# Infra-Estrutura de Software

**Processos e Threads**

# SO: Multitarefa

| Processo $P_0$ | Sistema Operacional | Processo $P_1$ |
| --- | --- | --- |

# SO: Multitarefa

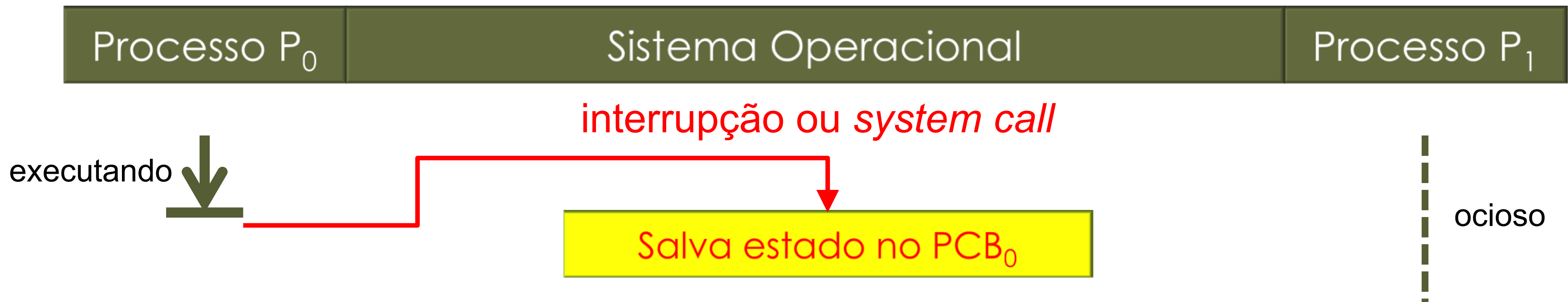
| Processo $P_0$ | Sistema Operacional | Processo $P_1$ |
|---|---|---|

executando

ocioso

**Processo $P_0$ em execução**

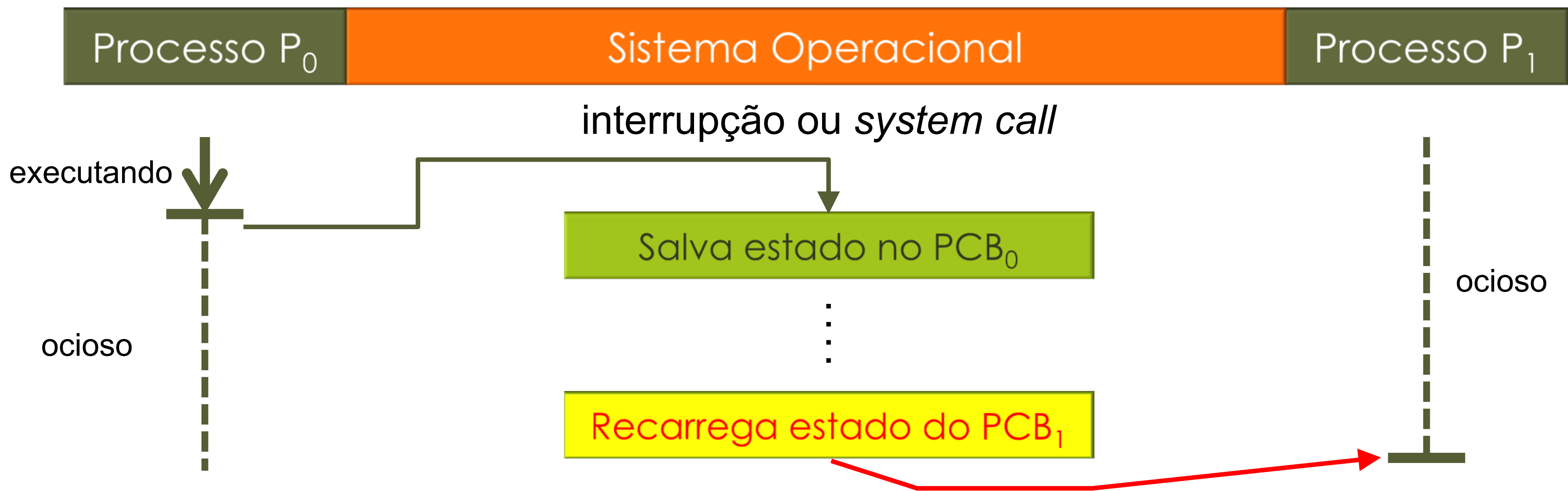
# SO: Multitarefa




Process Control Block: informações de contexto do processo

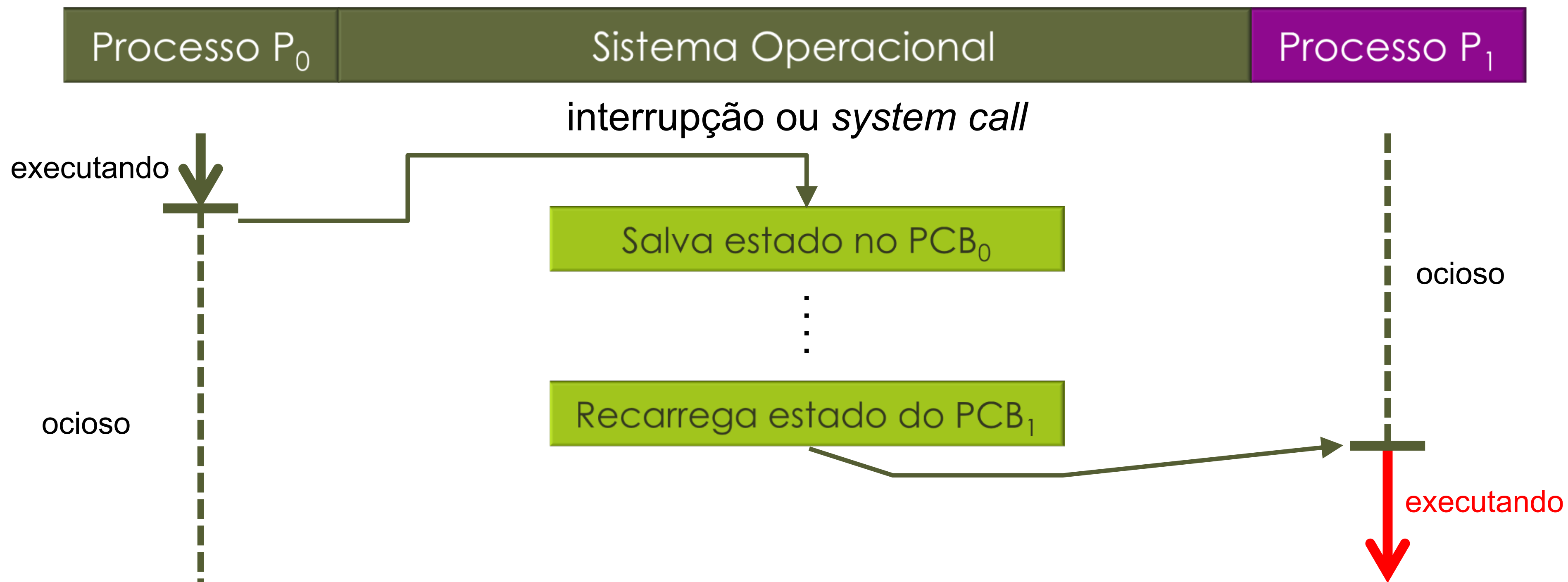
**Salva estado do Processo $P_0$ no $PCB_0$**

# SO: Multitarefa



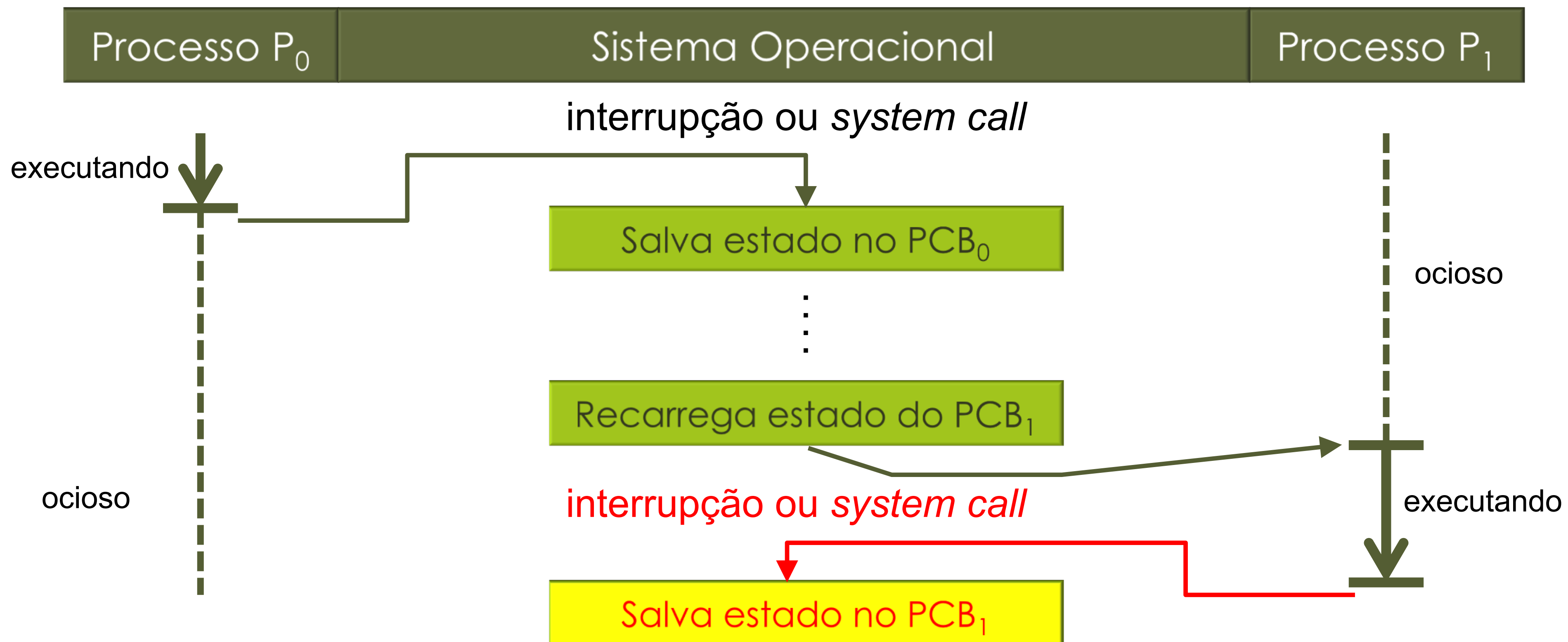

**Estado do Processo $P_1$ é recarregado do $PCB_1$**

# SO: Multitarefa

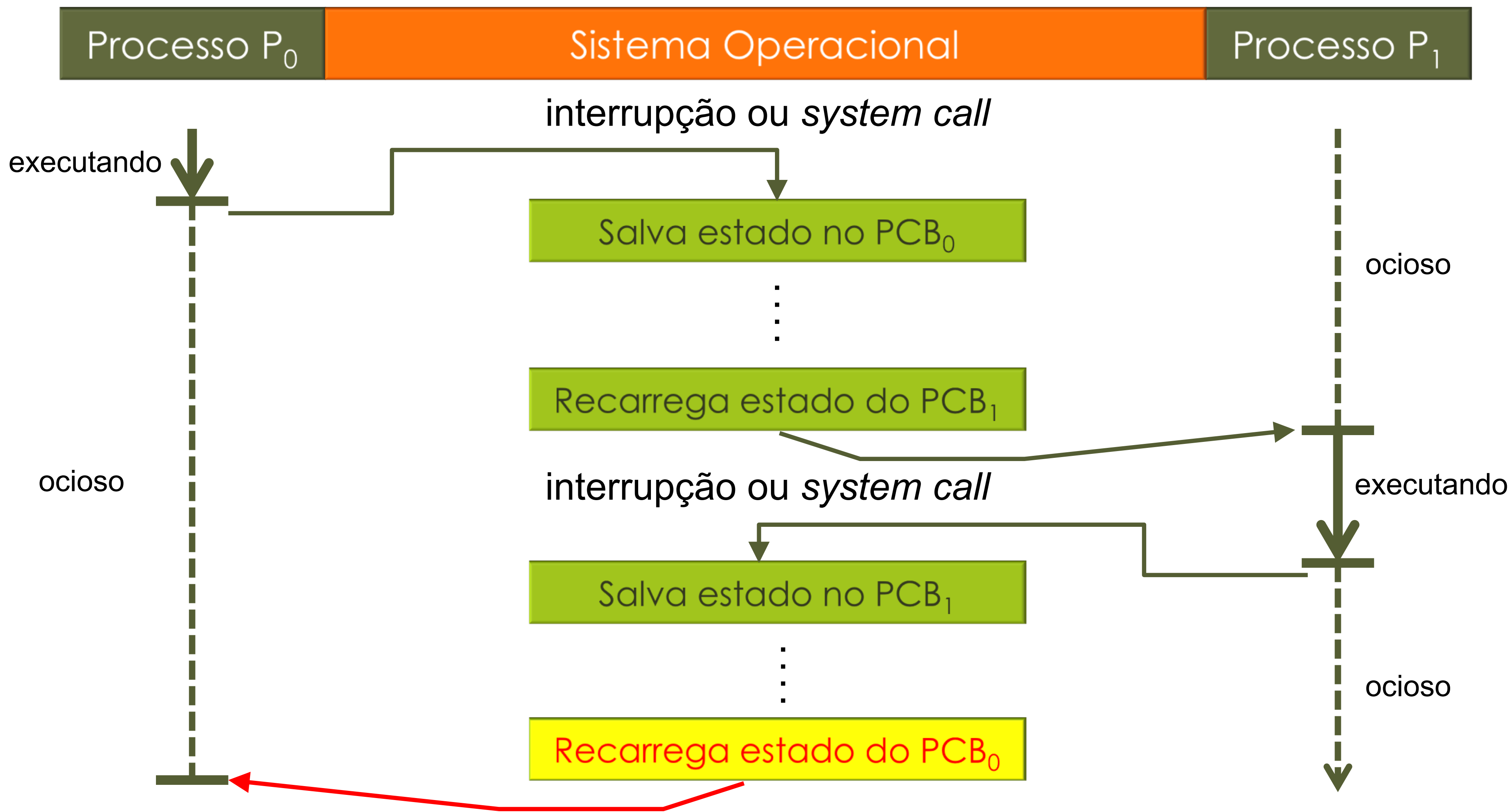



**Processo $P_1$ em execução**

# SO: Multitarefa

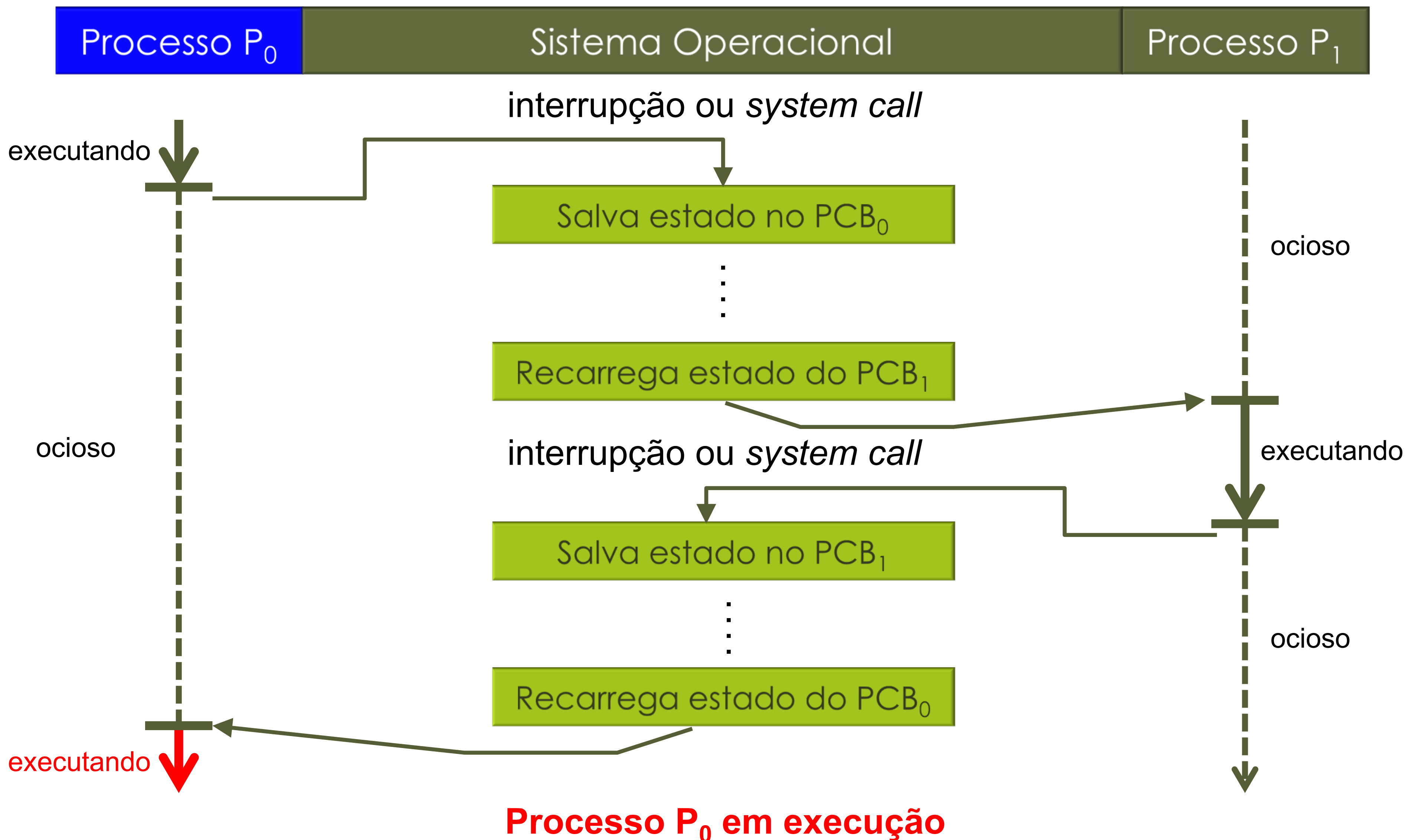


# SO: Multitarefa




**Estado do Processo $P_0$ é recarregado do $PCB_0$**

# SO: Multitarefa




**Processo $P_0$ em execução**

# Implementação de Processos

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

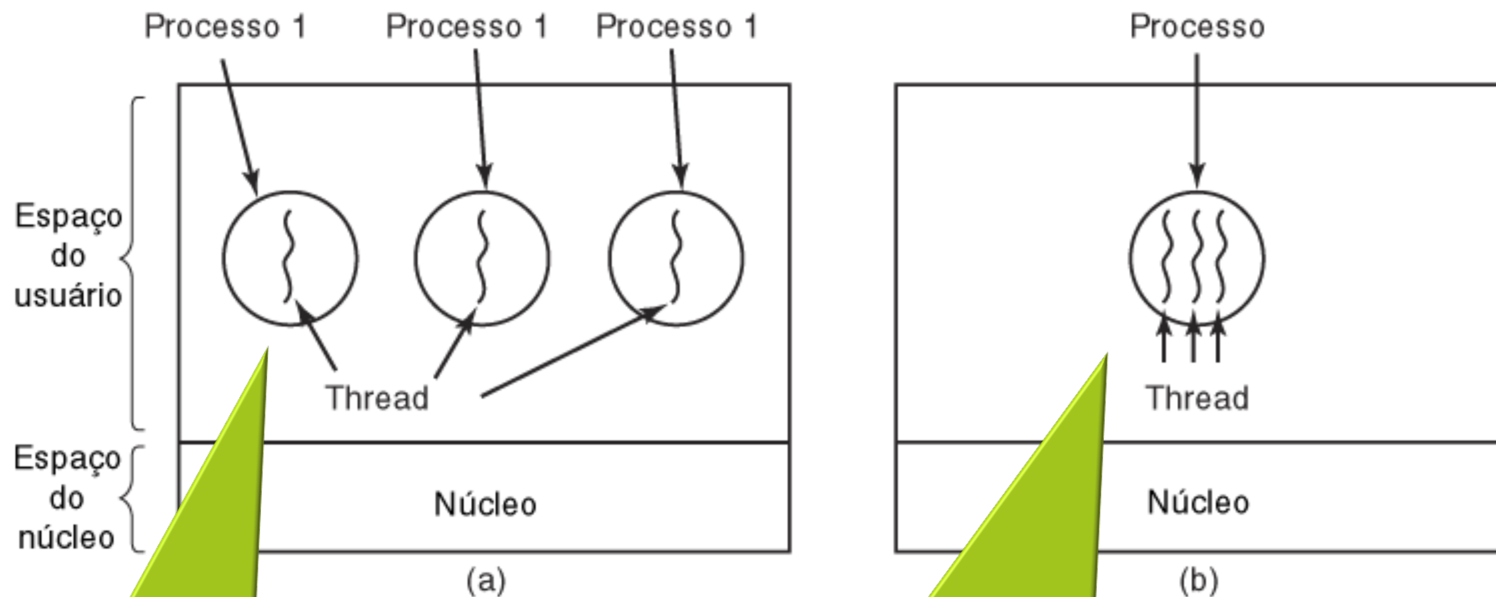
**Notificação da ocorrência de um evento**

Exs.:

SIGILL - Illegal instruction
SIGINT - Interrupt
SIGKILL - Kill (terminate immediately)
SIGSYS - Bad system call
SIGXCPU - CPU time limit exceeded
SIGXFSZ - File size limit exceeded

Campos da entrada de uma tabela de processos (**contexto**)

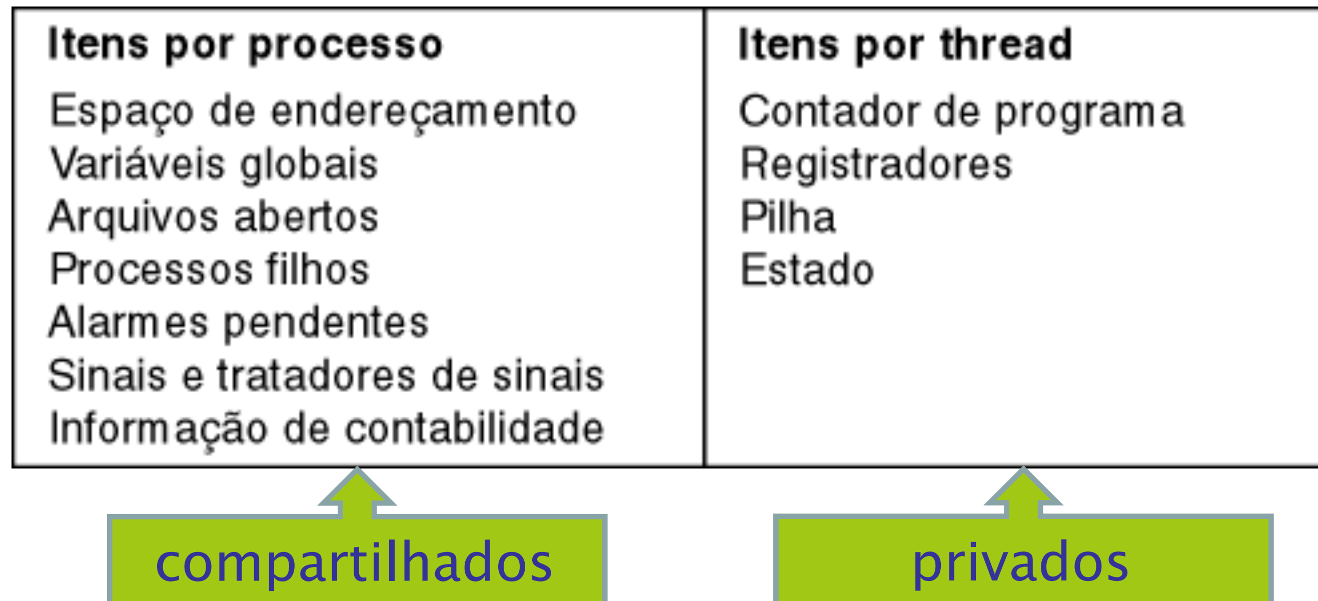
# Threads: O Modelo (1)




Cada processo tem um espaço de endereçamento e uma única linha (*thread*) de controle/execução

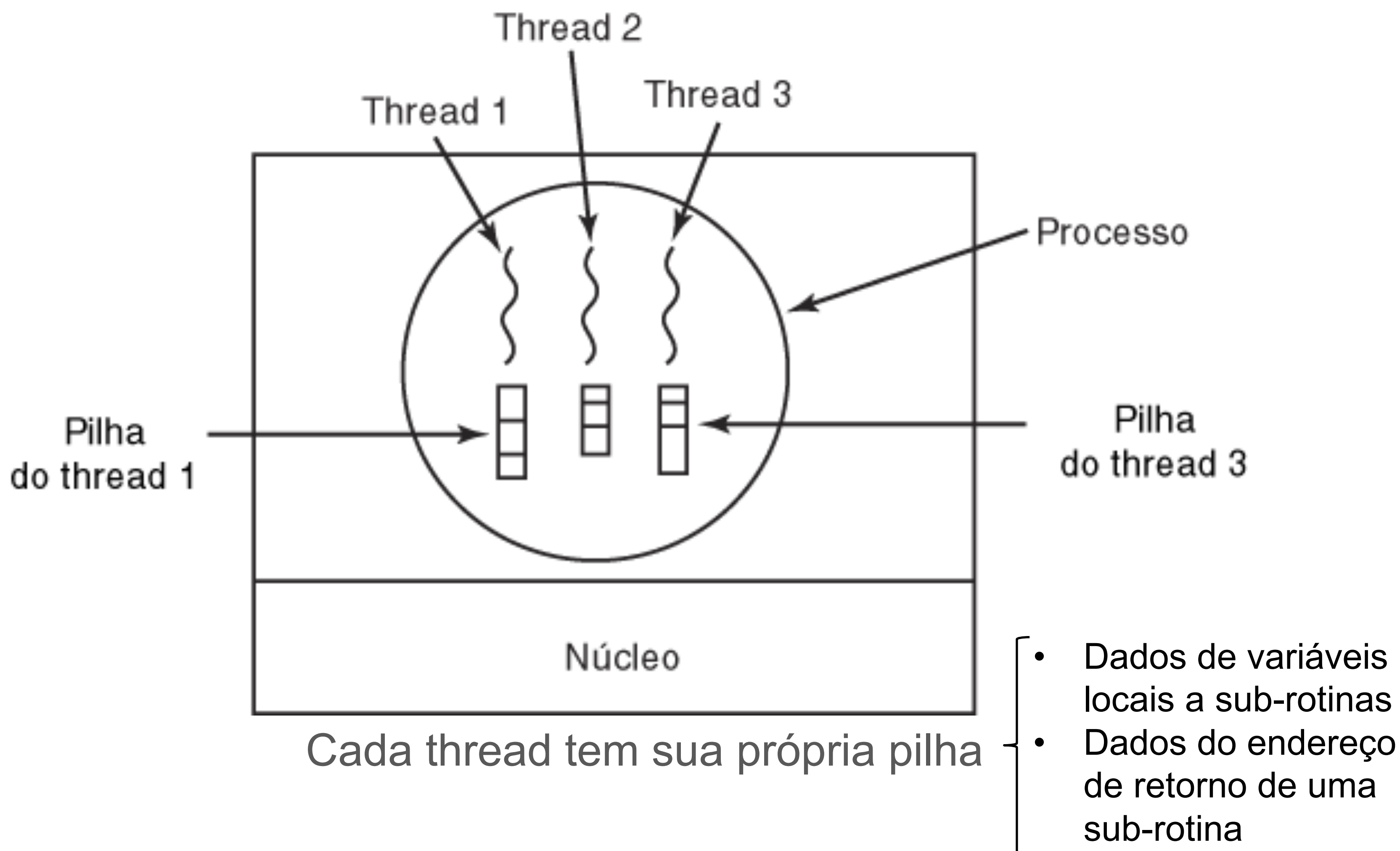
No entanto, há várias situações em que é desejável ter múltiplas linhas de controle no mesmo espaço de endereçamento rodando em "paralelo" como se fossem processos (leves) separados (exceto pelo espaço de endereçamento compartilhado)

# O Modelo de Thread (2)



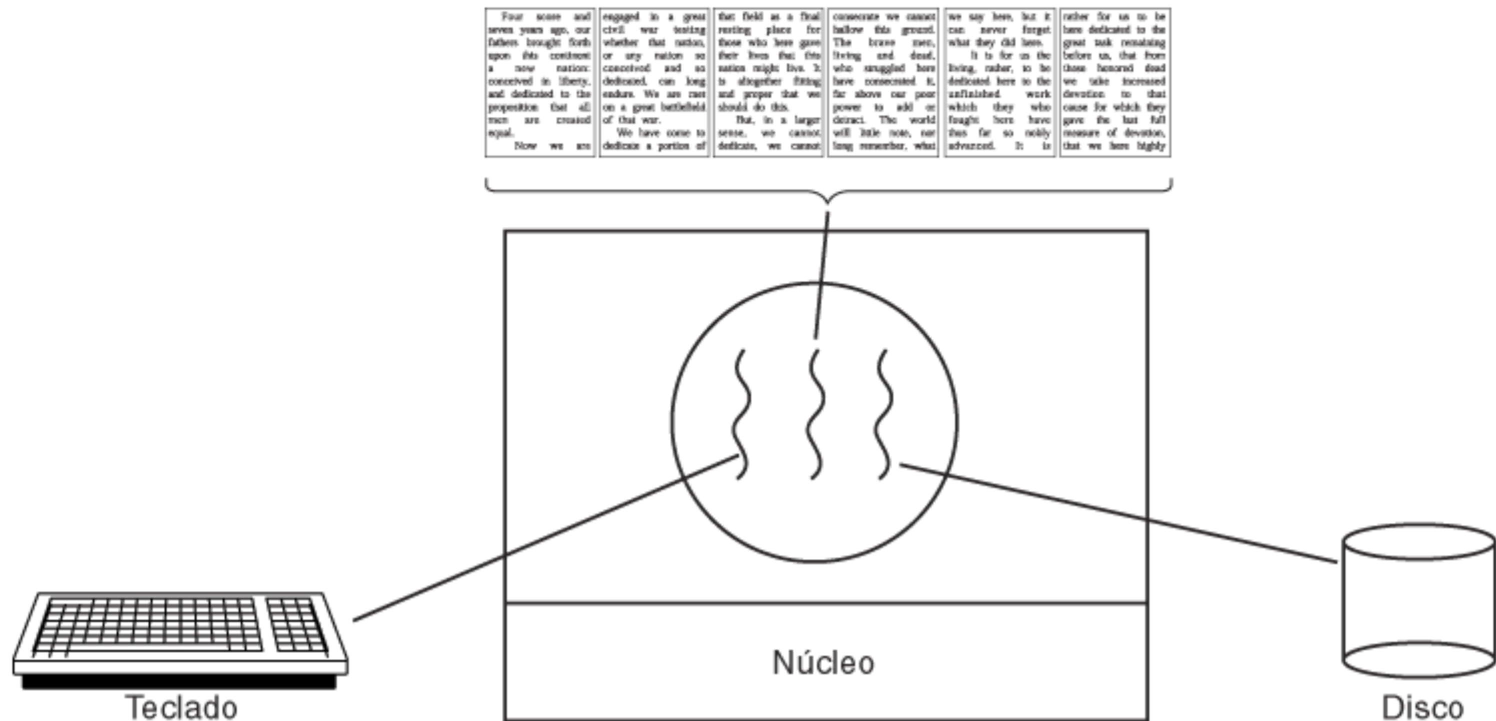
| Itens por processo | Itens por thread |
|---|---|
| Espaço de endereçamento | Contador de programa |
| Variáveis globais | Registradores |
| Arquivos abertos | Pilha |
| Processos filhos | Estado |
| Alarmes pendentes | |
| Sinais e tratadores de sinais | |
| Informação de contabilidade | |

# O Modelo de Thread (3)



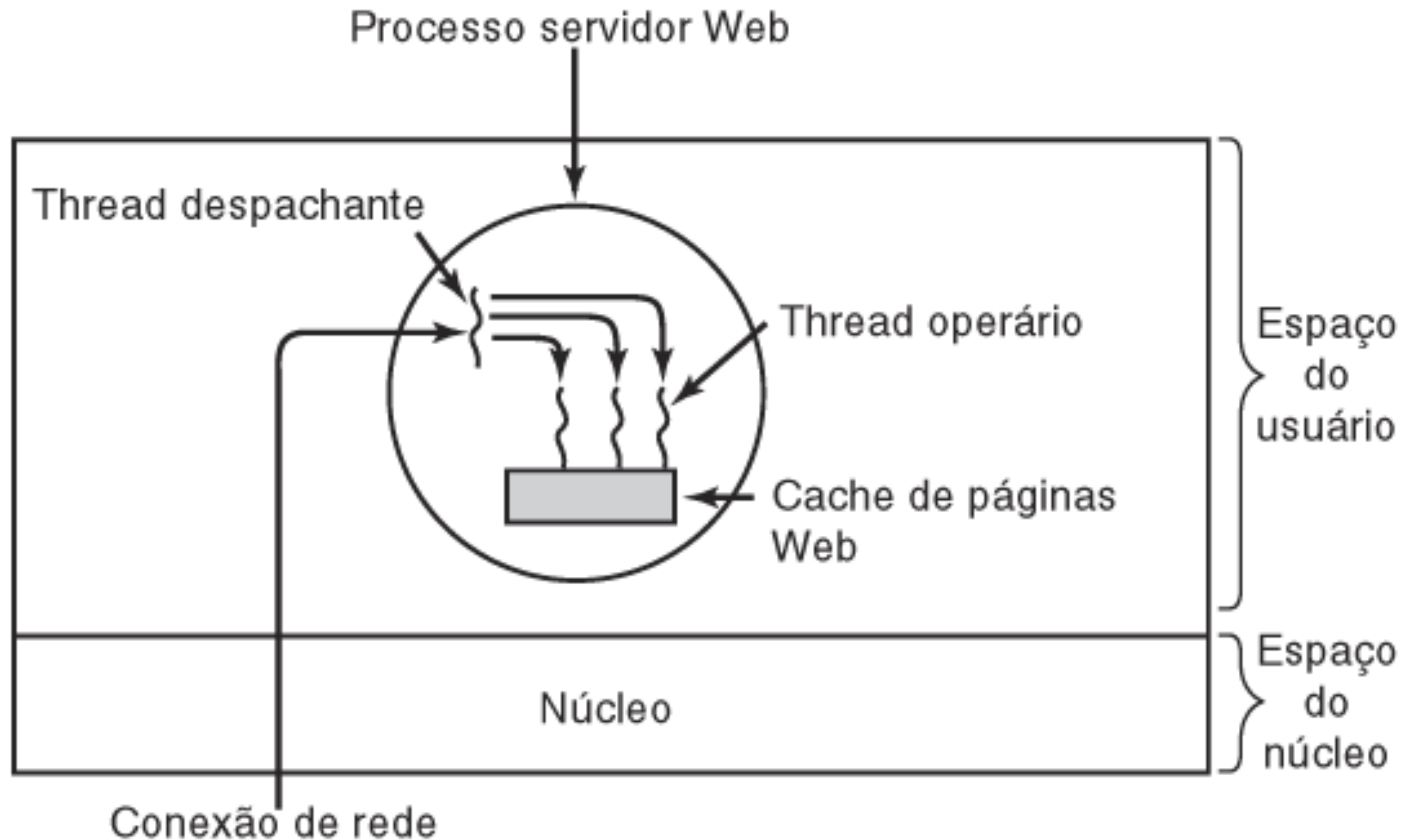

Cada thread tem sua própria pilha

# Uso de Thread (1)




Um processador de texto com três threads

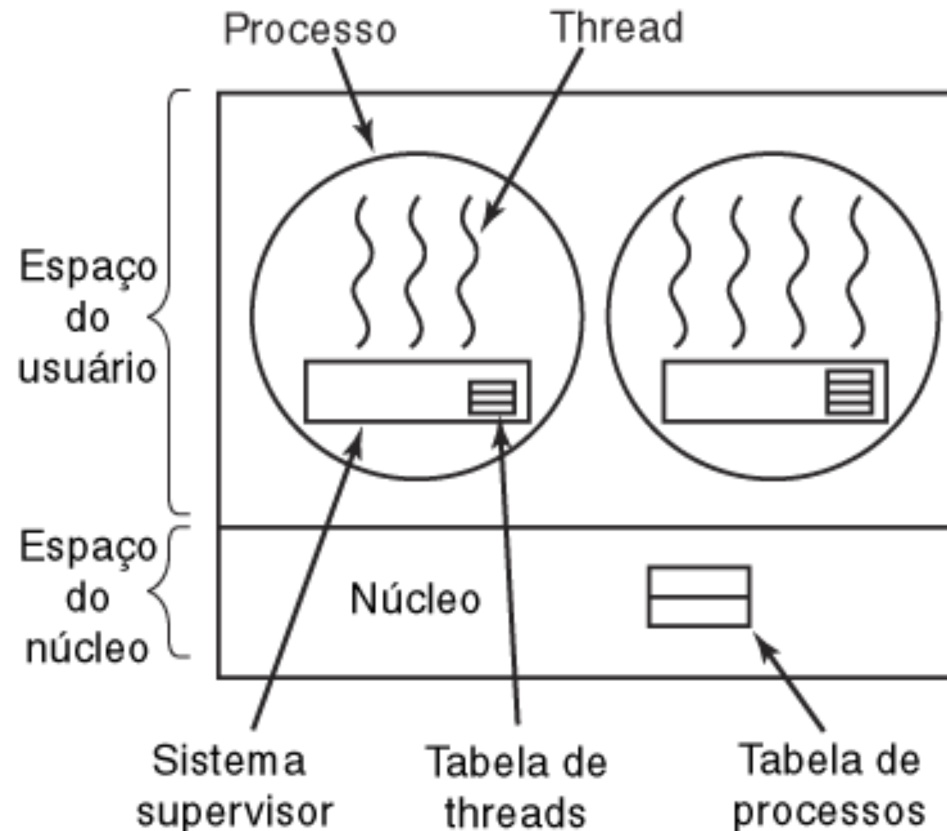
# Uso de Thread (2)




**Um servidor web com múltiplas threads**

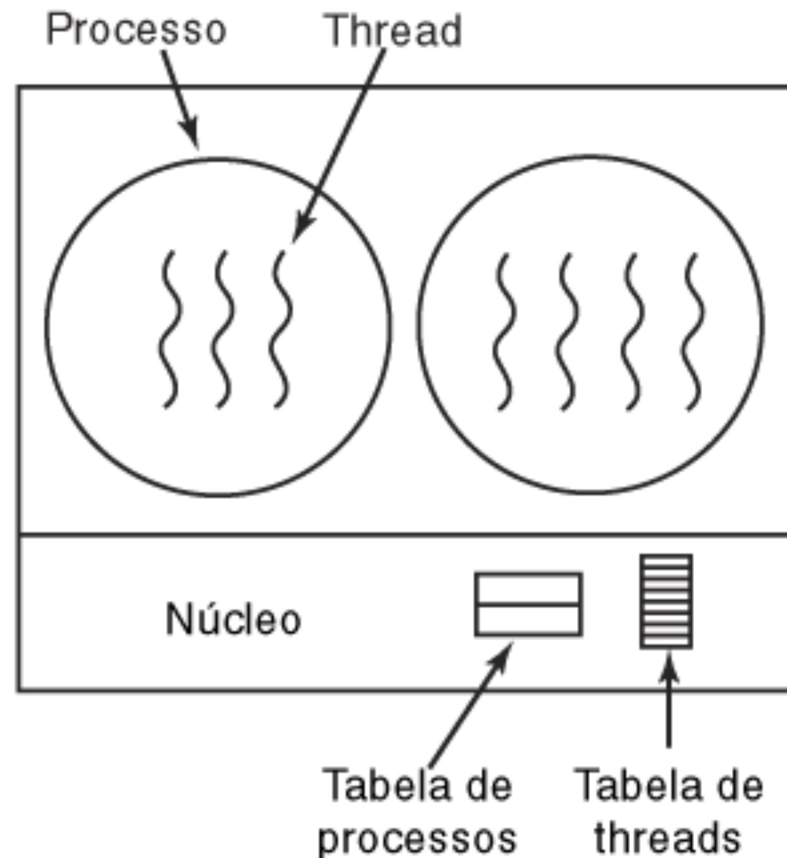
*vs* um serviço Web com múltiplos servidores (mais adiante)

# Implementação de Threads de Usuário



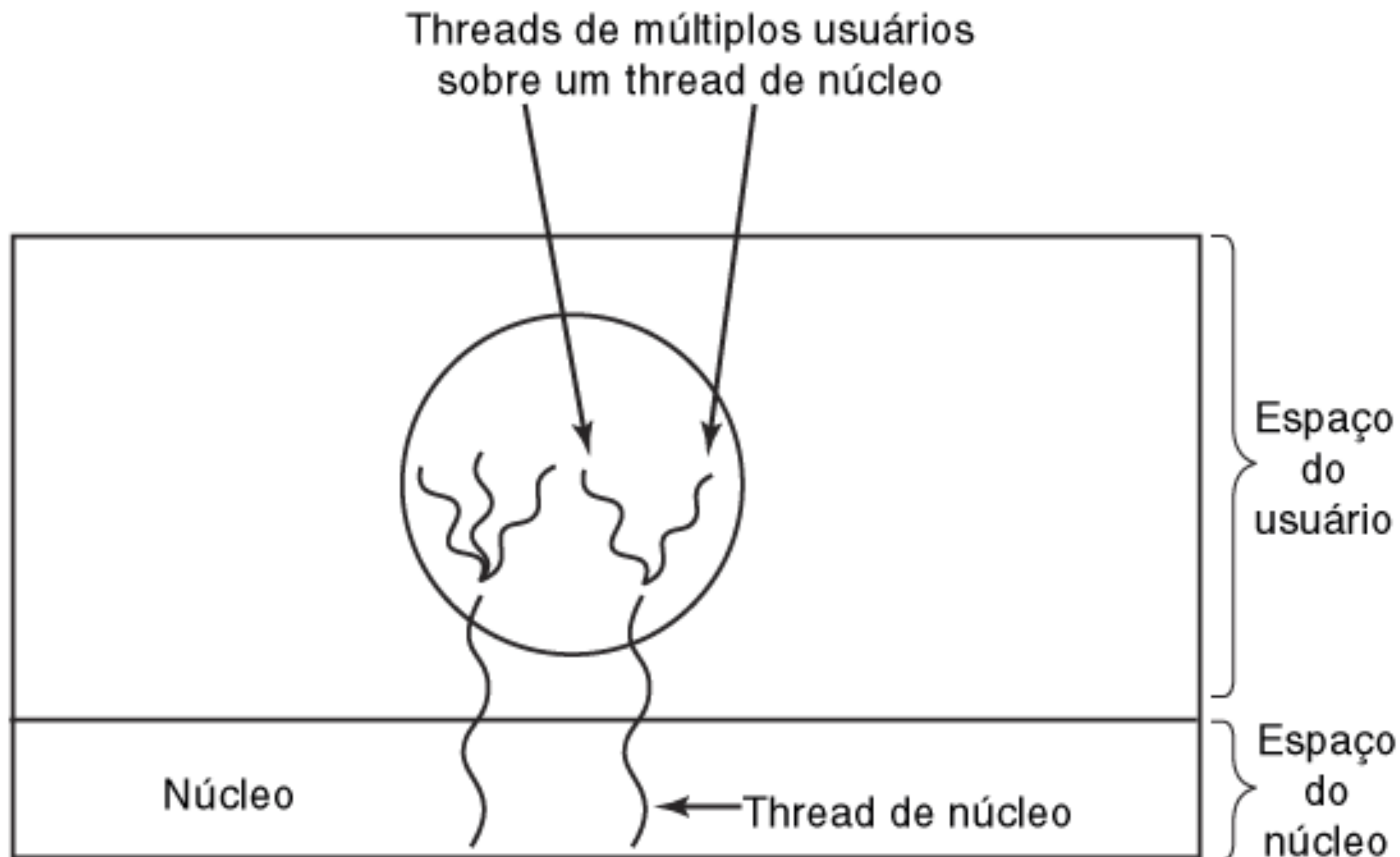

Um pacote de threads de usuário

# Implementação de Threads de Núcleo



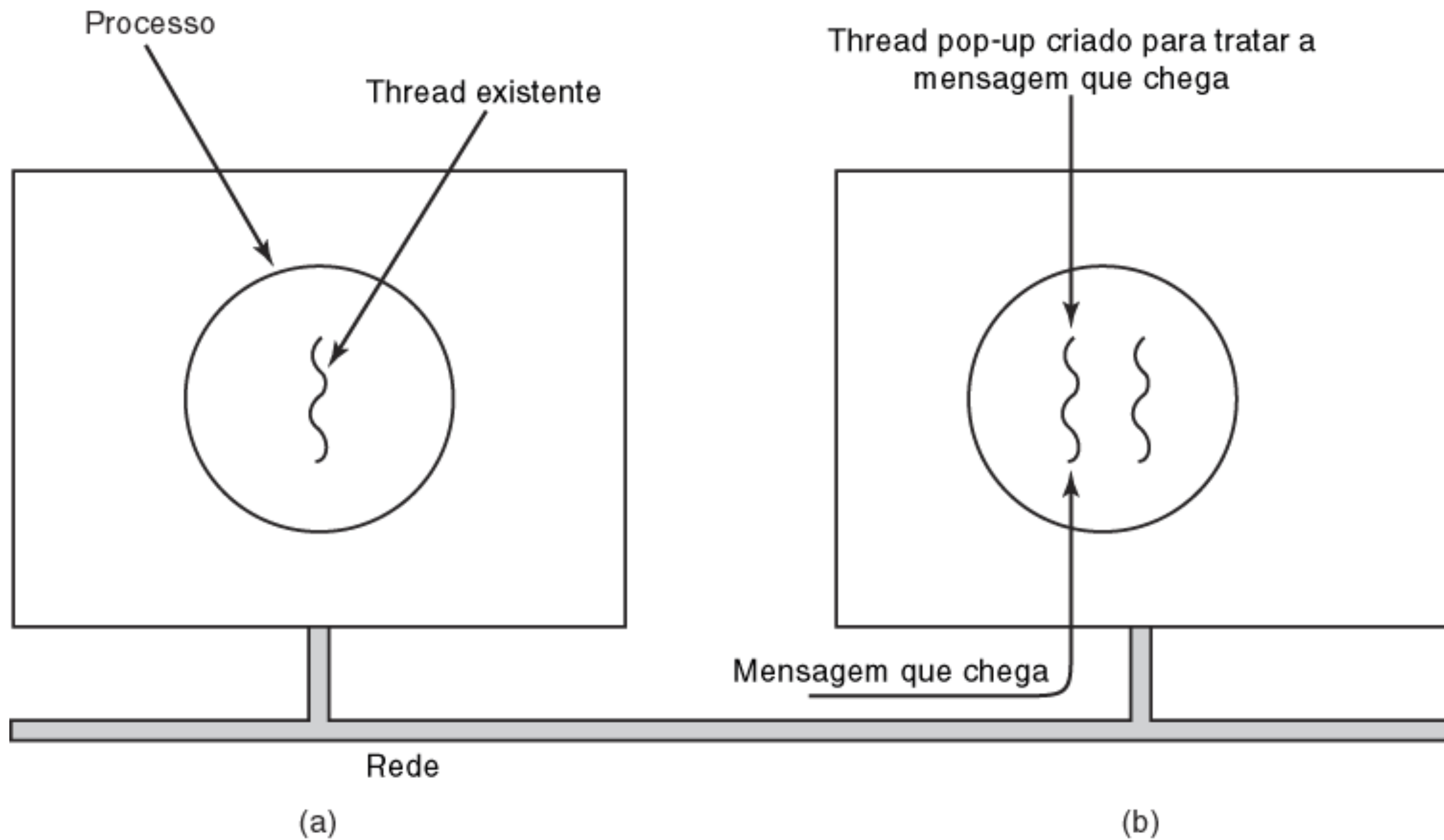

Um pacote de threads gerenciado pelo núcleo

# Implementações Híbridas




Multiplexação de threads de usuário sobre threads de núcleo

# Criação de um novo thread quando chega uma mensagem



# Processos e Threads

- *Threads* = processos **leves**
- Threads de usuário
  - SO gerencia tabela de processos
- Threads de núcleo
  - SO gerencia tabelas de processos e de threads (de núcleo)

# Motivação para Threads: Concorrência

- Problemas:
  - Programas que precisam de mais poder computacional
  - Dificuldade de implementação de CPUs mais rápidas

- Solução:
  - Construção de computadores capazes de executar várias tarefas simultaneamente

# Problemas com Concorrência

- Não-determinismo
  - x = 1 | | x = 2
    - Qual o valor de "x" após a sua execução?
- Dependência de Velocidade
  - [[ f(); x = 1 ]] | | [[ g(); x = 2 ]]
  - O valor final de x depende de qual das funções, f() e g(), terminar primeiro
- *Starvation*
  - Processo de baixa prioridade precisa de um recurso que nunca é fornecido a ele...

Hermano P. Moura

# Problemas com Concorrência (cont.)

- *Deadlock*
  - Um sistema de bibliotecas só fornece o "nada consta" para alunos matriculados e o sistema de matricula só matricula os alunos perante a apresentação do "nada consta"

  – **Definição**: dois processos bloqueiam a sua execução pois um precisa de um recurso bloqueado pelo outro processo

Veremos mais detalhes

**Conceitos**: **starvation** e **deadlock**

Hermano P. Moura

# Apesar dos problemas...

Mais sobre concorrência

# Razões para ter processos leves (*threads*)

- Em muitas aplicações, várias atividades acontecem ao mesmo tempo – **mundo real**
  - O **modelo de programação** (*modelando o mundo real*) se torna mais simples (ou *realista*) decompondo uma aplicação em várias *threads* sequenciais que executam em "paralelo"
- Dado que *threads* são mais leves do que processos, elas são mais fácies (rápidas) de criar e destruir do que processos
  - Criar uma *thread* pode ser **10-100 vezes mais rápido** que criar um processo
  - Quando a necessidade do número de *threads* muda dinâmica e rapidamente, esta propriedade é bastante útil

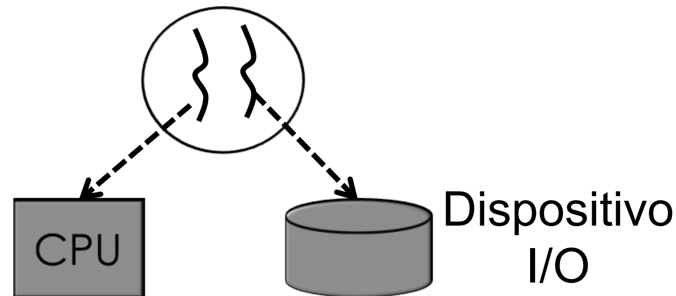
# Comparação de desempenho: processo x thread

| Plataforma | fork() | pthread_create() |
| --- | --- | --- |
| AMD 2.4 GHz Opteron (8 cpus/node) | 41.07 | 0.66 |
| IBM 1.9 GHz POWER5 p5575 (8 cpus/node) | 64.24 | 1.75 |
| IBM 1.5 GHz POWER4 (8 cpus/node) | 104.05 | 2.01 |
| INTEL 2.4 GHz Xeon (2 cpus/node) | 54.95 | 1.64 |
| INTEL 1.4 GHz Itanium2 (4 cpus/node) | 54.54 | 2.03 |

Tempos em ms

# Razões para ter *threads* (cont)

- Ganhos de velocidade em processos onde atividades de I/O e de computação (CPU) podem ser sobrepostas




- ***Threads* não levam a ganhos de desempenho quando todas são *CPU-bound***

segue...

- *Threads* são úteis, claro, em sistemas com múltiplas CPUs ou *cores* ➔ paralelismo real

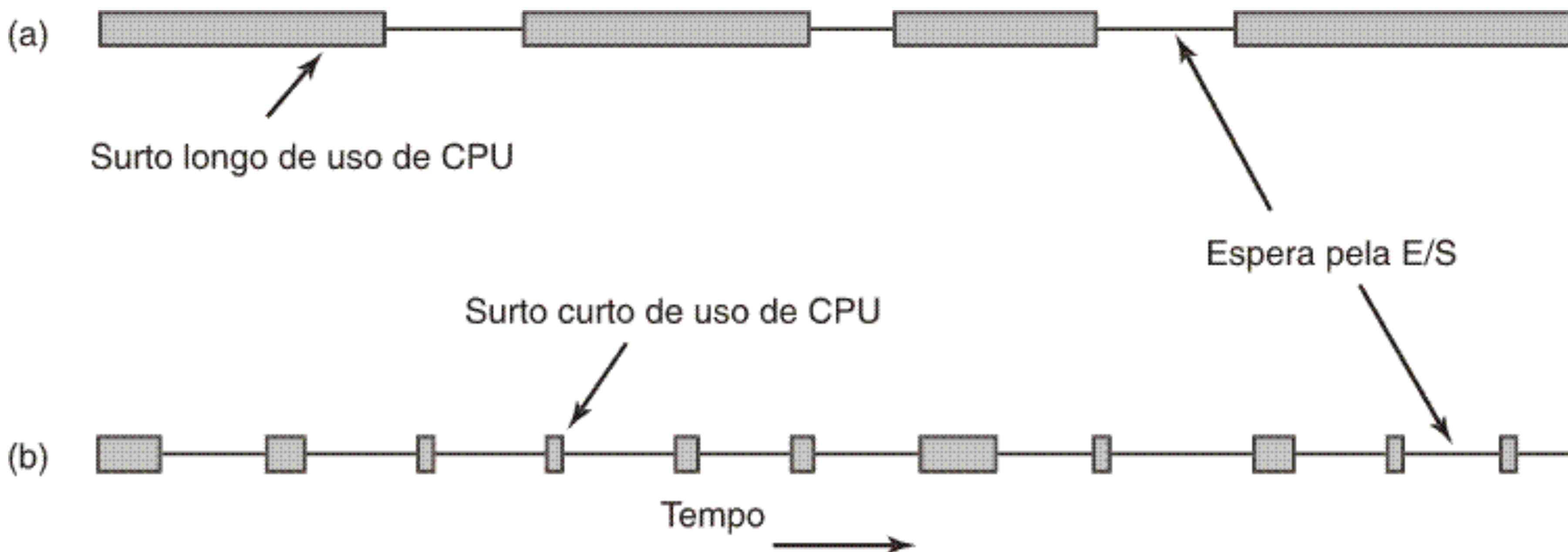
# Tipos de Processo
(incl. *thread* – processo leve)

- CPU-bound:
  - Se o processo gasta a maior parte do seu tempo usando a CPU ele é dito orientado à computação (compute-bound ou CPU-bound)
  - processos com longos tempos de execução e baixo volume de comunicação entre processos
    - ex: aplicações científicas, engenharia e outras aplicações que demandam alto desempenho de computação
- I/O-bound:
  - Se um processo passa a maior parte do tempo esperando por dispositivos de E/S, diz-se que o processo é orientado à E/S (I/O-bound)

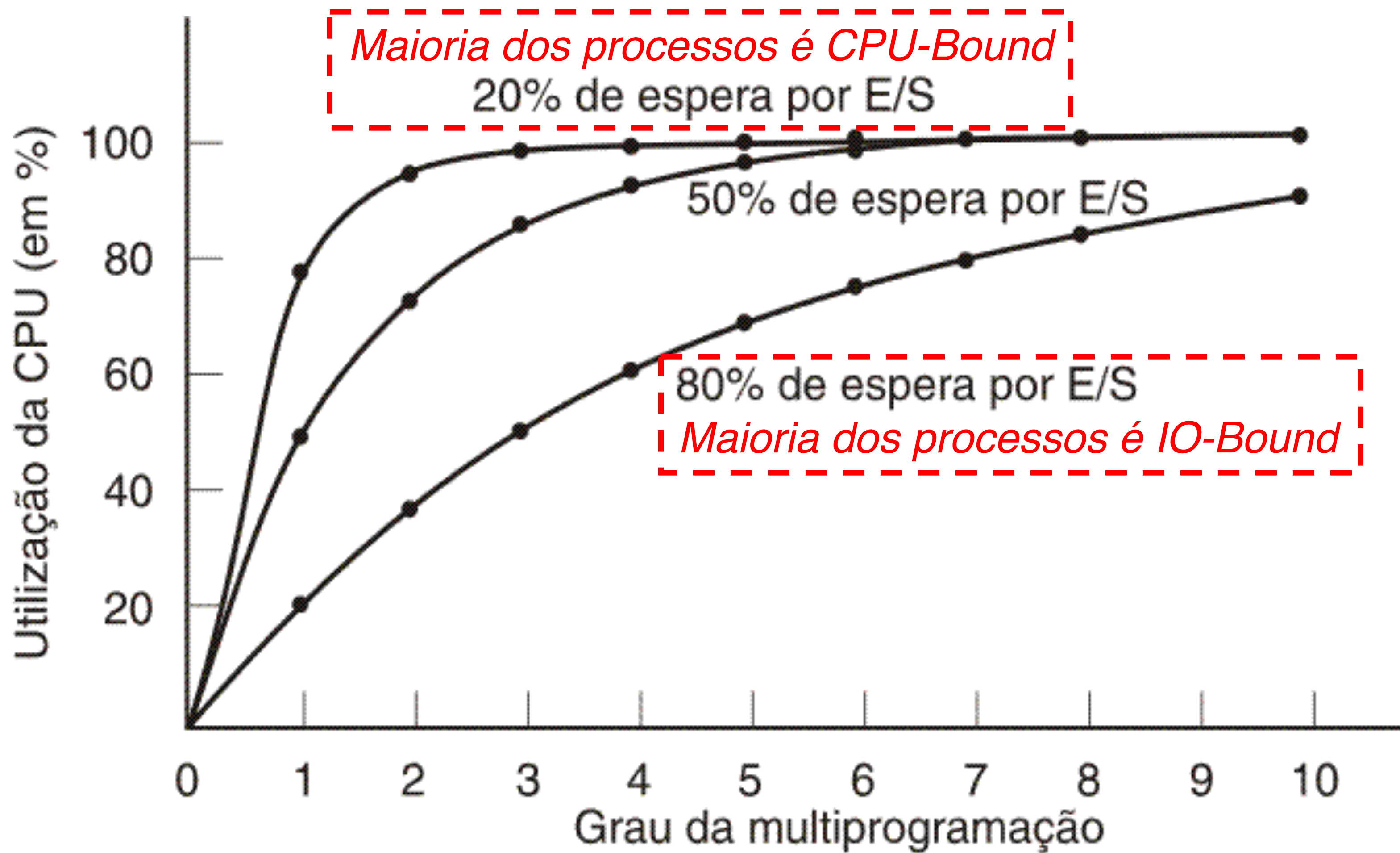
➢ processos I/O-bound devem ter prioridade sobre processos CPU-bound

# Comportamentos de Processos

- Surtos de uso da CPU alternam-se com períodos de espera por E/S
  a) um processo orientado à CPU
  b) um processo orientado à E/S



# Modelagem de Multiprogramação
comparação entre processos CPU-bound e IO-bound




Utilização da CPU como uma função do número de processos na memória

# POSIX **Threads (Pthreads)**

Modelo de execução de *threads* independente de linguagem, geralmente implementado como biblioteca

**POSIX: Portable Operating System Interface**

# POSIX Threads (1)

- Padrão IEEE POSIX 1003.1c (1995)
- Pthreads são um conjunto de bibliotecas para a linguagem C, por exemplo, que podem ser implementadas como uma biblioteca à parte ou parte da própria biblioteca C.
- Existem versões da biblioteca
- Cerca de 60 subrotinas
- Algumas chamadas de funções Pthreads:

- Thread Creation, Control, Cleanup
- Thread Scheduling
- Thread Synchronization
- Signal Handling

| Thread call | Description |
|---|---|
| Pthread_create | Create a new thread |
| Pthread_exit | Terminate the calling thread |
| Pthread_join | Wait for a specific thread to exit |
| Pthread_yield | Release the CPU to let another thread run |
| Pthread_attr_init | Create and initialize a thread's attribute structure |
| Pthread_attr_destroy | Remove a thread's attribute structure |

# POSIX Threads (2)

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define NUMBER_OF_THREADS     10

void *print_hello_world(void *tid)
{
      /* This function prints the thread’s identifier and then exits. */
      printf("Hello World. Greetings from thread %d0, tid);
      pthread_exit(NULL);
}
   . . .
```

# POSIX Threads (3)

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define NUMBER_OF_THREADS    10

void *print_hello_world(void *tid)
{
        /* This function prints the thread's identifier and then exits. */
        printf("Hello World. Greetings from thread %d0, tid);
        pthread_exit(NULL);
}

int main(int argc, char *argv[])
{
        /* The main program creates 10 threads and then exits. */
        pthread_t threads[NUMBER_OF_THREADS];
        int status, i;

        for(i=0; i < NUMBER_OF_THREADS; i++) {
                printf("Main here. Creating thread %d0, i);
                status = pthread_create(&threads[i], NULL, print_hello_world, (void *)i);

                if (status != 0) {
                        printf("Oops. pthread_create returned error code %d0, status);
                        exit(-1);
                }
        }
        exit(NULL);
}
```

# Exercício

- Executando **n** vezes e verificando a ordem de execução das *threads* criadas …

threads01v1 – Debugger Console

Release | x86_64 — Overview | Breakpoints | Build and Run | Tasks | Restart | Pause | Clear Log

```
Copyright 2004 Free Software Foundation, Inc.
GDB is free software, covered by the GNU General Public License, and you are
welcome to change it and/or distribute copies of it under certain conditions.
Type "show copying" to see the conditions.
There is absolutely no warranty for GDB.  Type "show warranty" for details.
This GDB was configured as "x86_64-apple-darwin".tty /dev/ttys000
Loading program into debugger…
Program loaded.
run
[Switching to process 5762]
Running…
Thread 0 created
Hello World from thread 0.0
Hello World from thread 1.1
Thread 1 created
Hello World from thread 1.2
Hello World from thread 1.0
Hello World from thread 2.3
Thread 2 created
Hello World from thread 2.0
Hello World from thread 2.1
Hello World from thread 2.4
Hello World from thread 3.1
Thread 3 created
Hello World from thread 3.0
Hello World from thread 3.2
Hello World from thread 3.5
Hello World from thread 3.2
Thread 4 created
Hello World from thread 4.0

Debugger stopped.
Program exited with status value:0.
[Session started at 2011-03-30 16:22:48 -0300.]
GNU gdb 6.3.50-20050815 (Apple version gdb-1515) (Sat Jan 15 08:33:48 UTC 2011)
Copyright 2004 Free Software Foundation, Inc.
GDB is free software, covered by the GNU General Public License, and you are
welcome to change it and/or distribute copies of it under certain conditions.
Type "show copying" to see the conditions.
There is absolutely no warranty for GDB.  Type "show warranty" for details.
This GDB was configured as "x86_64-apple-darwin".tty /dev/ttys001
Loading program into debugger…
Program loaded.
run
[Switching to process 5772]
Thread 0 created
Hello World from thread 0.0
Thread 1 created
Hello World from thread 1.1
Hello World from thread 1.0
Thread 2 created
Hello World from thread 2.2
Hello World from thread 2.0
Hello World from thread 2.1
Thread 3 created
Hello World from thread 3.3
Hello World from thread 3.0
Hello World from thread 3.1
Hello World from thread 3.2
Thread 4 created
Running…

Debugger stopped.
Program exited with status value:0.
```

Debugging of "threads01v1" ended normally. Succeeded

threads01v1.c – threads01v1

Release | x86_64 — Overview | Action | Breakpoints | Build and Run | Tasks | Info | String Matching Search

Groups & Files: threads01v1, Source, Documentation, Products, Targets, Executables, Find Results, Bookmarks, SCM, Project Symbols, Implementation Files, Interface Builder Files

| File Name | Code |
|---|---|
| threads01v1 | |
| threads01v1.1 | |
| threads01v1.c | 7K |

threads01v1.c:6 <No selected symbol>

```c
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define NUMBER_OF_THREADS 5
#define NUMBER_OF_MESSAGES 1000

void *PrintHello(int* pt) {
    int i;
    for (i=0; i < NUMBER_OF_MESSAGES; i++) {
        printf("Hello World from thread %d.%d\n", *pt, i);
    }
    pthread_exit(NULL);
}

int main (int argc, const char * argv[]) {
    // insert code here...
    // printf("Hello, World!\n");
    // return 0;
    pthread_t threads[NUMBER_OF_THREADS];
    int status, t;

    for(t=0; t < NUMBER_OF_THREADS; t++) {
        // printf("Creating thread %d\n", t);
        status = pthread_create(&threads[t], NULL, (void *)PrintHello, &t);

        if (status != 0) {
            printf("ERROR. Pthread_create returned error code %d", status);
            exit(-1);
        }

        printf("Thread %d created\n", t);
    }
    exit(0);
}
```

Debugging of "threads01v1" ended normally. Succeeded

```
welcome to change it and/or distribute copies of it under certain conditions.
Type "show copying" to see the conditions.
There is absolutely no warranty for GDB.  Type "show warranty" for details.
This GDB was configured as "x86_64-apple-darwin".tty /dev/ttys000
Loading program into debugger…
Program loaded.
run
[Switching to process 5762]
Running…
Thread 0 created
Hello World from thread 0.0
Hello World from thread 1.1
Thread 1 created
Hello World from thread 1.2
Hello World from thread 1.0
Hello World from thread 2.3
Thread 2 created
Hello World from thread 2.0
Hello World from thread 2.1
Hello World from thread 2.4
Hello World from thread 3.1
Thread 3 created
Hello World from thread 3.0
Hello World from thread 3.2
Hello World from thread 3.5
Hello World from thread 3.2
Thread 4 created
Hello World from thread 4.0

Debugger stopped.
Program exited with status value:0.
[Session started at 2011-03-30 16:22:48 -0300.]
GNU gdb 6.3.50-20050815 (Apple version gdb-1515) (Sat Jan 15 08:33:48 UTC 2011)
Copyright 2004 Free Software Foundation, Inc.
GDB is free software, covered by the GNU General Public License, and you are
welcome to change it and/or distribute copies of it under certain conditions.
Type "show copying" to see the conditions.
There is absolutely no warranty for GDB.  Type "show warranty" for details.
This GDB was configured as "x86_64-apple-darwin".tty /dev/ttys001
Loading program into debugger…
Program loaded.
run
[Switching to process 5772]
Thread 0 created
Hello World from thread 0.0
Thread 1 created
Hello World from thread 1.1
Hello World from thread 1.0
Thread 2 created
Hello World from thread 2.2
Hello World from thread 2.0
Hello World from thread 2.1
Thread 3 created
Hello World from thread 3.3
Hello World from thread 3.0
Hello World from thread 3.1
Hello World from thread 3.2
Thread 4 created
Running…

Debugger stopped.
Program exited with status value:0.
```

Debugging of "threads01v1" ended normally. Succeeded

Source
Documentation
Products
Targets
Executables
Find Results
Bookmarks
SCM
Project Symbols
Implementation Files
Interface Builder Files

threads01v1.1
threads01v1.c

threads01v1.c:6 <No selected symb

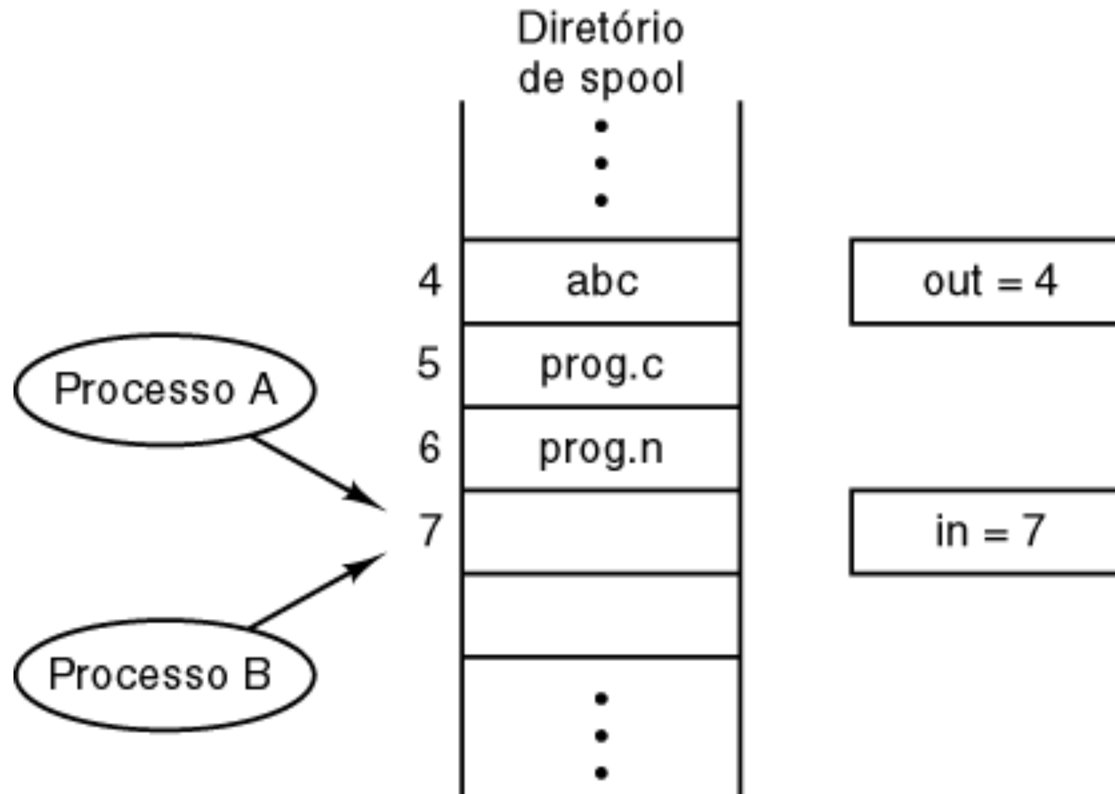
```c
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define NUMBER_OF_THREADS 5
#define NUMBER_OF_MESSAGES 1000

void *PrintHello(int* pt) {
    int i;
    for (i=0; i < NUMBER_OF_MESSAGES
        printf("Hello World from thr
    }
    pthread_exit(NULL);
}

int main (int argc, const char * arg
    // insert code here...
    // printf("Hello, World!\n");
    // return 0;
    pthread_t threads[NUMBER_OF_THRE
    int status, t;

    for(t=0; t < NUMBER_OF_THREADS;
        // printf("Creating thread %
        status = pthread_create(&thr

        if (status != 0) {
            printf("ERROR. Pthread_c
            exit(-1);
        }

        printf("Thread %d created\n"
    }
    exit(0);
}
```

Debugging of "threads01v1" ended normally.

# Concorrência

Continuação

# Condições de Disputa/Corrida

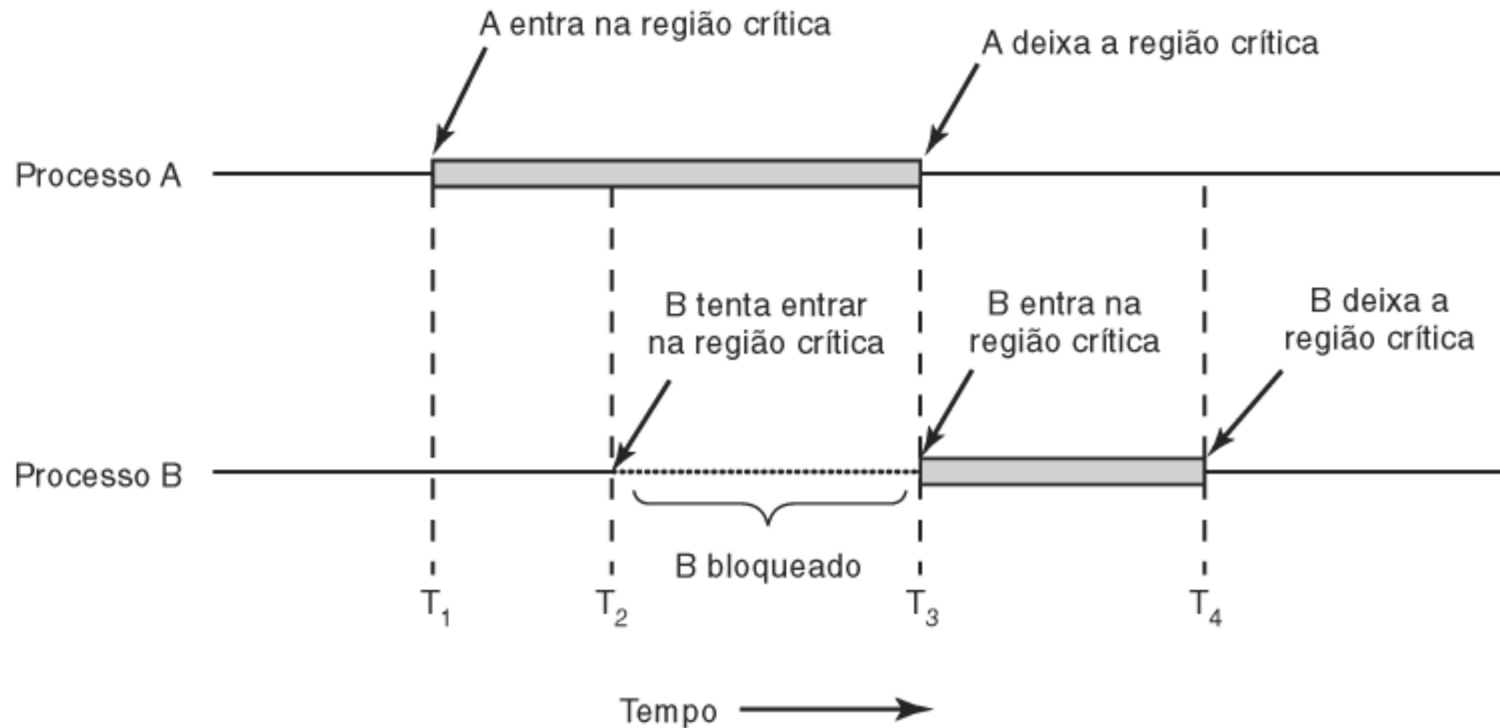



Dois processos querem ter acesso simultaneamente à memória compartilhada

# Conceitos: Regiões Críticas (1)

- Quatro condições necessárias para prover **exclusão mútua**:
  - Nunca dois processos simultaneamente em uma região crítica
  - Não se pode considerar velocidades ou números de CPUs
  - Nenhum processo executando fora de sua região crítica pode bloquear outros processos
  - Nenhum processo deve esperar eternamente para entrar em sua região crítica

# Regiões Críticas (2)




Exclusão mútua usando regiões críticas

# Exclusão Mútua com Espera Ociosa (1)

```
while (TRUE) {
    while (turn !=0)          /* laço */ ;
    critical_region( );
    turn = 1;
    noncritical_region( );
}
```

(a)

```
while (TRUE) {
    while (turn !=1)          /* laço */ ;
    critical_region( );
    turn = 0;
    noncritical_region( );
}
```

(b)

Solução proposta para o problema da região crítica

(a) Processo 0. (b) Processo 1.

# Exclusão Mútua com Espera Ociosa (2)

```
#define FALSE  0
#define TRUE   1
#define N      2                         /* número de processos */

int turn;                                /* de quem é a vez? */
int interested[N];                       /* todos os valores inicialmente em 0 (FALSE) */

void enter_region(int process);          /* processo é 0 ou 1 */
{
     int other;                          /* número de outro processo */

     other = 1 – process;                /* o oposto do processo */
     interested[process] = TRUE;         /* mostra que você está interessado */
     turn = process;                     /* altera o valor de turn */
     while (turn == process && interested[other] == TRUE) //* comando nulo */;
}

void leave_region(int process)           /* processo: quem está saindo */
{
     interested[process] = FALSE;        /* indica a saída da região crítica */
}
```

Solução de G. L. Peterson para exclusão mútua

Centro de Informática UFPE

# Infra-estrutura de Software

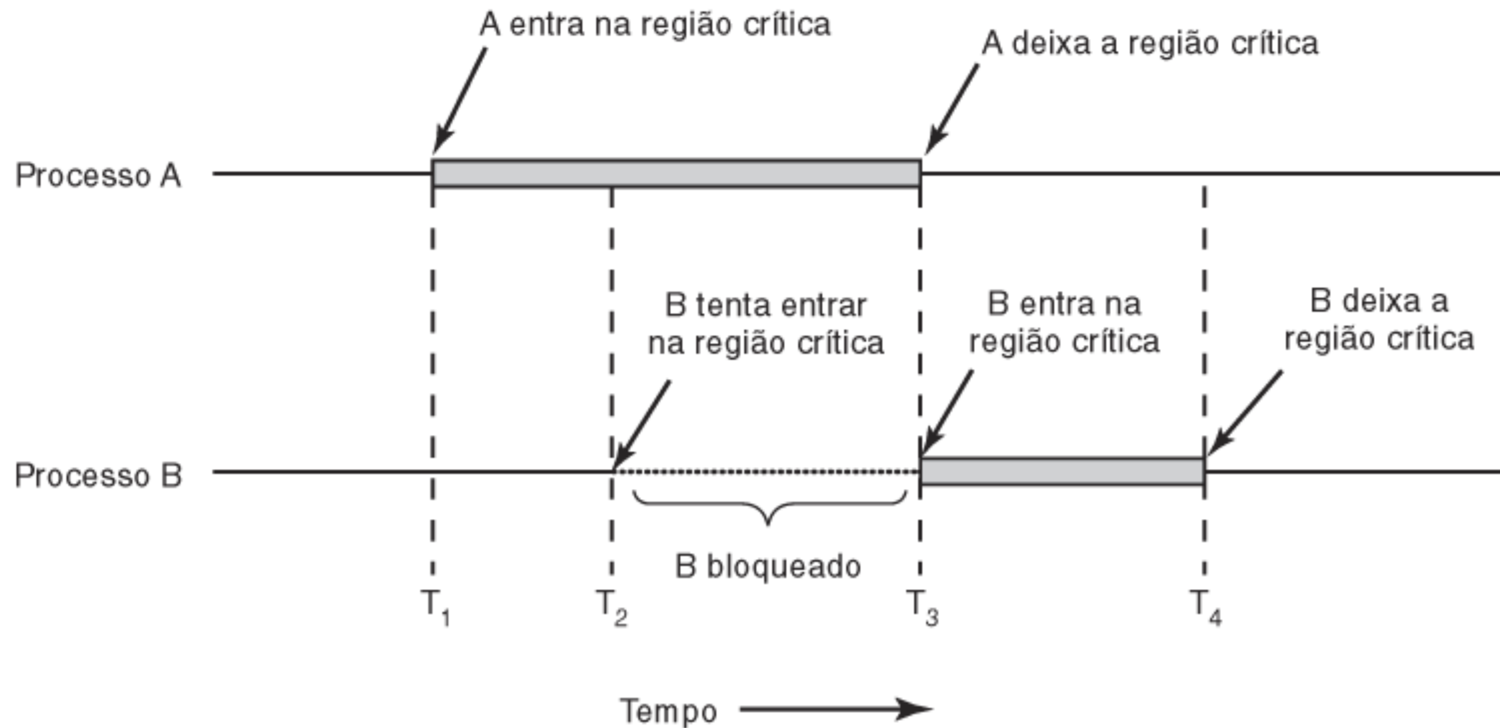
# POSIX Threads

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define NUMBER_OF_THREADS    10

void *print_hello_world(void *tid)
{
        /* This function prints the thread's identifier and then exits. */
        printf("Hello World. Greetings from thread %d0, tid);
        pthread_exit(NULL);
}

int main(int argc, char *argv[])
{
        /* The main program creates 10 threads and then exits. */
        pthread_t threads[NUMBER_OF_THREADS];
        int status, i;

        for(i=0; i < NUMBER_OF_THREADS; i++) {
                printf("Main here. Creating thread %d0, i);
                status = pthread_create(&threads[i], NULL, print_hello_world, (void *)i);

                if (status != 0) {
                        printf("Oops. pthread_create returned error code %d0, status);
                        exit(-1);
                }
        }
        exit(NULL);
}
```

# Conceitos: Regiões Críticas (1)

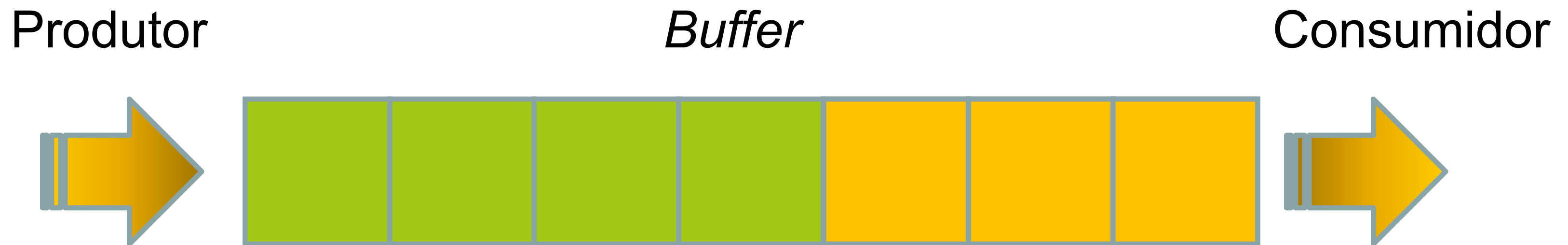
- Quatro condições necessárias para prover **exclusão mútua**:
  - Nunca dois processos simultaneamente em uma região crítica
  - Não se pode considerar velocidades ou números de CPUs
  - Nenhum processo executando fora de sua região crítica pode bloquear outros processos
  - Nenhum processo deve esperar eternamente para entrar em sua região crítica

# Regiões Críticas (2)




Exclusão mútua usando regiões críticas

# Problema do Produtor-Consumidor




- se consumo > produção
  - Buffer esvazia; Consumidor não tem o que consumir
- se consumo < produção
  - Buffer enche; Produtor não consegue produzir mais

# Dormir e Acordar (1)

```
#define N 100                                 /* número de lugares no buffer */
int count = 0;                                /* número de itens no buffer */

void producer(void)
{
     int item;

     while (TRUE) {                           /* número de itens no buffer */
          item = produce_item( );             /* gera o próximo item */
          if (count == N) sleep( );           /* se o buffer estiver cheio, vá dormir */
          insert_item(item);                  /* ponha um item no buffer */
          count = count + 1;                  /* incremente o contador de itens no buffer */
          if (count == 1) wakeup(consumer);   /* o buffer estava vazio? */
     }
}
```

Problema do produtor-consumidor com uma condição de disputa fatal

# Dormir e Acordar (2)

```
void consumer(void)
{
    int item;

    while (TRUE) {                          /* repita para sempre */
        if (count == 0) sleep( );           /* se o buffer estiver vazio, vá dormir */
        item = remove_item( );              /* retire o item do buffer */
        count = count – 1;                  /* decresça de um o contador de itens no buffer */
        if (count == N – 1) wakeup(producer); /* o buffer estava cheio? */
        consume_item(item);                 /* imprima o item */
    }
}
```

Problema do produtor-consumidor com uma condição de disputa fatal

# Datas Importantes

2017-1

| Data | Horário | O quê |
|---|---|---|
| 19/04 | Dia | Liberação da especificação do projeto (3o. EE) |
| 28/04 | Sexta, 8-10h | **Desafio de Escalonamento de Processos** |
| 05/05 | Sexta, 8-10h | Prática de C/C++ e Concorrência (Threads) |
| 12/05 | Sexta, 8-10h | **Desafio de Substituição de Página** |
| 17/05 | Quarta, 10-12h | **1o. EE**: Intro.+Ger.Processos+Ger.Memória |
| 26/05 | Sexta, 8-10h | Prática de Linux |
| 23/06 | Sexta, 8-10h | Acompanhamento de Projeto |
| 28/06 | Quarta, 10-12h | **2o. EE**: Sist.Arquivos+Ger.E/S+SD |
| 30/06 | Sexta, 8-10h | Acompanhamento de Projeto |
| 05/07 | Quarta, 10-12h | **3o. EE**: Apresentação de Projetos |
| 12/07 | Quarta, 10-12h | Revisão de notas – sala C-125 |
| 14/07 | Sexta, 8-10h | **Prova Final** |

# Região Crítica e Exclusão Mútua

Conceitos Associados

# Conceitos fundamentais

- ✓ Condição de corrida/disputa
- ✓ Região Crítica
- ✓ Exclusão Mútua

# Semáforo (1)

- **Semáforo** é uma variável que tem como função o controle de acesso a recursos compartilhados

- O valor de um semáforo indica quantos processos (ou *threads*) podem ter acesso a um recurso compartilhado
  - Para se ter **exclusão mútua**, só um processo executa por vez
    - Para isso utiliza-se um semáforo binário, com inicialização em 1
    - Esse semáforo binário atua como um **mutex**

# Semáforo (2)

- As principais operações sobre semáforos são:
  - Inicialização: recebe um valor inteiro indicando a quantidade de processos que podem acessar um determinado recurso (exclusão mútua = 1, como dito antes)
  - Operação *wait* ou *down* ou *P*: decrementa o valor do semáforo. Se o semáforo está com valor zerado, o processo é posto para dormir.
  - Operação *signal* ou *up* ou *V*: se o semáforo estiver com o valor zero e existir algum processo adormecido, um processo será acordado. Caso contrário, o valor do semáforo é incrementado.
- As operações de incrementar e decrementar devem ser operações **atômicas**, ou **indivisíveis**, ou seja,
  - enquanto um processo estiver executando uma dessas duas operações, nenhum outro processo pode executar outra operação sob o mesmo semáforo, devendo esperar que o primeiro processo encerre sua operação.
  - Essa obrigação evita **condições de disputa** entre vários processos

# Semáforos (1)

```
#define N 100                          /* número de lugares no buffer */
typedef int semaphore;                 /* semáforos são um tipo especial de int */
semaphore mutex = 1;                   /* controla o acesso à região crítica */
semaphore empty = N;
semaphore full = 0 ;

void producer(void)
{
    int item;

    while (TRUE) {
        item = produce_item( );
        down(&empty);
        down(&mutex);
        insert_item(item);
        up(&mutex);
        up(&full);
    }
}
```

```
#define N 100                                   /* número de
int count = 0;                                  /* número de

void producer(void)
{
    int item;

    while (TRUE) {                              /* número de
        item = produce_item( );                 /* gera o próx
        if (count == N) sleep( );               /* se o buffer
        insert_item(item);                      /* ponha um i
        count = count + 1;                      /* incremente
        if (count == 1) wakeup(consumer);       /* o buffer es
    }
}
```

Sem mutex (semáforo): **não** evita **condições de disputa**

O problema do produtor-consumidor usando semáforos

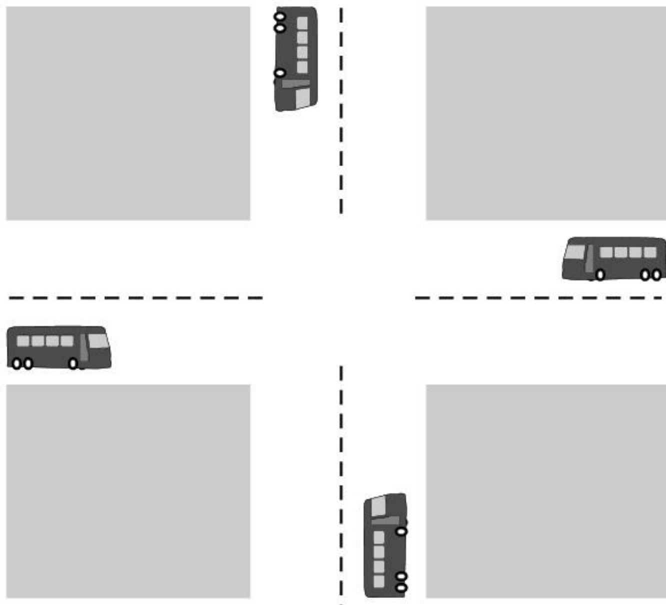
# Semáforos (2)

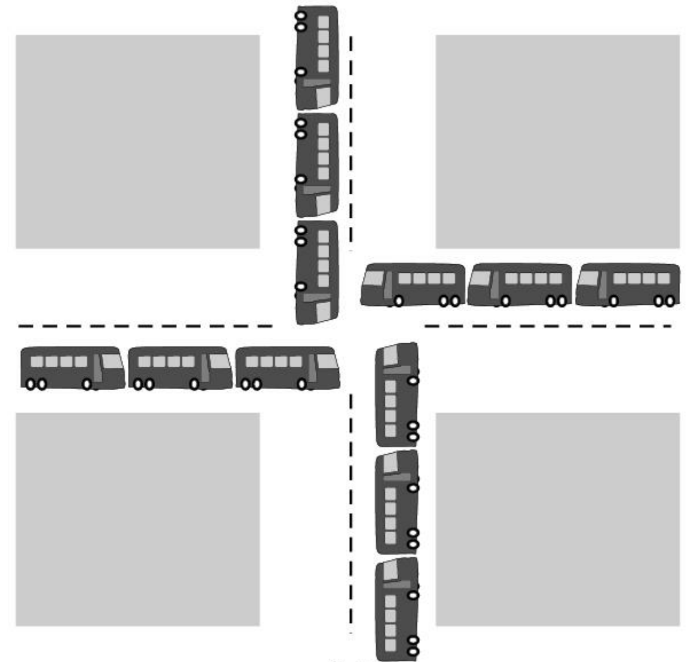
```
void consumer(void)
{
    int item;

    while (TRUE) {                  /* laço infinito */
        down(&full);                /* decresce o contador full */
        down(&mutex);               /* entra na região crítica */
        item = remove_item( );      /* pega o item do buffer */
        up(&mutex);                 /* deixa a região crítica */
        up(&empty);                 /* incrementa o contador de lugares vazios */
        consume_item(item);         /* faz algo com o item */
    }
}
```

O problema do produtor-consumidor usando semáforos

Centro de Informática U·F·P·E

# Exemplo da necessidade de Semáforo




(a) Um *deadlock* potencial. (b) Um *deadlock* real.

# Monitores (1)

```
monitor example
    integer i;
    condition c;

    procedure producer( );
    .
    .
    .
    end;

    procedure consumer( );
    .
    .
    .
    end;
end monitor;
```

Exemplo de um monitor

# Monitores (2)

```
monitor ProducerConsumer
     condition full, empty;
     integer count;
     procedure insert(item: integer);
     begin
          if count = N then wait(full);
          insert_item(item);
          count := count + 1;
          if count = 1 then signal(empty)
     end;
     function remove: integer;
     begin
          if count = 0 then wait(empty);
          remove = remove_item;
          count := count – 1;
          if count = N – 1 then signal(full)
     end;
     count := 0;
end monitor;
```

```
procedure producer;
begin
     while true do
     begin
          item = produce_item;
          ProducerConsumer.insert(item)
     end
end;
procedure consumer;
begin
     while true do
     begin
          item = ProducerConsumer.remove;
          consume_item(item)
     end
end;
```

- O problema do produtor-consumidor com monitores
  - somente um procedimento está ativo por vez no monitor
  - o buffer tem N lugares

# Exclusão Mútua com Pthreads

Fernando Castor e https://computing.llnl.gov/tutorials/pthreads/

# POSIX Threads

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define NUMBER_OF_THREADS    10

void *print_hello_world(void *tid)
{
        /* This function prints the thread's identifier and then exits. */
        printf("Hello World. Greetings from thread %d0, tid);
        pthread_exit(NULL);
}

int main(int argc, char *argv[])
{
        /* The main program creates 10 threads and then exits. */
        pthread_t threads[NUMBER_OF_THREADS];
        int status, i;

        for(i=0; i < NUMBER_OF_THREADS; i++) {
                printf("Main here. Creating thread %d0, i);
                status = pthread_create(&threads[i], NULL, print_hello_world, (void *)i);

                if (status != 0) {
                        printf("Oops. pthread_create returned error code %d0, status);
                        exit(-1);
                }
        }
        exit(NULL);
}
```

threads01v1 – Debugger Console

Release | x86_64 — Overview — Breakpoints — Build and Run — Tasks — Restart — Pause — Clear Log

```
Copyright 2004 Free Software Foundation, Inc.
GDB is free software, covered by the GNU General Public License, and you are
welcome to change it and/or distribute copies of it under certain conditions.
Type "show copying" to see the conditions.
There is absolutely no warranty for GDB.  Type "show warranty" for details.
This GDB was configured as "x86_64-apple-darwin".tty /dev/ttys000
Loading program into debugger…
Program loaded.
run
[Switching to process 5762]
Running…
Thread 0 created
Hello World from thread 0.0
Hello World from thread 1.1
Thread 1 created
Hello World from thread 1.2
Hello World from thread 1.0
Hello World from thread 2.3
Thread 2 created
Hello World from thread 2.0
Hello World from thread 2.1
Hello World from thread 2.4
Hello World from thread 3.1
Thread 3 created
Hello World from thread 3.0
Hello World from thread 3.2
Hello World from thread 3.5
Hello World from thread 3.2
Thread 4 created
Hello World from thread 4.0

Debugger stopped.
Program exited with status value:0.
[Session started at 2011-03-30 16:22:48 -0300.]
GNU gdb 6.3.50-20050815 (Apple version gdb-1515) (Sat Jan 15 08:33:48 UTC 2011)
Copyright 2004 Free Software Foundation, Inc.
GDB is free software, covered by the GNU General Public License, and you are
welcome to change it and/or distribute copies of it under certain conditions.
Type "show copying" to see the conditions.
There is absolutely no warranty for GDB.  Type "show warranty" for details.
This GDB was configured as "x86_64-apple-darwin".tty /dev/ttys001
Loading program into debugger…
Program loaded.
run
[Switching to process 5772]
Thread 0 created
Hello World from thread 0.0
Thread 1 created
Hello World from thread 1.1
Hello World from thread 1.0
Thread 2 created
Hello World from thread 2.2
Hello World from thread 2.0
Hello World from thread 2.1
Thread 3 created
Hello World from thread 3.3
Hello World from thread 3.0
Hello World from thread 3.1
Hello World from thread 3.2
Thread 4 created
Running…

Debugger stopped.
Program exited with status value:0.
```

Debugging of "threads01v1" ended normally. — Succeeded

threads01v1.c – threads01v1

Release | x86_64 — Overview — Action — Breakpoints — Build and Run — Tasks — Info — String Matching — Search

Groups & Files
- threads01v1
  - Source
  - Documentation
  - Products
- Targets
- Executables
- Find Results
- Bookmarks
- SCM
- Project Symbols
- Implementation Files
- Interface Builder Files

| File Name | Code |
|---|---|
| threads01v1 | |
| threads01v1.1 | |
| threads01v1.c | 7K |

threads01v1.c:6 <No selected symbol>

```c
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define NUMBER_OF_THREADS 5
#define NUMBER_OF_MESSAGES 1000

void *PrintHello(int* pt) {
    int i;
    for (i=0; i < NUMBER_OF_MESSAGES; i++) {
        printf("Hello World from thread %d.%d\n", *pt, i);
    }
    pthread_exit(NULL);
}

int main (int argc, const char * argv[]) {
    // insert code here...
    // printf("Hello, World!\n");
    // return 0;
    pthread_t threads[NUMBER_OF_THREADS];
    int status, t;

    for(t=0; t < NUMBER_OF_THREADS; t++) {
        // printf("Creating thread %d\n", t);
        status = pthread_create(&threads[t], NULL, (void *)PrintHello, &t);

        if (status != 0) {
            printf("ERROR. Pthread_create returned error code %d", status);
            exit(-1);
        }

        printf("Thread %d created\n", t);
    }
    exit(0);
}
```

Debugging of "threads01v1" ended normally. — Succeeded

# Um contador sequencial

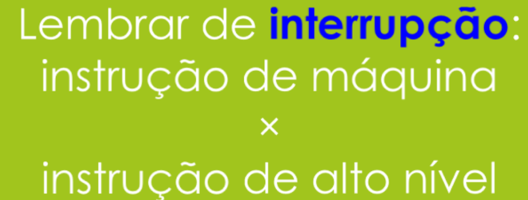
```
#include <stdio.h>

long contador = 0;

void *inc(){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) { contador++; }
}
void *dec(){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) { contador--; }
}
int main (int argc, char *argv[]){
  inc();
  dec();
  printf("Valor final do contador: %ld\n", contador);
}
```

# Um contador com pthreads

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>

long contador = 0;

void *inc(void *threadid){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) { contador++; }
}
void *dec(void *threadid){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) { contador--; }
}
int main (int argc, char *argv[]){
  pthread_t thread1;
  pthread_t thread2;
  pthread_create(&thread1, NULL, inc, NULL);
  pthread_create(&thread2, NULL, dec, NULL);
  pthread_join(thread1, NULL);
  pthread_join(thread2, NULL);
  printf("Valor final do contador: %ld\n", contador);
  pthread_exit(NULL);
}
```

```
#include <stdio.h>

long contador = 0;

void *inc(){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) { contador++; }
}
void *dec(){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) { contador--; }
}
int main (int argc, char *argv[]){
  inc();
  dec();
  printf("Valor final do contador: %ld\n", contador);
}
```

# Um contador errado com pthreads




```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>

long contador = 0;

void *inc(void *threadid){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) { contador++; } // condição de corrida!
}
void *dec(void *threadid){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) { contador--; } // condição de corrida!
}
int main (int argc, char *argv[]){
  pthread_t thread1;
  pthread_t thread2;
  pthread_create(&thread1, NULL, inc, NULL);
  pthread_create(&thread2, NULL, dec, NULL);
  pthread_join(thread1, NULL);
  pthread_join(thread2, NULL);
  printf("Valor final do contador: %ld\n", contador);
  pthread_exit(NULL);
}
```

# Relembrando: exclusão mútua

- Dois processos nunca podem estar simultaneamente na mesma região crítica
- Não se pode considerar velocidades ou número de CPUs
- Nenhum processo executando fora de sua região crítica pode bloquear outros processos
- Nenhum processo deve esperar eternamente para entrar em sua região crítica

- A typical sequence in the use of a mutex is as follows:
  - Create and initialize a mutex variable
  - Several threads attempt to lock the mutex
  - Only one succeeds and that thread owns the mutex
  - The owner thread performs some set of actions
  - The owner unlocks the mutex
  - Another thread acquires the mutex and repeats the process
  - Finally the mutex is destroyed

- When several threads compete for a mutex, the losers block at that call - an unblocking call is available with "trylock" instead of the "lock" call.
- When protecting shared data, it is the programmer's responsibility to make sure every thread that needs to use a mutex does so. For example, if 4 threads are updating the same data, but only one uses a mutex, the data can still be corrupted.

# Exclusão mútua com pthreads

- Através do conceito de *mutex*
  - Sincronizam o acesso ao estado compartilhado
    - Independentemente do valor desse estado (=> **variáveis condicionais**)
  - Tipo especial de variável (semáforo binário)
  - Diversas funções para criar, destruir e usar *mutexes*

- Tipo de dados
  - `pthread_mutex_t`

# Criação de *mutexes*

- Estática:

```
pthread_mutex_t mymutex =
        PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
```

- Dinâmica:

```
pthread_mutex_t mymutex;
...
pthread_mutex_init(&mymutex,NULL);
```

# Gerenciamento de *mutexes*

```
int pthread_mutex_destroy(
        pthread_mutex_t *mutex);


int pthread_mutex_init(
        pthread_mutex_t *restrict mutex,
        const pthread_mutexattr_t
            *restrict attr);
```

# Usando *mutexes*

```
int pthread_mutex_lock(
                pthread_mutex_t *mutex);

int pthread_mutex_trylock(
                pthread_mutex_t *mutex);

int pthread_mutex_unlock(
                pthread_mutex_t *mutex);
```

- The pthread_mutex_lock() routine is used by a thread to acquire a lock on the specified *mutex* variable. If the mutex is already locked by another thread, *this call will block* the calling thread until the mutex is unlocked.

- pthread_mutex_trylock() will attempt to lock a mutex. However, if the mutex is already locked, *the routine will return immediately with a "busy" error code*. This routine may be useful in *preventing deadlock conditions*, as in a priority-inversion situation.

# Um contador certo com pthreads

```c
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
long contador = 0;
pthread_mutex_t mymutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
void *inc(void *threadid){
  int i = 0; for(; i < 9000000; i++) {
    pthread_mutex_lock(&mymutex);
    contador++;
    pthread_mutex_unlock(&mymutex); }
}
void *dec(void *threadid){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) {
    pthread_mutex_lock(&mymutex);
    contador--;
    pthread_mutex_unlock(&mymutex); }
}
int main (int argc, char *argv[]){
  pthread_t thread1, thread2;
  pthread_create(&thread1, NULL, inc, NULL);
  pthread_create(&thread2, NULL, dec, NULL);
  pthread_join(thread1, NULL);
  pthread_join(thread2, NULL);
  printf("Valor final do contador: %ld\n", contador);
  pthread_exit(NULL);
}
```

```c
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
long contador = 0;

void *inc(void *threadid){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) {
    contador++; // condição de corrida
  }
}
void *dec(void *threadid){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) {

    contador--; // condição de corrida
  }
}
int main (int argc, char *argv[]){
  pthread_t thread1, thread2;
  pthread_create(&thread1, NULL, inc,
  pthread_create(&thread2, NULL, dec,
  pthread_join(thread1, NULL);
  pthread_join(thread2, NULL);
  printf("Valor final do contador: %l
    contador);
  pthread_exit(NULL);
}
```

There is nothing "magical" about mutexes...in fact they are akin to a "gentlemen's agreement" between participating threads. It is up to the code writer to insure that the necessary threads all make the mutex lock and unlock calls correctly. The following scenario demonstrates a logical error:

| **Thread 1** | **Thread 2** | **Thread 3** |
|---|---|---|
| Lock | Lock | |
| A = 2 | A = A+1 | A = A*B |
| Unlock | Unlock | |

# Question

- Question: When more than one thread is waiting for a locked mutex, which thread will be granted the lock first after it is released?

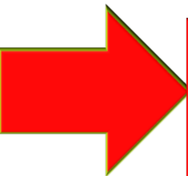
- ANSWER: Unless thread priority scheduling (not covered) is used, the assignment will be left to the native system scheduler and may appear to be more or less random.

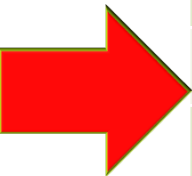
# Modificação

## Datas Importantes

2017-1

| Data | Horário | O quê |
|---|---|---|
| 19/04 | Dia | Liberação da especificação do projeto (3o. EE) |
| 28/04 | Sexta, 8-10h | **Desafio de Escalonamento de Processos** |
| 05/05 | Sexta, 8-10h | Prática de C/C++ e Concorrência (Threads) |
| 12/05 | Sexta, 8-10h | **Desafio de Substituição de Página** |
| 17/05 | Quarta, 10-12h | **1o. EE**: Intro.+Ger.Processos+Ger.Memória |
| 26/05 | Sexta, 8-10h | Prática de Linux |
| 23/06 | Sexta, 8-10h | Acompanhamento de Projeto |
| 28/06 | Quarta, 10-12h | **2o. EE**: Sist.Arquivos+Ger.E/S+SD |
| 30/06 | Sexta, 8-10h | Acompanhamento de Projeto |
| 05/07 | Quarta, 10-12h | **3o. EE**: Apresentação de Projetos |
| 12/07 | Quarta, 10-12h | Revisão de notas – sala C-125 |
| 14/07 | Sexta, 8-10h | **Prova Final** |





| Data | Horário | O quê |
| --- | --- | --- |
| 19/04 | Dia | Liberação da especificação do projeto (3o. EE) |
| 28/04 | Sexta, 8-10h | **Desafio de Escalonamento de Processos** |
| 05/05 | Sexta, 8-10h | Prática de C/C++ e Concorrência (Threads) |
| 12/05 | Sexta, 8-10h | **Desafio de Substituição de Página** |
| 17/05 | Quarta, 10-12h | **1o. EE**: Intro.+Ger.Processos+Ger.Memória |
| 26/05 | Sexta, 8-10h | Prática de Linux |
| 23/06 | Sexta, 8-10h | Acompanhamento de Projeto |
| 28/06 | Quarta, 10-12h | Acompanhamento de Projeto |
| 30/06 | Sexta, 8-10h | **2o. EE**: Sist.Arquivos+Ger.E/S+SD |
| 05/07 | Quarta, 10-12h | **3o. EE**: Apresentação de Projetos |
| 12/07 | Quarta, 10-12h | Revisão de notas – sala C-125 |
| 14/07 | Sexta, 8-10h | **Prova Final** |

# Variáveis Condicionais com Pthreads

Fernando Castor e https://computing.llnl.gov/tutorials/pthreads/

# Concorrência/Sincronização

# Exclusão mútua com pthreads: um contador certo

```c
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
long contador = 0;
pthread_mutex_t mymutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
void *inc(void *threadid){
  int i = 0; for(; i < 9000000; i++) {
    pthread_mutex_lock(&mymutex);
    contador++;
    pthread_mutex_unlock(&mymutex); }
}
void *dec(void *threadid){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) {
    pthread_mutex_lock(&mymutex);
    contador--;
    pthread_mutex_unlock(&mymutex); }
}
int main (int argc, char *argv[]){
  pthread_t thread1, thread2;
  pthread_create(&thread1, NULL, inc, NULL);
  pthread_create(&thread2, NULL, dec, NULL);
  pthread_join(thread1, NULL);
  pthread_join(thread2, NULL);
  printf("Valor final do contador: %ld\n", contador);
  pthread_exit(NULL);
}
```

```c
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
long contador = 0;

void *inc(void *threadid){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) {
    contador++; // condição de corrida
  }
}
void *dec(void *threadid){
  int i = 0;
  for(; i < 9000000; i++) {

    contador--; // condição de corrida
  }
}
int main (int argc, char *argv[]){
  pthread_t thread1, thread2;
  pthread_create(&thread1, NULL, inc,
  pthread_create(&thread2, NULL, dec,
  pthread_join(thread1, NULL);
  pthread_join(thread2, NULL);
  printf("Valor final do contador: %l
    contador);
  pthread_exit(NULL);
}
```

# Exclusão mútua pode não ser o bastante

- Como visto antes, *threads* podem precisar cooperar
  - Uma *thread* só pode progredir se outra tiver realizado certa ação...
  - Ou seja, se certa **condição** for verdadeira
    - A condição refere-se aos valores dos elementos do estado compartilhado pelas *threads*

- Exemplo canônico: produtor-consumidor

# Variáveis de condição

- Um dos mecanismos implementados pela biblioteca de pthreads
- Complementam *mutexes*
  - Sincronização no acesso a dados vs. Sincronização **dependente de condições** [based upon the actual value of data]
- Mecanismo de mais alto nível que semáforos
- Evitam a necessidade de checar continuamente se a condição é verdadeira
  - Sem espera ocupada!!!

This can be very resource consuming since the thread would be continuously busy in this activity. A condition variable is a way to achieve the same goal without polling.

# Produtor-Consumidor
## espera ocupada (1/2)

```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>

int b;  /* buffer size = 1; */
int turn=0;

main() {
  pthread_t producer_thread;
  pthread_t consumer_thread;
  void *producer();
  void *consumer();
  pthread_create(&consumer_thread,NULL,consumer,NULL);
  pthread_create(&producer_thread,NULL,producer,NULL);
  pthread_join(consumer_thread,NULL);
}

void put(int i){
  b = i;
}
int get(){
  return b ;
}
```

# Produtor-Consumidor
## espera ocupada (2/2)

```
void *producer() {
  int i = 0;
  printf("Produtor\n");
  while (1) {
    while (turn == 1) ;
    put(i);
    turn = 1;
    i = i + 1;
  }
  pthread_exit(NULL);
}

void *consumer() {
  int i,v;
  printf("Consumidor\n");
  for (i=0;i<100;i++) {
    while (turn == 0) ;
    v = get();
    turn = 0;
    printf("Peguei %d  \n",v);
  }
  pthread_exit(NULL);
}
```

**Espera ocupada**:
-Desperdiça recursos
-(neste caso) produção e consumo alternados
-E se houvesse vários produtores ou consumidores?

# Usando variáveis de condição com pthreads

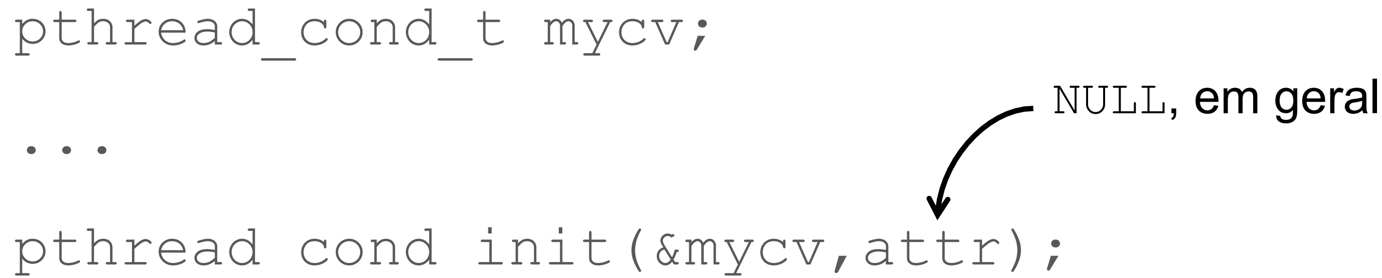
- Sempre junto com um *mutex*
- Duas operações básicas
  - Esperar que certa condição torne-se verdadeira
    - `pthread_cond_wait(cond_var, mutex)`
  - Avisar outra(s) *thread(s)* que a condição tornou-se verdadeira
    - `pthread_cond_signal(cond_var)` **OU**
    - `pthread_cond_broadcast(cond_var)`

# Criação e destruição de variáveis de condição

- Estática:

```
pthread_cond_t mycv =
          PTHREAD_COND_INITIALIZER;
```

- Dinâmica:




- Destruição:

```
pthread_cond_destroy(&mycv)
```

# Usage

- It is a logical error to call pthread_cond_signal() before calling pthread_cond_wait().
- Proper locking and unlocking of the associated mutex variable is essential when using these routines. For example:
  - Failing to lock the mutex before calling pthread_cond_wait() may cause it NOT to block…
  - Failing to unlock the mutex after calling pthread_cond_signal() may not allow a matching pthread_cond_wait() routine to complete (it will remain blocked....

# Produtor-Consumidor variáveis de condição (1/3)

```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
#define BUFFER_SIZE 10
#define NUM_ITEMS 200

int buff[BUFFER_SIZE];  /* buffer size = 1; */
int items = 0; // number of items in the buffer.
int first = 0;
int last = 0;

pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t buffer_cond = PTHREAD_COND_INITIALIZER;

main() {
  pthread_t consumer_thread;
  pthread_t producer_thread;
  void *producer();
  void *consumer();
  pthread_create(&consumer_thread,NULL,consumer,NULL);
  pthread_create(&producer_thread,NULL,producer,NULL);
  pthread_join(producer_thread,NULL);
  pthread_join(consumer_thread,NULL);
}
```

# Produtor-Consumidor
# variáveis de condição (2/3)

```
void put(int i){
  pthread_mutex_lock(&mutex);
  if (items == BUFFER_SIZE) {
    pthread_cond_wait(&buffer_cond, &mutex);
  }
  buff[last] = i;
  printf("pos %d: ", last);
  items++; last++;
  if(last==BUFFER_SIZE) { last = 0; }
  if(items == 1) {
    pthread_cond_broadcast(&buffer_cond);
  }
  pthread_mutex_unlock(&mutex);
}

void *producer() {
  int i = 0;
  printf("Produtor\n");
  for(i=0;i<NUM_ITEMS; i++) {
    put(i);
    printf("Produzi %d \n",i);
  }
  pthread_exit(NULL);
}
```

# Produtor-Consumidor variáveis de condição (3/3)

```
int get(){
  int result;
  pthread_mutex_lock(&mutex);
  if (items == 0) {
    pthread_cond_wait(&buffer_cond, &mutex);
  }
  result = buff[first];
  printf("pos %d: ", first);
  items--; first++;
  if(first==BUFFER_SIZE) { first = 0; }
  if(items == BUFFER_SIZE - 1){
    pthread_cond_broadcast(&buffer_cond);
  }
  pthread_mutex_unlock(&mutex);
  return result;
}
void *consumer() {
  int i,v;
  printf("Consumidor\n");
  for (i=0;i<NUM_ITEMS;i++) {
    v = get();
    printf("Consumi %d  \n",v);
  }
  pthread_exit(NULL);
}
```

# Sincronização de Processos

- Permite gerenciar o acesso concorrente a recursos do sistema operacional de forma controlada **por parte dos processos**
  - de maneira que um recurso não seja modificado simultaaneamente pelos processos,
  - ou que os processos não fiquem esperando que o recurso seja liberado
- Os processos compartilham determinados recursos da chamada **região crítica**, que são
  - as variáveis globais,
  - as instruções de E/S,
  - algum banco de dados, etc.

  Neste compartilhamento podem ocorrer erros