
    buf[prodptr] = item;
    prodptr = (prodptr+1) % N;
    abrir(trinco_p);
    assinalar(pode_cons);
  }
}
```

```
consumidor()
{
  while(TRUE) {
    int item;
    fechar(trinco_c);
    esperar(pode_cons);
    item = buf[consptr];
    consptr = (consptr+1) % N;
    abrir(trinco_c);
    assinalar(pode_prod);
    consome(item);
  }
}
```

Problema?

Departamento de Engenharia Informática

Exemplo de Cooperação entre Processos: Produtor - Consumidor




```
int buf[N];
int prodptr=0, consptr=0;
trinco_t trinco_p, trinco_c;
semaforo_t pode_prod = criar_semaforo(N),
           pode_cons = criar_semaforo(0);

produtor()
{
  while(TRUE) {
    int item = produz();
    esperar(pode_prod);
    fechar(trinco_p);
    buf[prodptr] = item;
    prodptr = (prodptr+1) % N;
    abrir(trinco_p);
    assinalar(pode_cons);
  }
}
```

```
consumidor()
{
  while(TRUE) {
    int item;
    esperar(pode_cons);
    fechar(trinco_c);
    item = buf[consptr];
    consptr = (consptr+1) % N;
    assinalar(pode_prod);
    abrir(trinco_c);
    consome(item);
  }
}
```

Problema?

Problema dos Leitores - Escritores

- Pretende-se gerir o acesso a uma estrutura de dados partilhada em que existem duas classes de processos:
  - Leitores – apenas lêem a estrutura de dados
  - Escritores – lêem e modificam a estrutura de dados
- Condições
  - Os escritores só podem aceder em exclusão mútua
  - Os leitores podem aceder simultaneamente com outro leitores mas em exclusão mútua com os escritores
  - Nenhuma das classes de processos deve ficar à mingua

Departamento de Engenharia Informática

Problema dos Leitores - Escritores

```
leitor() {
  while (TRUE) {
    inicia_leitura();
    leitura();
    acaba_leitura();
  }
}

escritor() {
  while (TRUE) {
    inicia_escrita();
    escrita();
    acaba_escrita();
  }
}
```

Leitores – Escritores: Dificuldades

- Condições de bloqueio mais complexas:
  - Escritor bloqueia se houver um leitor ou um escritor em simultâneo
- Com quem deve ser feita a sincronização?
  - Quando termina uma escrita, deve ser assinalado o leitor seguinte (se houver) ou o escritor seguinte (se houver). E se não estiver ninguém à espera?
- Solução: ler variáveis antes de efectuar esperar/assinalar

Leitores-Escritores

```
int nleitores=0;
boolean_t em_escrita=FALSE;
int leitores_espera=0, escritores_espera=0;

inicia_leitura()
{

  if (em_escrita || escritores_espera > 0) {
    leitores_espera++;

    esperar(leitores);

    leitores_espera--;


  }
  nleitores++;

}
acaba_leitura()
{

  nleitores--;
  if (nleitores == 0 && escritores_espera > 0)
    assinalar(escritores);

}
```

```
semaforo_t leitores=0, escritores=0;


inicia_escrita()
{

  if (em_escrita || nleitores > 0) {
    escritores_espera++;

    esperar(escritores);

    escritores_espera--;
  }
  em_escrita = TRUE;

}
acaba_escrita()
{

  em_escrita = FALSE;
  if (leitores_espera > 0)
    for (i=0; i<leitores_espera; i++)
      assinalar(leitores);
  else if (escritores_espera > 0)
    assinalar(escritores);
}
```

Leitores-Escritores

```
int nleitores=0;
boolean_t em_escrita=FALSE;
int leitores_espera=0, escritores_espera=0;

inicia_leitura()
{
  fechar(m);
  if (em_escrita || escritores_espera > 0) {
    leitores_espera++;

    esperar(leitores);

    leitores_espera--;

  }
  nleitores++;
  abrir(m);
}
acaba_leitura()
{
  fechar(m);
  nleitores--;
  if (nleitores == 0 && escritores_espera > 0)
    assinalar(escritores);
  abrir(m);
}
```

```
semaforo_t leitores=0, escritores=0;
trinco_t m;

inicia_escrita()
{
  fechar(m);
  if (em_escrita || nleitores > 0) {
    escritores_espera++;

    esperar(escritores);

    escritores_espera--;
  }
  em_escrita = TRUE;
  abrir(m);
}
acaba_escrita()
{
  fechar(m);
  em_escrita = FALSE;
  if (leitores_espera > 0)
    for (i=0; i<leitores_espera; i++)
      assinalar(leitores);
  else if (escritores_espera > 0)
    assinalar(escritores);
  abrir(m);
}
```

Departamento de Engenharia Informática

Leitores-Escritores

```
int nleitores=0;
boolean_t em_escrita=FALSE;
int leitores_espera=0, escritores_espera=0;

inicia_leitura()
{
  fechar(m);
  if (em_escrita || escritores_espera > 0) {
    leitores_espera++;
    abrir(m);
    esperar(leitores);
    fechar(m);
    leitores_espera--;
  }
  nleitores++;
  abrir(m);
}
acaba_leitura()
{
  fechar(m);
  nleitores--;
  if (nleitores == 0 && escritores_espera > 0)
    assinalar(escritores);
  abrir(m);
}
```

```
semaforo_t leitores=0, escritores=0;
trinco_t m;

inicia_escrita()
{
  fechar(m);
  if (em_escrita || nleitores > 0) {
    escritores_espera++;
    abrir(m);
    esperar(escritores);
    fechar(m);
    escritores_espera--;
  }
  em_escrita = TRUE;
  abrir(m);
}
acaba_escrita()
{
  fechar(m);
  em_escrita = FALSE;
  if (leitores_espera > 0)
    for (i=0; i<leitores_espera; i++)
      assinalar(leitores);
  else if (escritores_espera > 0)
    assinalar(escritores);
  abrir(m);
}
```

Problema: E se uma nova tarefa obtém acesso antes das tarefas assinaladas?

Leitores-Escritores

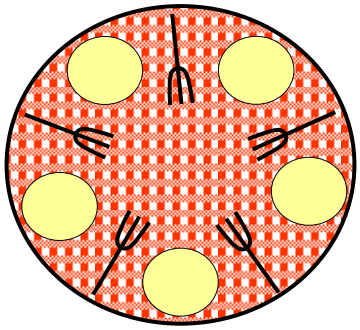
```
int nleitores=0;
boolean_t em_escrita=FALSE;
int leitores_espera=0, escritores_espera=0;

inicia_leitura()
{
  fechar(m);
  if (em_escrita || escritores_espera > 0) {
    leitores_espera++;
    abrir(m);
    esperar(leitores);
    fechar(m);
  }
  else
    nleitores++;
  abrir(m);
}
acaba_leitura()
{
  fechar(m);
  nleitores--;
  if (nleitores == 0 && escritores_espera > 0){
    assinalar(escritores);
    em_escrita=TRUE;
    escritores_espera--;
  }
  abrir(m);
}
```

```
semaforo_t leitores=0, escritores=0;
trinco_t m;

inicia_escrita()
{
  fechar(m);
  if (em_escrita || nleitores > 0) {
    escritores_espera++;
    abrir(m);
    esperar(escritores);
    fechar(m);
  }
  else
    em_escrita = TRUE;
  abrir(m);
}
acaba_escrita()
{
  fechar(m);
  em_escrita = FALSE;
  if (leitores_espera > 0)
    for (i=0; i<leitores_espera; i++) {
      assinalar(leitores);
      nleitores++;
      leitores_espera--;
    }
  else if (escritores_espera > 0) {
    assinalar(escritores);
    em_escrita=TRUE;
    escritores_espera--;
  }
  abrir(m);
}
```


Jantar dos Filósofos

- Cinco Filósofos estão reunidos para filosofar e jantar spaghetti. Para comer precisam de dois garfos, mas a mesa apenas tem um garfo por pessoa.
- Condições:
  - Os filósofos podem estar em um de três estados : *Pensar*; *Decidir comer* ; *Comer*.
  - O lugar de cada filósofo é fixo.
  - Um filósofo apenas pode utilizar os garfos imediatamente à sua esquerda e direita.

Jantar dos Filósofos



Jantar dos Filósofos com Semáforos, versão #1

```
semaforo_t garfo[5] = {1, 1, 1, 1, 1};

filosofo(int id)
{
    while (TRUE) {
        pensar();
        esperar(garfo[id]);
        esperar(garfo[(id+1)%5]);
        comer();
        assinalar(garfo[id]);
        assinalar(garfo[(id+1)%5]);
    }
}
```

- Problema?

Jantar dos Filósofos com Semáforos, versão #2

```
semaforo_t garfo[5] = {1, 1, 1, 1, 1};

filosofo(int id)
{
    while (TRUE) {
        pensar();
        if (id == 4) {
            esperar(garfo[(id+1)%5]);
            esperar(garfo[id]);
        } else {
            esperar(garfo[id]);
            esperar(garfo[(id+1)%5]);
        }
        comer();
        assinalar(garfo[id]);
        assinalar(garfo[(id+1)%5]);
    }
}
```

- Adquirir os semáforos **sempre pela mesma ordem** (ordem crescente de número de semáforo)
- Solução preventiva genérica para interblocagem
- Outras soluções:
  - Requisitar recursos no início da execução com chamada não bloqueante "trylock", libertar se falha
  - Detecção de interblocagem, libertação forçada por eliminação do processo

Departamento de Engenharia Informática

Jantar dos Filósofos com Semáforos, versão #3

```
#define PENSAR 0
#define FOME 1
#define COMER 2
#define  N 5
int estado[N] = {0, 0, 0, 0, 0};
semaforo_t semfilo[N] = {0, 0, 0, 0, 0};
trinco mutex;

Testa(int k){
  if (estado[k] == FOME &&
      estado[(k+1)%N] != COMER &&
      estado[(k-1)%N] != COMER){
      estado[k] = COMER;
      assinalar(semfilo[K]);
  }
}
```

```
filosofo(int id)
{
    while (TRUE) {
        pensar();
        fechar(mutex);
        estado[id] = FOME;
        Testa(id);
        abrir(mutex);
        esperar(semfilo[id]);
        comer();
        fechar(mutex);
        estado[id] = PENSAR;
        Testa((id-1+N)%N);
        Testa((id+1)%N);
        abrir(mutex);
    }
}
```

- Usar um semáforo para representar a condição de bloqueio (e não o estado dos garfos/filósofos),
- Representar o estado dos garfos/filósofos com variáveis acedidas numa secção crítica

Jantar dos Filósofos com Semáforos, versão #4

```
semaforo_t garfo[5] = {1, 1, 1, 1, 1};
semaforo_t sala = 4;

filosofo(int id)
{
    while (TRUE) {
        pensar();
        esperar(sala);
        esperar(garfo[id]);
        esperar(garfo[(id+1)%5]);
        comer();
        assinalar(garfo[id]);
        assinalar(garfo[(id+1)%5]);
        assinalar(sala);
    }
}
```

- Limitar o acesso à "sala" a N-1 filósofos (fica sempre pelo menos um garfo livre)

Monitores

Monitores

- Objectivo
  - Mecanismos de sincronização para linguagens de programação que resolvesse a maioria dos problemas de partilha de estruturas de dados:
    - Garantir implicitamente a exclusão mútua
    - Mecanismos para efectuar a sincronização explícita dos processos em algoritmos de cooperação ou de gestão de recursos

Monitores

- Declarado como um tipo abstracto, classe ou módulo:
  - Estrutura de dados interna
  - Interface Funcional:
    - Procedimentos acedidos em exclusão mútua
    - Procedimentos que não modificam o estado e que podem ser invocados sem ser em exclusão mútua.

Monitor – Concurrent Pascal

```
<NomeMonitor> = monitor
var

<Declaração dos Dados Permanentes do Monitor>


procedure < Nome > (<Parâmetros Formais>)
begin
      <Instruções do Procedimento>
end;


<Outros Procedimentos>


begin
      <Inicialização>
end;
```


Monitores - Sincronização

- Exclusão mútua - implícita na entrada no monitor
  - Tarefa que entre no monitor ganha acesso à secção crítica.
  - Tarefa que sai do monitor liberta a secção crítica.

Monitores - Sincronização

- Variáveis condição
  - Declaradas na estrutura de dados
  - Wait - Liberta a secção crítica. Tarefa é colocada numa fila associada à condição do wait.
  - Signal - assinala a condição. Se existirem tarefas na fila da condição, desbloqueia a primeira.

Semântica do signal

- Semântica habitual:
  - Signal desbloqueia uma tarefa da fila associada à condição.
  - Mas não liberta a secção crítica.
    - O monitor só é libertado quando a tarefa que chamou signal sai ou faz wait. Só então a tarefa que estava no wait poderá ganhar acesso à secção crítica.
    - Tarefa que estava no wait deverá então voltar a testar a condição, porque não é garantido que a condição se verifique ainda.
  - Se não existirem tarefas na fila, o efeito perde-se (ao contrário dos semáforos as condições não memorizam os acontecimentos).
- Existem outras semânticas

Monitores: semáforos (em .Net)

```
class semaforo {
  int contador =  0;

  semaforo (int valorInicial) {contador = valorInicial;}

  void esperar () {
    Monitor.Enter(this);
    contador --;
    while (contador < 0) Monitor.Wait(this);
    Monitor.Exit(this);
  }

  void assinalar () {
    Monitor.Enter(this);
    contador ++;
    if (contador <= 0) Monitor.Pulse(this);
    Monitor.Exit(this);
  }
}
```

Equivalente ao signal

Comparação Semáforos e Monitores

	Semáforos	Monitores
Exclusão Mútua	Mecanismo Básico de Sincronização: *Mutexes* ou Semáforo inicializado a 1	Implícita
Cooperação	Semáforos privados	Variáveis condição

Monitores e Java

- Monitores
  - Tipo específico
  - Condições são variáveis
  - Signal
  - Wait
- Java
  - Métodos synchronized
  - Uma condição por objecto
  - Notify
  - Wait
  - NotifyAll

Monitores: leitores/escritores (em Java)

```
class escritoresLeitores {
      int leitores = 0; int escritores = 0;
       int leitoresEmEspera = 0; int escritoresEmEspera  =  0;

      synchronized void iniciaLeitura () {
      leitoresEmEspera++;
      while (escritoresEmEspera > 0 || escritores > 0) wait();
      leitoresEmEspera--; leitores++;
      }
      synchronized void acabaLeitura () {leitores--; notifyAll();}

      synchronized void iniciaEscrita () {
      escritoresEmEspera++;
      while (leitores > 0 || escritores > 0) wait();
      escritoresEmEspera --; escritores ++;
      }

      synchronized void acabaEscrita () {escritores--; notifyAll();}
}
```

Monitores: caixa de correio (em Java)

```
class caixaCorreio {
      int MAX = 10;  int[] tampao = new int[MAX];
      int contador = 0;  int indPor = 0;  int indTirar = 0;

      synchronized void enviar () {
while (contador == MAX) wait();
      tampao[indPor] = mensagem;
      indPor++; if (indPor == MAX) indPor = 0; contador ++;
notifyAll();
      }

      synchronized void receber () {
      while (contador == 0) wait();
      mensagem = tampao[indTirar] ;
      indTirar++; if (indTirar == MAX) indTirar = 0; contador --;
notifyAll();
      }
}
```


Mecanismos Directos de Sincronização

- Objectivo
  - Suspender temporariamente a execução de subprocessos
- Limitações:
  - A sincronização directa implica o conhecimento do identificador do processo sobre o qual se pretende actuar.
  - Não se pode dar aos programas dos utilizadores a possibilidade de interferirem com outros utilizadores
  - A restrição habitual é apenas permitir o uso de sincronização directa entre processos do mesmo utilizador

Mecanismos Directos de Sincronização

- Funções que actuam directamente sobre o estado dos processos
  - `Suspender (IdProcesso)`
  - `Acordar (IdProcesso)`
- A função de suspensão é também frequentemente utilizada para implementar mecanismos de atraso temporizado que funcionam como uma auto-suspensão
  - `Adormecer (Período)`