Processos

- Um SO executa uma multiplicidade de programas, em batch ou time-sharing, que se designam por:

  processos ou **tarefas** (processes/tasks/jobs).

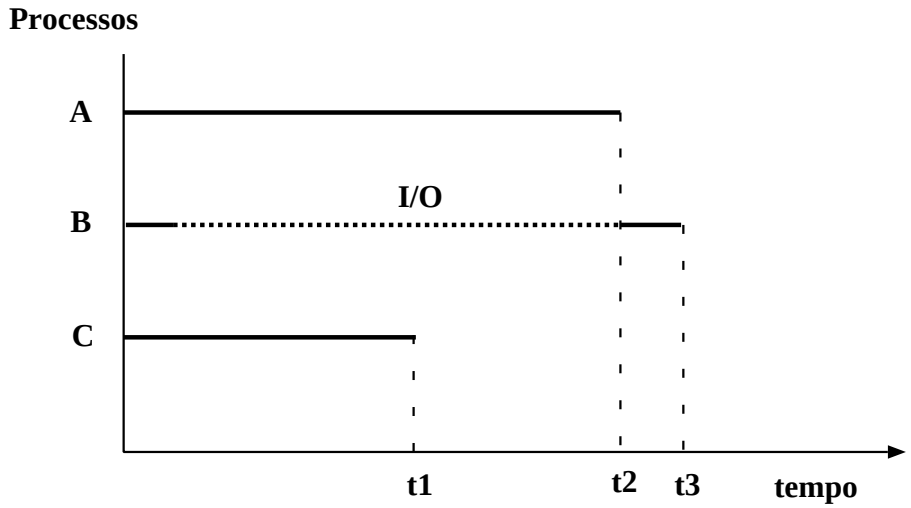
- **Processo** – é um programa em execução.

  A execução de um processo é sequêncial, no sentido em que num dado instante, apenas uma instrução do processo é executada.

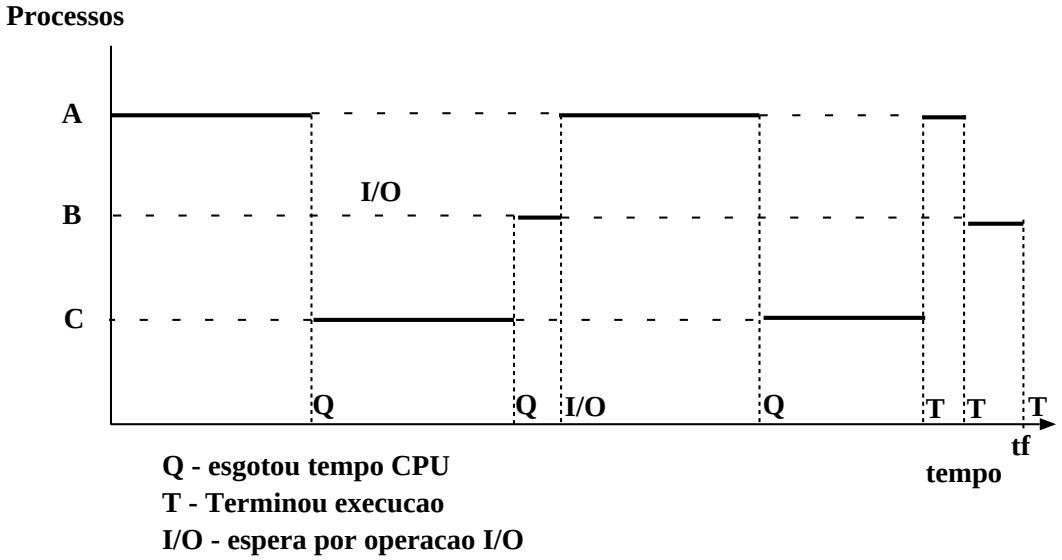
- Um processo não tem apenas associado a si, o código de um programa, inclui também:
  - **program-counter** – que indica a próxima instrução a executar.
  - **pilha de execução** (stack) – com valores temporários (parâmetros de funções, endereços de retorno, etc.)
  - **região de dados** – com os valores das variáveis globais.

Execução de processos

Consideremos 3 processos cuja traçagem de execução, se executados um de cada vez até terminarem, se ilustra na figura:



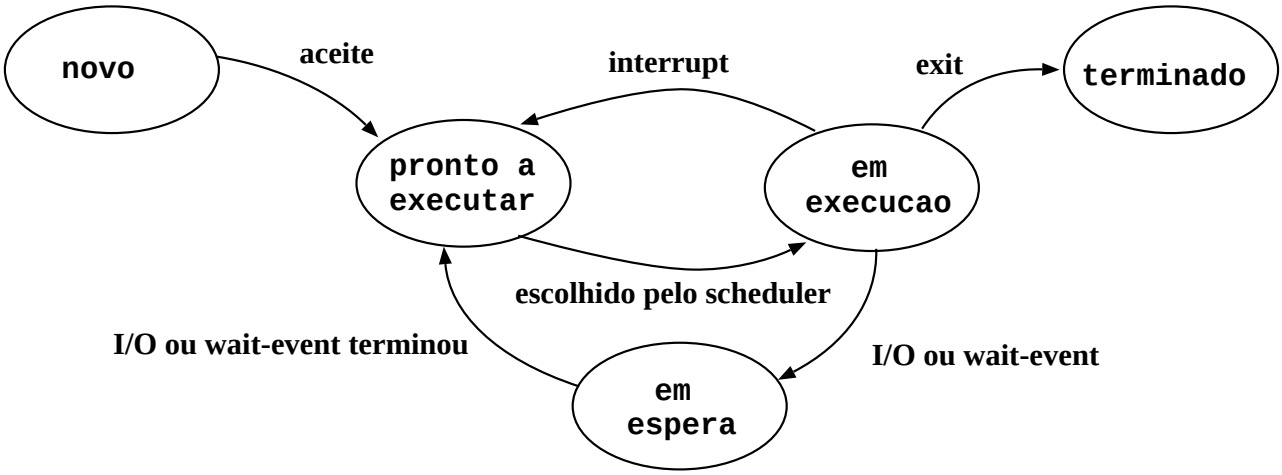
Suponha agora (2a. figura) que os processos são executados em time-sharing:



Observe que o tempo de execução, será menor quando ocorre time-sharing (i.e. $tf < (t1 + t2 + t3)$).

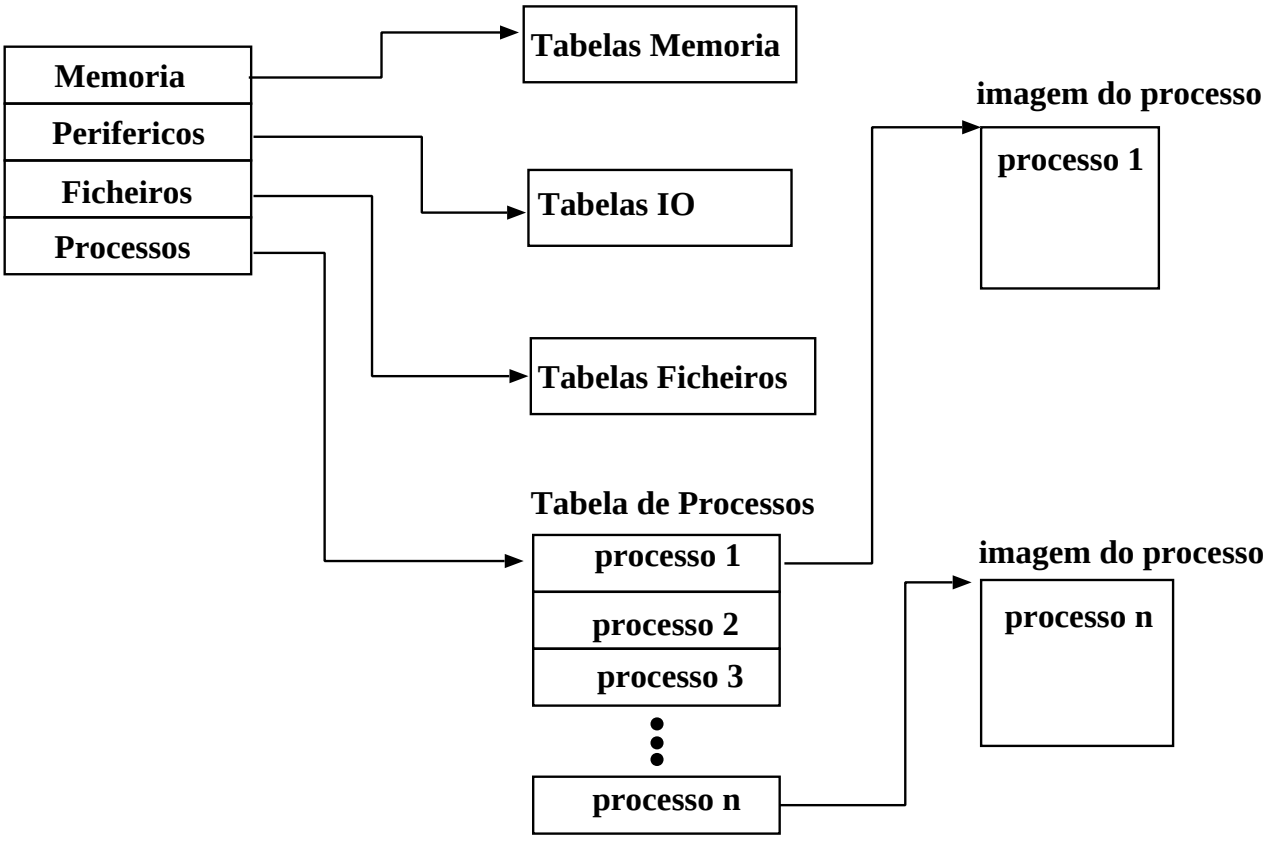
Estados de um Processo

- Um processo varia de estado durante a sua execução:
  - **novo** – o processo está a ser criado.
  - **em execução** – activo no CPU.
  - **em espera** – o processo está à espera de um evento externo.
  - **pronto a executar** – o processo está à espera de vez de CPU.
  - **terminado** – o processo terminou a execução.
- Transições possíveis entre os estados de um processo:



Estruturas de controlo do SO

O SO constroi e mantém tabelas com informação sobre cada entidade, processo e recurso do sistema, que gere.



- **tabelas de memória** – guardam informação sobre a memória principal e secundária associada a processos, assim como atributos de protecção e informação para gerir memória virtual.
- **tabelas de I/O** – permitem que o SO saiba se um dado periférico está livre ou não, qual a operação em curso num dado periférico e qual a zona de memória associada.
- **tabelas de ficheiros** – têm informação sobre os ficheiros existentes, a sua localização na memória secundária, o seu estado corrente e outros atributos.

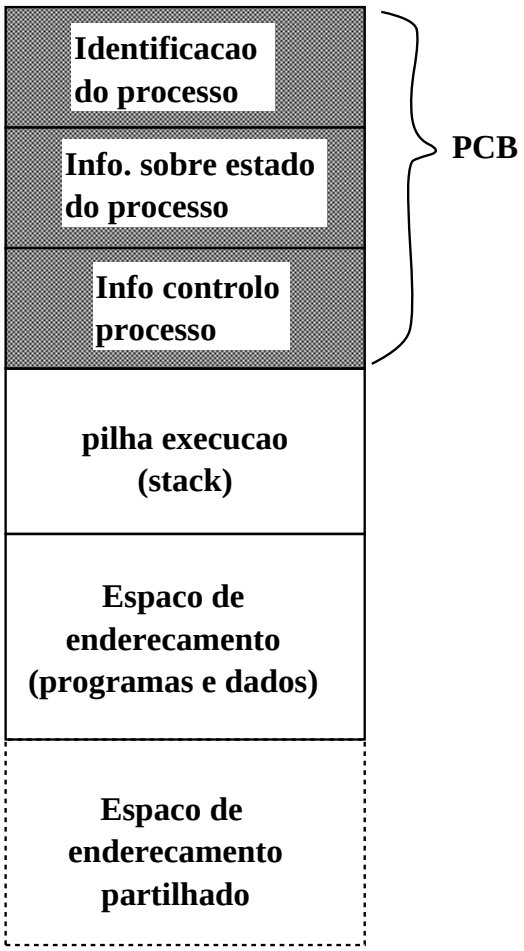
Tabelas e atributos de processos

- **tabelas de processos** – permitem que o SO saiba localizar os processos correntes e quais os atributos que lhe estão associados.
- Associado a um processo (a sua imagem) temos:
  - um **espaço de endereçamento** que determina a execução do processo (memória onde estão partes do código executável e dados usados pelo processo).
  - um **contexto do processo** que define o ambiente de execução e determina o estado do processo. Estes atributos são normalmente referidos por **PCB** (Process Control Block).
- Informação típica num PCB:
  - **identificação do processo:**
    - *identificador do processo* (PID)
    - *identificador do processo que criou este* (processo-pai – PPID)
    - *identificador do utilizador dono do processo* (UID).
  - **estado do processo:**
    - *program counter*: próxima instrução a executar.
    - *registos do cpu:* acessíveis ao utilizador.
    - *status info:* inclui flags sobre interrupts (activos/inactivos), modo de execução (kernel/utilizador).
    - *códigos de condição*: resultados de operações lógicas e aritméticas (overflow...).
    - *apontador para a stack*. A stack é usada para guardar parâmetros quando da chamada de funções.

PCB (continuação)

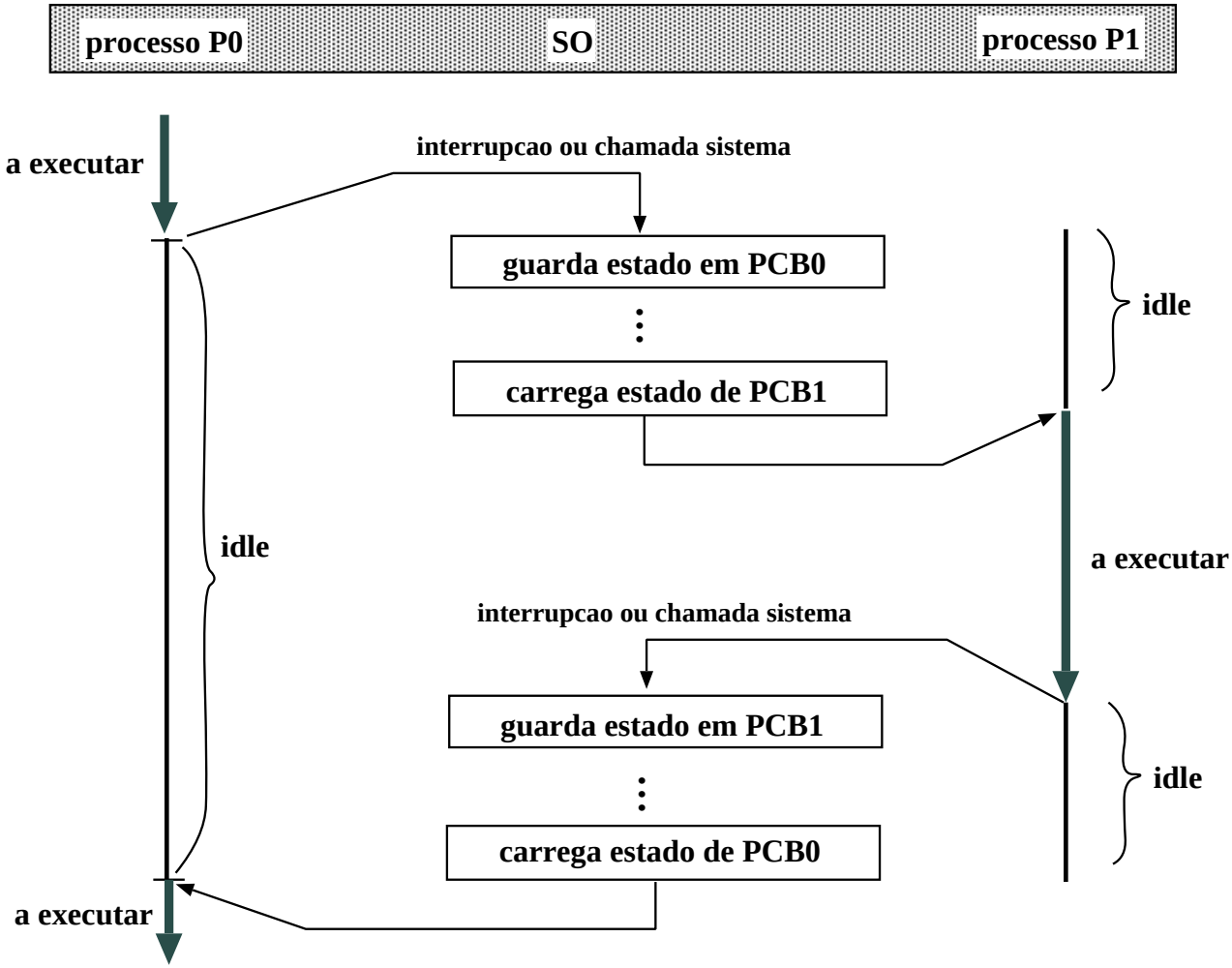
- **informação de controlo:**
  - *informação de scheduling*: estado do processo (a executar, pronto a executar, em espera, etc.), prioridade do processo.
  - *privilégios do processo*
  - *info. para gestão de memória*: páginas e segmentos de memória associados ao processo.
  - *recursos associados*: ficheiros abertos, etc.

A estrutura da imagem de um processo na memória (virtual) está ilustrada na figura:



Troca de contexto (processos)

- Sempre que o CPU comuta de um processo para outro tem de guardar o estado do processo que sai (para poder ser retomado posteriormente) e carregar o estado do processo que entra.
- O estado do processo é guardado no PCB do processo.
- A troca de contexto é um *overhead*, i.e. o sistema não está a fazer nada de útil enquanto processa a troca.
- Ilustração do que ocorre numa troca de contexto:



Criação de processos

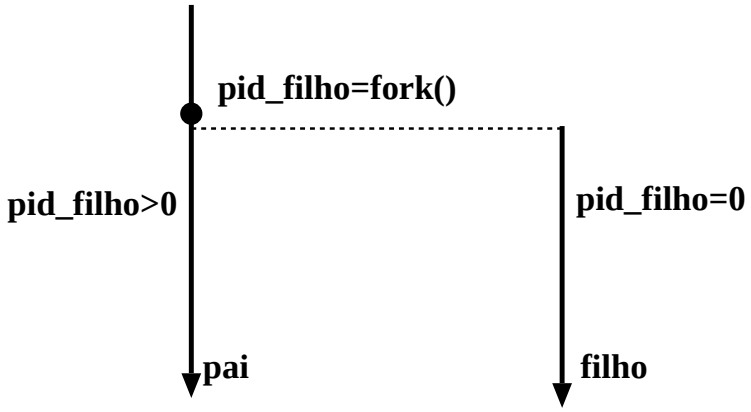
- Um processo pode criar novos processos, *processos-filho*, que por sua vez podem criar novos processos.
- **recursos**: o processo-filho é uma cópia da imagem do processo-pai e pode partilhar os recursos deste.
- **execução**:
  - Pai e filho executam concorrentemente, ou
  - Pai espera que os filhos terminem.
- **espaço de endereçamento**:
  - Filho é uma cópia do pai, executa o mesmo programa, ou
  - Filho pode executar um programa diferente.
- **em UNIX**:
  - `fork` – cria um novo processo.
  - `execve` – usado a seguir ao **fork** para substituir no espaço de memória do processo o programa a executar.

Criação de processos em UNIX

Faz-se através da função de sistema:

```
pid_t fork(void);
```

• **fork** retorna 0 ao processo-filho e retorna o PID do filho ao processo-pai. Caso não seja possível criar o novo processo, retorna -1.



Como distinguir a execução do processo-filho da do processo-pai?

```
if ( (pid_filho=fork())==0) {
  <código-processo-filho>
}
else {
  <código-processo-pai>
}
<código possivelmente comum>
```

Diferenças entre pai e filho:

• diferentes PID e PPID
• filho não herda locks de ficheiros que pertencem ao pai.

Exemplo do uso de `fork()`

```
#include <stdio.h>
main()                                          execução:
{                                              -----------
  int i;                                         Pai: 0
                                                 Filho: 0
  if (fork() == 0)   /* filho */                Filho: 1
    for (i=0; i<5; i++) {                        Pai: 1
      printf("Filho: %d\n'', i);                 Filho: 2
      sleep(2);                                  Pai: 2
    }                                            Filho: 3
  else               /* pai */                  Filho: 4
    for (i=0; i<5; i++) {                        Pai: 3
      printf("Pai: %d\n'', i);                   Pai: 4
      sleep(3);
    }
}
```

→ o processo-filho executa o mesmo programa que o processo-pai, mas partes diferentes!

→ pai e filho executam concorrentemente.

Novos processos para execução de programas

É comum pretender-se que o processo-filho execute um programa diferente daquele que o criou.

As funções de sistema:

```
int execl(char *path, char *com, char *arg,...);
int execlp(char *file, char *com, char *arg,...);

int execv(char *path, char *argv[]);
int execvp(char *file, char *argv[]);
```

diferem na passagem dos argumentos para o programa a executar.

→ Estas funções permitem substituir o programa que faz a chamada por um outro programa executável.

→ Modificam o segmento de dados e texto do processo, mas não alteram o seu contexto. Isto é, mantêm os mesmos identificadores de recursos e ficheiros abertos que o processo possuía antes da execução do `exec()`.

Exemplo: fork() + exec()

Programa que cria um processo para executar ls -l:

```
main()
{
  int filhoID, estado;
  char path[]=‘‘/bin/ls’’;
  char cmd[]=‘‘ls’’;
  char arg[]=‘‘-l’’;

  if ( (filhoID= fork()) == -1) {
    printf(‘‘Erro no fork’’);
    exit(1);
  }
  else if (filhoID==0) {
    if (execl(path, cmd, arg,NULL)<0) {
      printf(‘‘O exec falhou’’);
      exit(1);
    }
  }
  else if (filhoID != wait(&estado))
    printf(‘‘sinal antes do filho terminar’’);
  exit(0);
}
```

Identificação do processo

Os processos são identificados através de um inteiro único, atribuído na criação do processo.

• Identificador de um processo (PID), obtido por:

```
pid_t getpid(void);
```

• Identificador do processo-pai:

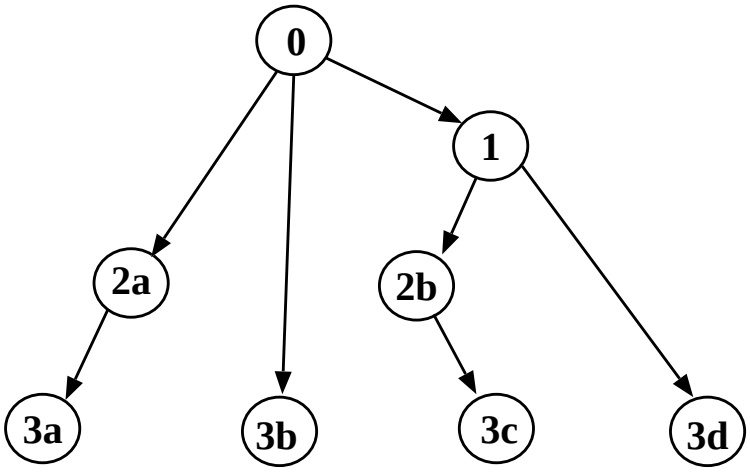
```
pid_t   getppid(void);
```

• Cada processo tem um "dono" (owner), que tem privilégios sobre o processo. Pode ser determinado por:

```
uid_t   getuid(void);
```

fornece o UID efectivo que permite determinar os privilégios do processo no acesso a recursos.

Como criar uma árvore de processos?




```
main()
{
  int i, n=4;
  ...

  for (i= 1; i<n; i++)
    if ((filhoID=fork()) == -1)
      break;
  fprintf(stderr,‘‘proc(\%ld) com pai(\%ld)\n’’,
          (long)getpid(), (long)getppid());
}
```

Funções: `exit()` e `wait()`

• **Terminar a execução de um processo:**

```
void exit(int estado)
```

retorna o controlo ao processo-pai, indicando-lhe através da variável `estado` como é que o processo-filho terminou:

`estado == 0` – terminou normal.
`estado` $\neq$ `0` – terminou com erro (valor é o código do erro).

• **Esperar que um processo-filho termine:**

```
pid_t wait(int *estado)
```

o processo que executa a função, suspende à espera que um dos processos-filho termine, ou até receber ele mesmo um sinal para terminar.

A função `wait()` retorna o identificador do processo que terminou e a forma como terminou (através da variável `estado`.

• **Esperar que um processo-filho específico termine:**

```
pid_t waitpid(pid_t pid, int *estado, int opções)
```

o processo suspende à espera que o processo `pid` termine. Se o valor de `pid` for `-1`, esta função equivale à função `wait()`.

Exemplo com `exit()` e `wait()`

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>
#include <stdlib.h>

main()
{
  pid_t filhoID;
  int estado;

  if ((filhoID= fork()) == -1) {
     printf(‘‘O fork falhou\n’’);
     exit(1);
  }
  if (filhoID==0)
    printf(‘‘Sou o filho com pid=%ld\n’’,(long)getpid());
  else if (wait(&estado) != filhoID)
    printf(‘‘Um sinal interrompeu o wait()\n’’);
  else
    printf(‘‘Sou o pai com pid=%ld\n’’,(long)getpid());
  exit(0);
}
```

I/O em Unix

Em C é habitual usar-se a biblioteca `stdio` para efectuar operações de I/O (e.g. `printf()`, `scanf()`, etc.)..

As funções desta biblioteca são de *alto-nível* e realizam 3 operações importantes:

- *buffering* automático. Usam um buffer interno invisível ao programador que permite a leitura de muitos bytes de cada vez.
- conversões de input e output. Por exemplo, conversão da representação de um inteiro no seu valor numérico.
- formatação automática de input e output.

Contudo, nem sempre estas operações são desejadas. Quando se faz I/O directamente para um periférico, e.g. tape, é necessário ter maior controlo, nomeadamente sobre o tamanho dos buffers.

O Unix fornece uma interface *baixo-nível* para I/O, na qual um ficheiro é referenciado por um *descriptor de ficheiro* que mais não é do que um inteiro.

Descriptores de ficheiros

Ao criar-se um ficheiro novo ou abrir-se um ficheiro existente, o que se obtém é um descriptor do ficheiro, que identifica o ficheiro em operações subsequentes.

Descriptores 0, 1 e 2 são pré-definidos e correspondem a `stdin`, `stdout` e `stderr`.

→ **abertura e criação de ficheiros:**

```
int open(char *path, int flags, mode_t mode);
int creat(char *path, mode_t mode);
```

`flags`: `O_RDONLY`, `O_WRONLY`, `O_CREAT`, ...

`mode`: define permissões de acesso.

A função `creat` é equivalente à função `open` com as flags definidas por: `O_CREAT|O_WRONLY|O_TRUNC`.

→ **fecho de um descriptor:**

```
int close(int fd);
```

Descriptores de ficheiros (cont.)

→ **leitura e escrita:**

```
ssize_t read(int fd,void *buffer,size_t count);
```

lê `count` bytes do ficheiro cujo descriptor é `fd` para o `buffer`. Devolve o número de bytes lidos ou `-1` se ocorrer um erro.

```
ssize_t write(int fd,void *buffer,size_t count);
```

escreve para o ficheiro cujo descriptor é `fd`, `count` bytes a partir de `buffer`. A função retorna o número de bytes escritos, ou `-1` se ocorrerem erros.

→ **acesso aleatório:**

```
off_t lseek(int fd, off_t offset, int whence);
```

posiciona a "cabeça de leitura" associada ao descriptor `fd` numa posição definida por `offset`.

em que `offset` representa o deslocamento a fazer sobre a posição corrente no ficheiro e `whence` define como interpretar o `offset`. Valores para `whence`:

`SEEK_SET` - posição corrente passa para `offset` bytes.
`SEEK_CUR` - adicionar `offset` à posição corrente.
`SEEK_END` - subtrair `offset` à posição corrente.

`offset= lseek(fd,0,SEEK_CUR)` – determina a posição corrente
`new_offset= lseek(fd,1024,SEEK_SET)` – posição corrente fica no byte 1024.

Exemplo: junção de dois ficheiros

Para simplificar não se inclui código de teste a situações de erro.

```
#define FLAGS O_WRONLY|O_CREAT|O_APPEND

main(int argc, char *argv[])
{
  int n, from, to;
  char buf[1024];

  from= open(argv[1], O_RDONLY);
  to= open(argv[2], FLAGS, 0644);

  while ((n= read(from, buf, sizeof(buf))) >0)
    write(to, buf, n);

  close(from);
  close(to);
  exit(0);
}
```

Supondo que o ficheiro se chama `junta.c` e o executável `junta`, então poderiamos fazer:

```
% junta fichA fichB
```

o que resultaria em acrescentar ao ficheiro `fichB` o conteúdo do ficheiro `fichA`.

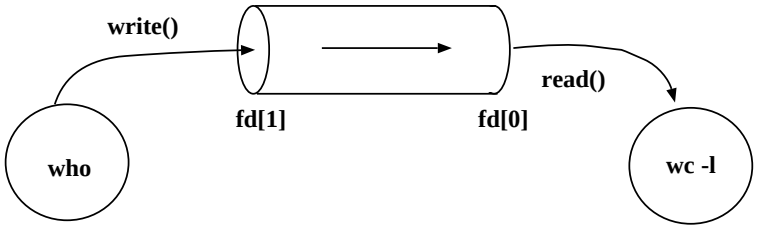
Canos (Pipes)

As pipes são um mecanismo de comunicação unidirecional entre dois ou mais processos.

Um exemplo do uso de pipes na shell é:

```
% who | wc -l
```

O programa `who` gera uma linha por utilizador e envia-a ao programa `wc` que vai contar o número de linhas recebidas.



→ **Criação de pipes:**

```
int pipe(int fd[2]);
```

instancia dois descriptores de um ficheiro:

- `fd[0]` - descriptor associado à extremidade de leitura.
- `fd[1]` - descriptor associado à extremidade de escrita.

Retorna 0 se for bem sucedida e -1 caso ocorram erros.

→ Se um processo tentar ler de uma pipe vazia, mas cuja extremidade de escrita está aberta, o processo adormece até que exista input disponível.

Exemplo do uso de pipes

As pipes são habitualmente usadas para comunicação entre processo-pai e processo-filho (um deles escreve e o outro lê).

Um programa em que o processo-filho envia ao processo-pai uma mensagem:

```
#define READ  0
#define WRITE 1
char *msg= ‘‘Ola papa!’’;
main() {
  int fd[2], msgSize=strlen(msg)+1;
  char buf[100];

  pipe(fd);
  if (fork()==0) {
    close(fd[READ]);
    write(fd[WRITE],msg,msgSize);
    close(fd[WRITE]);
  }
  else {
    close(fd[WRITE]);
    msgSize= read(fd[READ],buf,100);
    printf(‘‘Nbytes:%d, Msg:%s\n’’,msgSize,buf);
    close(fd[READ]);
  }
  exit(0);
}
```

→ Comunicação bi-direccional? ⇒ 2 pipes.

Somar os elementos de uma matriz: N processos e pipes

```
/* cria N processos, cada um calcula a soma de 1 linha
   de 1 matriz e escreve na pipe o resultado. O pai
   lê as somas parciais e calcula a soma global       */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define N     3
#define READ  0
#define WRITE 1

main() {
  int a[N][N]={{1,1,1},{2,2,2},{3,3,3}};
  int i, somaLin, somaGlo=0, fd[2];

  if (pipe(fd) == -1)
    msg_erro(‘‘pipe() falhou!’’);
  for (i=0; i<N; i++)
    if(fork() == 0) {             /* filho */
      somaLin= soma_vector(a[i]);
      close(fd[READ]);
      write(fd[WRITE], &somaLin, sizeof(int));
      exit(0);
    }
  close(fd[WRITE]);               /* pai */
  for (i=0; i<N; i++) {
    read(fd[READ], &somaLin, sizeof(int));
    somaGlo += somaLin;
  }
  close(fd[READ]); // ATENÇÃO!!! close somente 1 vez!!!
  printf(‘‘soma da matriz: %d\n’’, somaGlo);
}
int soma_vector(int v[]) {
  int i, soma=0;
  for (i=0; i<N; i++)  soma += v[i];
  return soma;
}
```

Duplicação de descriptores

Existem situações em que se torna necessário duplicar descriptores de ficheiros, nomeadamente quando o ficheiro representa uma *pipe* e quisermos construir uma *pipeline* entre processos.

→ **criação de uma cópia de um descriptor:**

```
int dup(int oldfd)
```

determina o menor descriptor disponível e coloca-o a apontar para o mesmo ficheiro que `oldfd`.

```
int dup2(int oldfd, int newfd)
```

fecha `newfd` se estiver activo e coloca-o a apontar para o mesmo ficheiro que `oldfd`.

Os descriptores original e cópia partilham o mesmo apontador para o ficheiro assim como o modo de acesso.

As funções retornam o novo descriptor ou -1 se ocorrer erro.

Vejamos um exemplo para redirecionar o standard-output de um processo ao standard-input do outro (e.g. pipes da shell).

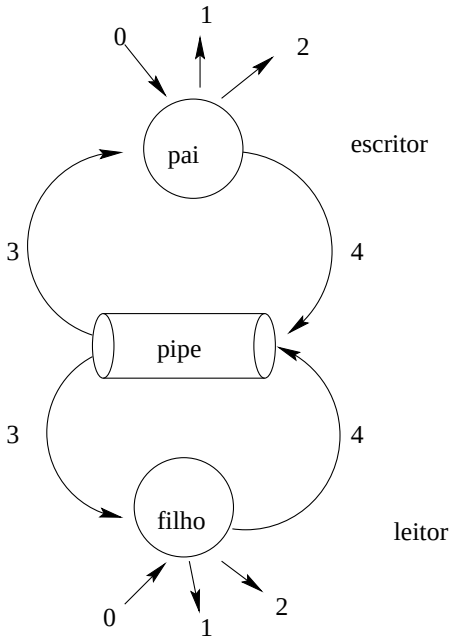
Exemplo com `dup2()`

Programa que executa 2 programas dados, ligando o `stdout` do primeiro ao `stdin` do segundo (e.g. `ligador who wc`).

```
#define Read  0
#define Write 1
main(int argc, char *argv[])
{
  int fd[2];

  pipe(fd);
  if (fork() == 0) { /* filho */
    close(fd[Write]);
    dup2(fd[Read], 0);
    close(fd[Read]);
    execlp(argv[2], argv[2], NULL);
    perror(‘‘ligação não sucedida’’);
  }
  else { /* pai */
    close(fd[Read]);
    dup2(fd[Write], 1);
    close(fd[Write]);
    execlp(argv[1], argv[1], NULL);
    perror(‘‘ligação não sucedida’’);
  }
}
```

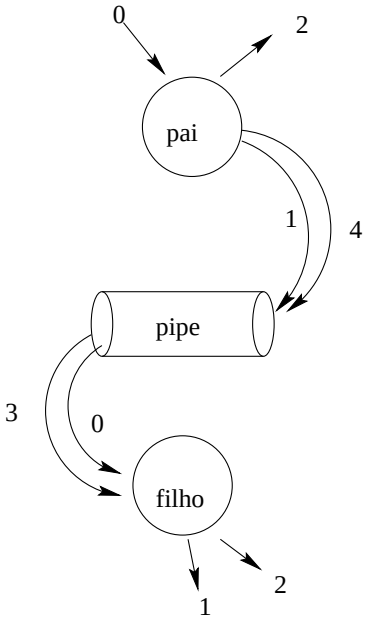
O exemplo em detalhe (1)

A: logo apos o fork()



	pai	filho
0	stdin	stdin
1	stdout	stdout
2	stderr	stderr
3	pipe_read	pipe_read
4	pipe_write	pipe_write

B: apos os dois processos executarem dup2()

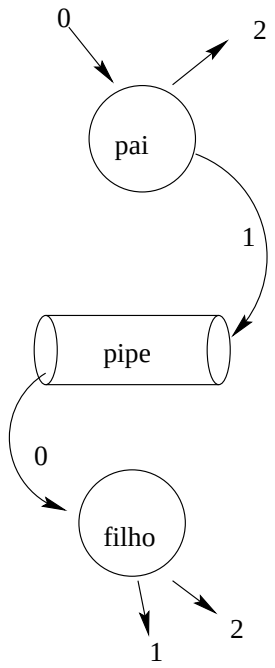


	pai	filho
0	stdin	pipe_read
1	pipe_write	stdout
2	stderr	stderr
3		pipe_read
4	pipe_write	

O exemplo em detalhe (2)

A: logo apos o fork()

C: apos o close() e antes do execlp()



	pai	filho
0	stdin	pipe_read
1	pipe_write	stdout
2	stderr	stderr

- o processo-pai executa o comando em argv[1] e escreve o resultado na pipe.

- o processo-filho le da pipe e executa o comando argv[2]

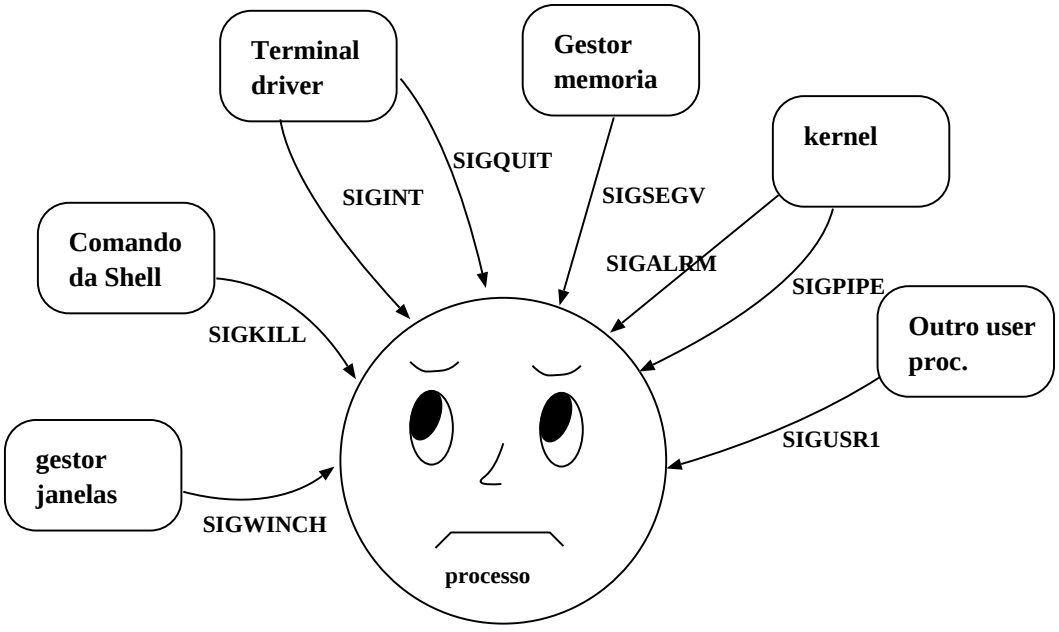
Exercício: modifique o programa anterior de forma a criar comunicação bidirecional entre os dois processos.

Sinais: eventos assíncronos

- Um sinal é um evento assíncrono que pode ser enviado a um processo, avisando-o de que algo de "inesperado" ou "anormal" aconteceu.
- *Evento Assíncrono* significa que pode ocorrer a qualquer momento.
- Tipos de sinais: (vêr `/usr/include/signal.h`)

Nome	Acção Default	Descrição/Causa
SIGINT	Termina proc.	Interrupção gerada pelo teclado
SIGQUIT	Imagem core	Abortar a execução (por teclado)
SIGKILL	Termina proc.	Resultado de um `kill -9`
SIGSEGV	Imagem core	Ref. inválida à memória
SIGPIPE	Termina proc.	Escrita na pipe sem ninguem para lêr
SIGALRM	Termina proc.	Sinal gerado por um despertador
SIGFPE	Imagem core	Excepção floating-point (divisão por zero)
SIGUSR1	Termina proc.	Sinal definido pelo utilizador

- De onde vêm os sinais?



Como é que um processo responde a um sinal?

Um processo pode escolher como responder à ocorrência de um sinal. Pode:

- *ignorar o sinal*: e.g. um processo pode proteger-se e ignorar sinais de interrupção.
- *apanhar o sinal*, executar uma função (signal-handler) em modo kernel e depois continuar a sua execução.
- aceitar a acção *default* do sinal, que na maioria dos casos termina o processo.

• **Envio explícito de um sinal**

```
int kill(pid_t pid, int sig);
```

envia o sinal definido por `sig` ao processo identificado por `pid`.

Um processo só pode enviar sinais aos processos com o mesmo `UID`.

Apanhar ou ignorar sinais

```
void *signal(int signum, void *handler())
```

onde `signum` define uma acção ou um sinal que quando ocorrer é apanhado e tratado pela função `handler()`. A função retorna o endereço da função que estava activa para o sinal indicado.

• A função `handler()` pode ser definida pelo utilizador ou uma das seguintes: `SIG_IGN` – para ignorar o sinal; ou `SIG_DFL` – para repôr o default para o sinal.

Outras funções ligadas a sinais

- Um processo pode requerer ao SO para que seja gerado um *timeout* enquanto faz outras tarefas. I.e. pede que lhe seja enviado um `SIGALRM` ao fim de um certo tempo (`nsecs` segundos):

```
int alarm(unsigned int nsecs);
```

- Um processo pode voluntariamente adormecer durante um certo tempo:

```
int sleep(unsigned int nsecs);
```

- Um processo também pode suspender voluntariamente a execução até receber um sinal:

```
int pause();
```

- **O que fazer com sinais?**
- Ignorar a acção de um dado sinal (ver os exemplos).
- Reconfiguração dinâmica. Um programa que leia dados de configuração de um ficheiro, normalmente fá-lo no início da execução, e caso ocorra alteração no ficheiro de configuração é necessário recomeçar o programa. Com um handler especial isso não seria necessário.

```
void le_fich_configuracao(int sig) {
  int fd=open(‘‘myconfig’’, O_RDONLY);
  /* ... leitura ...*/
  close(fd);
  signal(SIGHUP, le_fich_configuracao);
}
main() {
  le_fich_configuracao();
  while (1) { ... }
}
```

Exemplo: apanhar o sinal SIGINT.

O que fazer com sinais? (cont.)

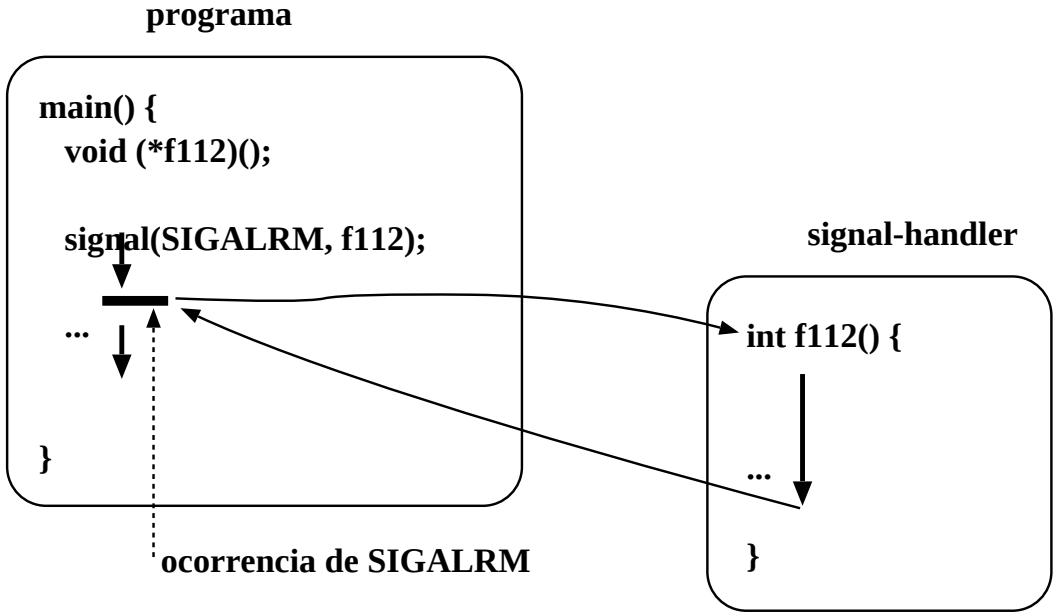
- Libertar memória antes de terminar. Ao apanhar o `SIGINT` chama uma função que liberta segmentos de memória partilhada, ou remove ficheiros temporários.
- Ligar e desligar debugging.

• Programa que se protege contra o sinal SIGINT, ie contra o sinal control-c.

```
#include <signal.h>

main()
{
  int (*f0)();

  printf(‘‘Control-c activo\n’’);
  sleep(3);
  f0= signal(SIGINT, SIG_IGN);
  printf(‘‘Control-c inactivo\n’’);
  sleep(3);
  signal(SIGINT, f0);
  printf(‘‘Control-c activo\n’’);
  sleep(3);
  printf(‘‘Adeusinho!\n’’);
}
```

Exemplo: apanhar o sinal SIGALRM.

```
#include <signal.h>
#include <unistd.h>

int flag=0;
void f112();

main()
{
  signal(SIGALRM, f112);
  alarm(5);
  printf(‘‘Esperando...\n’’);
  while (!flag)
    pause();
  printf(‘‘terminei.\n’’);
}
void f112()
{
  printf(‘‘Recebi sinal de alarme\n’’);
  flag=1;
}
```



Exemplo: cadeia de N processos

Escrever um programa que crie uma cadeia de N processos tal que o 1o processo da cadeia cria o 2o, o 2o cria o 3o, etc. Cada processo deve escrever o seu PID e o PID do processo-pai.

```
#define is_child(P)  (P == 0)

void cadeia_procs()
{
  pid_t pai, new_proc;
  int i;

  for (i=1; i<=N; i++) {

    pai = getpid();
    new_proc = fork();

    if (is_child(new_proc))
      printf("FILHO %d: PID=%d\tPPID=%d\n",i,getpid(),pai);
    }
    else
      break;
  }
  return;
}
```

Exemplo: sincronizar processos

Escrever um programa que crie um processo filho para calcular o número de fibonnacci de ordem 10, enviando o resultado ao processo pai por um sinal. O processo pai deve esperar que o processo filho termine, apanhar o sinal enviado e escrevê-lo. ATENÇÃO: este programa não funciona se o fibonacci devolver valores maiores do que 256, por causa da semântica operacional do WEXITSTATUS!!

```
void sinc_fib10()
{
  pid_t new_proc;
  int status;

  new_proc = fork();
  if (is_child(new_proc))
    exit(fibonacci(10));
  else {
    wait(&status);
    printf("PAI: fib(10) = %d\n",WEXITSTATUS(status));
  }
  return;
}

long fibonacci(int n)
{
  if (n==0) return 1;
  if (n==1) return 1;
  return fibonacci(n-1) + fibonacci(n-2);
}
```

Exemplo: paginação do output

Escreva um programa que crie um processo filho para paginar no ecrã as mensagens do processo pai. O processo pai deve enviar ao processo filho a seguinte sequência de linhas:

```
Linha 1
...
Linha 100
```

O processo filho deve executar o programa `more` para paginar no ecrã a sequência de linhas recebida do processo pai. Como o paginador `more` precisa de ter acesso exclusivo ao terminal, o processo pai não deve terminar antes do processo filho.

```
void paginacao() {
  pid_t new_proc;
  int fd[2];

  pipe(fd);
  if (is_parent(fork())) {
    char buf[100];
    int n;
    close(fd[READ]);
    for (n=1; n<=100; n++) {
      sprintf(buf, "Linha %d\n", n);
      write(fd[WRITE], buf, strlen(buf));
    }
    close(fd[WRITE]);
    wait(NULL);
  } else { // filho
    close(fd[WRITE]);
    dup2(fd[READ], STDIN_FILENO);
    close(fd[READ]);
    execlp("more","more",NULL);
    printf("FILHO: falha no execlp!\n");
  }
  return;
}
```

Exemplo: sincronização por sinais

Escrever um programa que crie um processo filho e ambos, pai e filho, devem imprimir alternadamente linhas, de modo a obter uma sequência alternada:

```
Filho: 1
Pai: 2
Filho: 3
...
Pai: 20
```

Solução 1:

```
void my_handler2() { signal(SIGUSR1, my_handler2);}
void sinc_sinais() {
  pid_t new_pid;
  int n=0;

  signal(SIGUSR1, my_handler2);
  if ((new_pid = fork())==0) { // se filho
    new_pid = getppid();
    n = 1;
    while (n <= 20) {
      sleep(1);
      printf(‘‘Filho: %d\n’’, n);
      n += 2;
      kill(new_pid, SIGUSR1);
      pause();
    }
  } else
    while (n <= 20) {
      pause();
      n += 2;
      printf(‘‘Pai: %d\n’’, n);
      kill(new_pid, SIGUSR1);
    }
}
```

Exemplo: sincronização por sinais

Solução 2:

```
#define LIMITE 20
int ctr=1; // var. global

void my_handler(int sinal) {
  ctr+=2;
  signal(SIGUSR1, my_handler2);
  if ( sinal==SIGKILL) exit(0);
}

void sinc_sinais(void) {
  int newpid,n2;
  n2=ctr=0;
  signal(SIGUSR1,my_handler2);
  if ((newpid=fork())==0) {
    ctr=1;
    while (ctr<LIMITE) {
      printf("Filho %d\n",ctr);
      n2=ctr;
      kill(getppid(),SIGUSR1);
      // esperar que o outro processo intervenha
      if(ctr==n2) pause();
    }
  } else {
    while (ctr<LIMITE) {
      // esperar que o outro processo intervenha
      if(ctr==n2) pause();
      printf("Pai %d\n",ctr);
      n2=ctr;
      kill(newpid,SIGUSR1);
    }
    kill(newpid,SIGKILL);
  }
}
```

Exemplo: pipe de processos (exame Julho 2002)

Escreva um programa que tire partido do uso de *pipes* para implementar comunicação entre processos. O programa deverá implementar um cenário em que o processo principal cria NP processos filho (NP $>$ 0) para escreverem alternadamente linhas de *output* de modo a obterem uma sequência semelhante à do exemplo que se segue:

```
Filho 1: 1
Filho 2: 2
Filho 3: 3
Filho 1: 4
Filho 2: 5
Filho 3: 6
Filho 1: 7
Filho 2: 8
Filho 3: 9
Filho 1: 10
```

O primeiro filho a ser criado inicia a sequência a que se seguem os restantes filhos pela ordem que foram criados. O processo decorre repetidamente até que um dos filhos atinga um determinado valor VAL (VAL $>$ 0). Atingido esse valor (10 no exemplo), todos os processos filhos devem terminar e o processo pai só deve terminar assim que todos os filhos terminem. Assuma que NP e VAL são constantes do sistema.

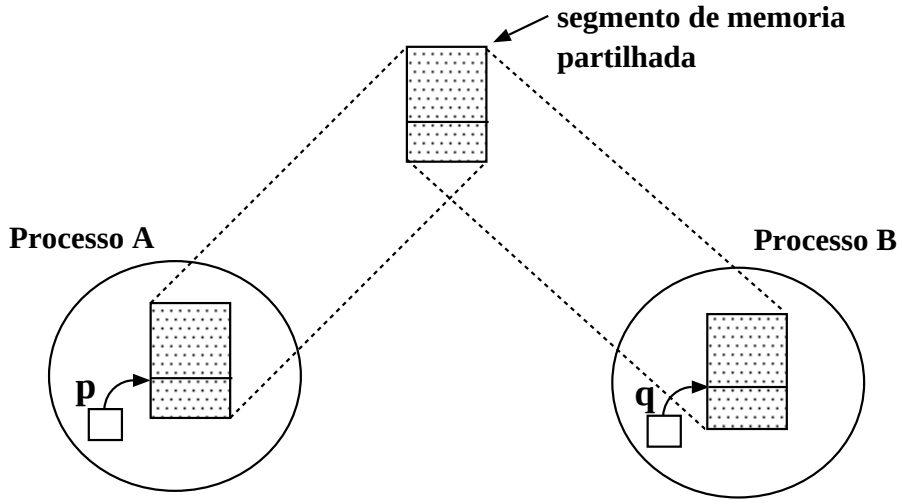
Exemplo: pipe de processos (cont.)

```
#include <sys/types.h>
#include <signal.h>
#include <unistd.h>
#define READ 0
#define WRITE 1
#define NP 3
#define VAL 10

main() {
  pid_t proc[NP];
  int fd[NP][2], np, val, i;

  for (np=0; np<NP; np++)
    pipe(fd[np]);

  for (np=0; np<NP; np++) {
    if ((proc[np] = fork()) == 0) {
      // processos do meio
      for (i=0; i<NP; i++) {
        if (i != np) close(fd[i][WRITE]);
        if (i != (np-1+NP)%NP) close(fd[i][READ]);
      }
      // primeiro processo
      if (np == 0) {
        val = 1;
        printf("Filho 1: 1\n");
        write(fd[np][WRITE], &val, sizeof(int));
      }
      while(read(fd[(np-1+NP)%NP][READ], &val, sizeof(int)))
        if (val == VAL) break;
        val++;
        printf("Filho %d: %d\n", np + 1, val);
        write(fd[np][WRITE], &val, sizeof(int));
      }
```

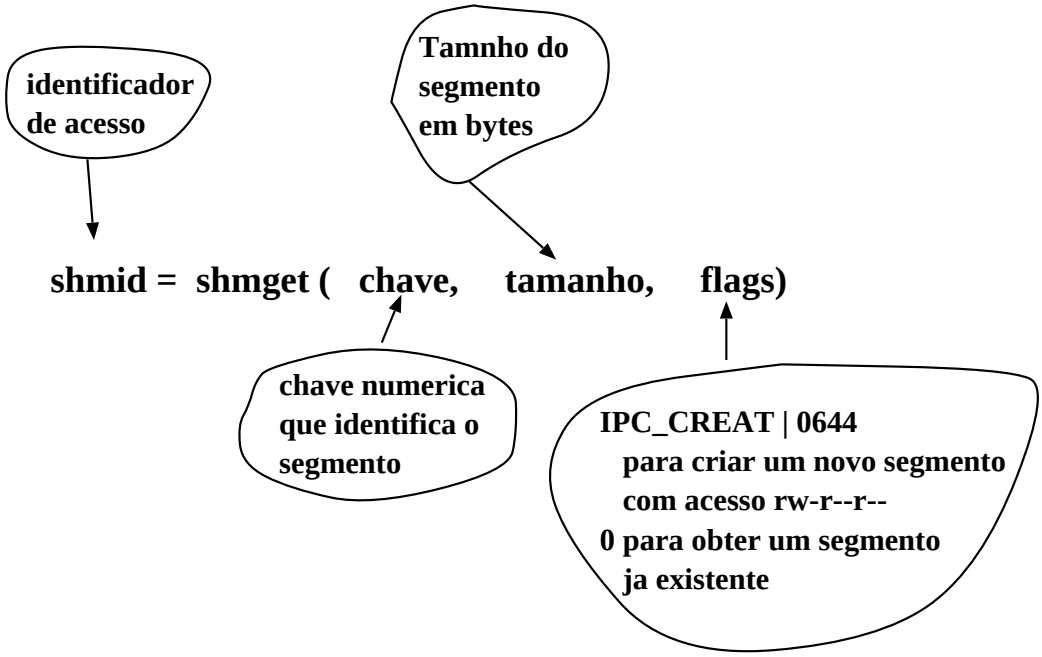
```
      // todos procs filho
      close(fd[np][WRITE]);
      close(fd[(np-1+NP)%NP][READ]);
      exit(0);
    }
  }
  // pai fecha todas as extremidades
  for (np=0; np<NP; np++) {
    close(fd[np][WRITE]);
    close(fd[np][READ]);
  }
  // pai espera pelos filhos
  for (np=0; np<NP; np++)
    waitpid(proc[np],0,0);
    exit(0);
}
```

Memória partilhada em Unix SysV

A forma mais geral de comunicação entre processos é através de memória partilhada.

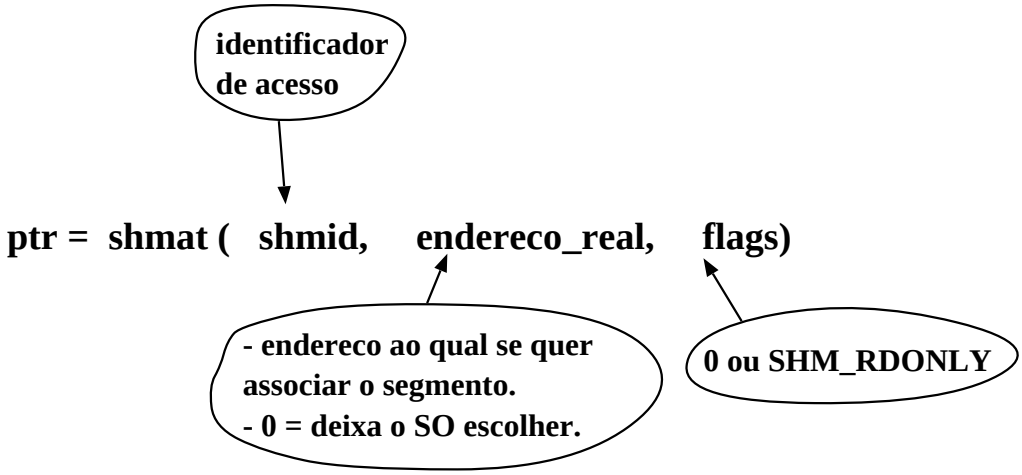


→ Criação de um segmento de memória partilhada:



Memória partilhada (cont.)

→ Ligar um segmento de memória partilhada a um endereço virtual no espaço de endereçamento do processo:



→ Desligar o segmento de memória partilhada do espaço do processo:

`int shmdt(ptr)` – o segmento deixa de ficar associado ao endereço local ao processo, `ptr`.

→ Remover o segmento de memória partilhada:

`int shmctl(shmid, cmd, buffer)` – caso `cmd` seja `IPC_RMID`, remove o segmento de memória partilhada do sistema.

→ O número de segmentos de memória partilhada que é possível criar é limitado. O SO fornece dois comandos para lidar com segmentos:

- `ipcs` – vêr que segmentos estão a ser usados;
- `ipcrm` – remover um segmento.

Exemplo: shmget() e shmat()

Exemplo de 2 programas (um servidor e outro cliente) que comunicam através de memória partilhada.

```
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>
#define SHMSZ  27
main() {
  char c, *shm, *s;
  int chave= 5678, shmid;

  shmid= shmget(chave, SHMSZ, (IPC_CREAT|0666));
  shm= (char *)shmat(shmid, NULL, 0);

  s= shm;                    /* escreve info em memória */
  for (c='a'; c<='z'; c++)
    *s++= c;
  *s= '\0';
                             /* espera até que outro proc.
                                altere o 1o. char em memória */
  while (*shm != '*')
    sleep(1);
  shmdt(shmid);  /* liberta segmento */
  exit(0);
}
```

Exemplo shmget() e shmat() (cont.)

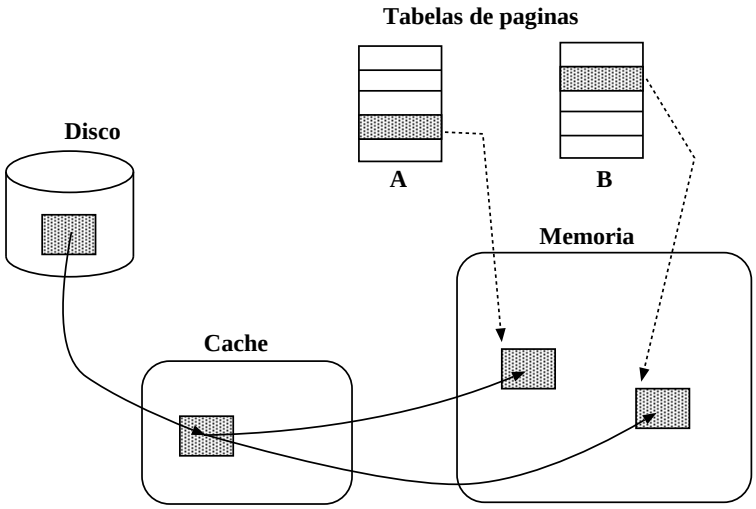
Programa para lêr da memória partilhada:

```
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>
#define SHMSZ  27
main()
{
  char c, *shm, *s;
  int chave= 5678, shmid;

  shmid= shmget(chave, SHMSZ, 0666);
  shm= (char *)shmat(shmid, NULL, 0);

  for (s=shm; *s!='\0'; s++) /* lê da memória partilhada*/
    putchar(*s);
  putchar('\n');
  *shm='*';        /* alterar o 1o. caracter em memória */
  exit(0);
}
```

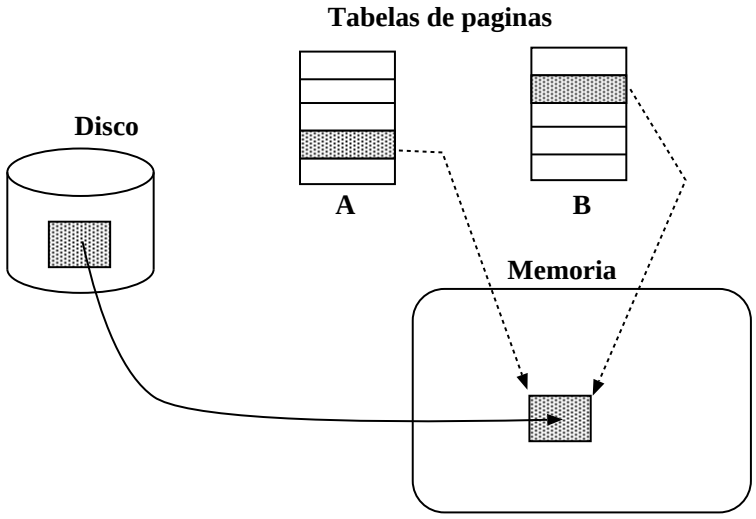
Mapeamento de Memória em Ficheiros

• Modo tradicional de acesso a ficheiros em Unix: open + (read ou write ou lseek) + close.

Dois processos mapeiam no seu espaço uma cópia da mesma página de um ficheiro:



Dois processos mapeiam a mesma página no seu espaço:



Esta página pode ser mapeada como partilhada ou como privada. Neste caso não há garantia de atomicidade na escrita e leitura do ficheiro (como acontece com read e write).

Função mmap()

```
aptr= mmap(endereço,tam,prot,flags,fd,offset)
```

onde,

- `aptr` é o endereço onde está colocado o mapeamento.
- `endereço` sugere um endereço em memória para o mapeamento. `0` ou `NULL`: o sistema escolhe.
- `tam` é o tamanho em bytes.
- `prot` é `PROT_READ` ou `PROT_WRITE`
- `flags`: `MAP_SHARED`
- `fd` é o descriptor do ficheiro (é necessário abrir o ficheiro antes!)
- `offset` deslocamento no ficheiro onde começar o mapeamento.

Atenção aos passos para cada processo:

• obter o descriptor do ficheiro
• fazer o mmap que retorna um apontador
• lê e escreve sobre o ficheiro através do apontador.

Exemplo com mmap(): rank-sort

```
#include <stdio.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/mman.h>
#define  N     6
#define  SIZE  4*1024*sizeof(int)
int  a[N];
int *b;

main() {
  int childpid, status, fd, i;

  printf("Vector A:\n");
  for(i=0; i<N; i++) {
    a[i]= N-i-1; printf("%d ",a[i]);
  }
  printf("\n");

  fd= open("tmp.mmap",O_RDWR);  /* abre o ficheiro        */
  lseek(fd,SIZE,SEEK_SET);      /* truque para garantir   */
  write(fd,"",1);               /* tamanho do fich é SIZE */

  b=(int *)mmap(0, (N+1)*sizeof(int),
      PROT_READ | PROT_WRITE, MAP_SHARED, fd, 0);
  for(i=0; i< N; i++)
    if ((childpid = fork()) == 0)
      putInPlace(i);
  for(i=0; i<N; i++)
    wait(&status);
  printf("Vector B:\n");
  for(i=0; i<N; i++)
    printf("%d ",b[i]);
  printf("\n");
}
```

Exemplo com mmap (cont.)

```
void putInPlace(int i) {
  int t, j, rank;

  t= a[i];
  rank= 0;
  for (j=0; j<N; j++)
    if (t>a[j]) rank++;
  b[rank]= t;
  exit(0);
}
```

Semáforos em Unix

→ Criar um vector de semáforos:

```
semid = semget ( chave, nsems, flag);
```

onde:

- `semid` identificador de acesso ao semáforo.
- `chave` identificador global que identifica este vector de semáforos; se a chave for conhecida por outro processo, este pode com a execução de um novo `semget()` e mesma chave, ganhar acesso aos mesmos semáforos.
- `nsems` número de semáforos a criar no vector;
- `flag` condicionam o modo de uso do semáforo: `IPC_CREAT | 0644`, cria novo com permissões `0644`; se forem `NULL`, para obter um vector já existente.

→ Remover um vector de semáforos:

```
semctl ( semid, semnum, comando);
```

com `comando = IPC_RMID`. Outros comandos permitem usar esta função com outro significado.

Operações sobre Semáforos em Unix

```
status= semop ( semid, semops, nsemops);
```

onde:

- `semid` identificador de acesso ao semáforo.
- `nsemops` número de estruturas na tabela.
- `semops`: tabela de estruturas que definem as operações sobre os semáforos;

```
struct sembuf {
  short semNum; /*num. sem. afectado por semOp*/
  short semOp;  /*operação sobre semáforo     */
  short SemFlag;
}
```

- Valores `semOp<0` implicam espera do processo (se resultado igual a zero) e lock do semáforo; , valores `semOp>0` libertam o semáforo.

→ Semáforos binários (tomam apenas 0 e 1):

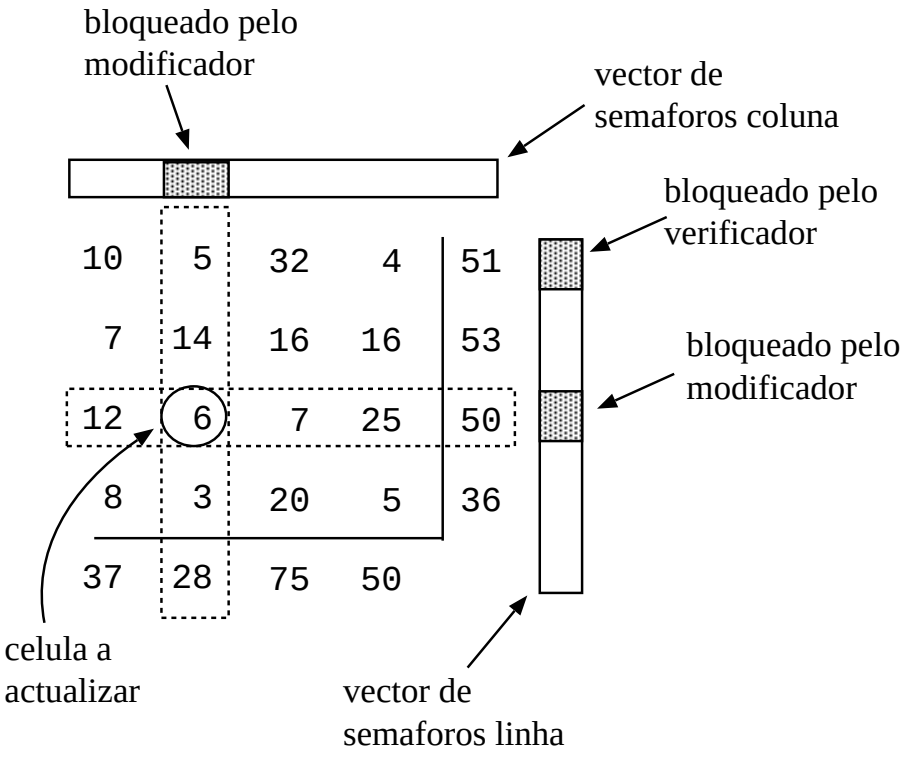
```
#define UP(sid,n) {                    \
            struct sembuf up={n,1,0};\
            semop(sid, &up, 1);       \
}
#define DOWN(sid,n) {                     \
            struct sembuf down={n,-1,0};\
            semop(sid, &down, 1);        \
}
#define INIT(sid,n) UP(sid,n)
```

Exemplo com “shm” e “sem”: Folha de Cálculo

Consideremos uma espécie de folha de cálculo representada por uma matriz de N linhas e M colunas, em que cada elemento da última linha é a soma dos elementos da mesma coluna e a cada elemento da última coluna é a soma dos elementos da mesma linha.

Suponhamos que temos dois processos:

- um *modificador*: periodicamente modifica, de forma aleatória, o valor de uma célula da matriz e actualiza os totais na linha e coluna que contêm a célula.
- um *verificador*: periodicamente escreve a matriz, e verifica se os totais estão correctos.



Folha de Cálculo (cont.)

Potenciais dificuldades: modificador e verificador podem estar a usar valores da mesma linha ou coluna e ocasionar problemas de concorrência.

```
MODIFICADOR:
  escolhe aleatoriamente 1a célula e 1 valor
  entrar na zona crítica
    modifica célula com novo valor
    actualiza total na linha
    actualiza total na coluna
  sair da zona crítica

VERIFICADOR:
  para todas as linhas {
    entrar na zona crítica
      calcula soma de todas células na linha
      se (soma != total na folha)
         escreve mensagem
    sair da zona crítica
  }
  para todas as colunas {
    entrar na zona crítica
      calcula soma de todas células na coluna
      se (soma != total na folha)
         escreve mensagem
    sair da zona crítica
  }
```

Folha de Cálculo (cont.)

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>
#include <sys/sem.h>

/* CONSTANTES */
#define NLINS  8
#define NCOLS  8
#define SKEY 123
#define SSIZE  NLINS*NCOLS*sizeof(int)

/* MACROS */
#define CELL(s,r,c)  (*((s)+((r)*NCOLS)+(c)))

/* operações sobre semáforos */
#define UP(sid,n) {                    \
            struct sembuf up={n,1,0};\
            semop(sid, &up, 1);      \
}
#define DOWN(sid,n) {                     \
            struct sembuf down={n,-1,0};\
            semop(sid, &down, 1);       \
}
#define INIT(sid,n) UP(sid,n)

/* VARIAVEIS GLOBAIS */
int totalLin, totalCol; /* totais na linha e coluna */
int linSems, colSems;   /* id vectores de semaforos */

/* PROTOTIPOS DAS FUNCOES */
void gera_nova_entrada(int *);
void escreve_e_verifica(int *);
int  inicia_sems(key_t, int);
```

Folha de Cálculo (cont.)

```
int main()
{
  int id, lin, col, *folha, i=0, j=0;

  setbuf(stdout,NULL);  /* evita buffering */
  totalLin= NLINS-1;
  totalCol= NCOLS-1;
  /* seg. mem. partilhada para a matriz */
  id= shmget(SKEY, SSIZE,IPC_CREAT|0600);
  folha= (int *) shmat(id,0,0);
  for (lin=0; lin < NLINS; lin++) /* celulas a zero */
    for (col=0; col<NCOLS; col++)
      CELL(folha, lin, col)=0;
                          /* cria e inicia vecs de sems */
  linSems= inicia_sems(SKEY, NLINS);
  colSems= inicia_sems(SKEY+1, NCOLS);
  if (fork()) {           /* pai escreve e verifica*/
    for (;;) escreve_e_verifica(folha);
  }
  else {                  /* filho gera valores */
     for (;;) gera_nova_entrada(folha);
     exit(0);
  }
  wait(0);
  semctl(linSems,0,IPC_RMID);/* liberta sems*/
  semctl(colSems,0,IPC_RMID);
  shmdt(folha);              /* liberta shm */
  shmctl(id,IPC_RMID, 0);
  exit(0);
}
```

Folha de Cálculo (cont.)

```
int inicia_sems(key_t k, int n)
{
  int semid, i;

  if ((semid=semget(k,n,0))!=-1)  /* se ja existem */
    semctl(semid,0,IPC_RMID);     /* liberta-os    */
                                  /* cria novos    */
  if ((semid=semget(k,n,IPC_CREAT|0600))!=-1)
    for (i=0; i<n; i++)   /* inicia sems do vector */
      INIT(semid,i);
  return semid;
}

void gera_nova_entrada(int *s)
{
  int lin, col, old, new;

  /* escolhe aleatoriamente celula e novo valor */
  lin= rand() % (NLINS-1);
  col= rand() % (NCOLS-1);
  new= rand() % 1000;
                    /* tenta entrar na zona critica */
  DOWN(linSems, lin);
  DOWN(colSems, col);
  old= CELL(s, lin, col); /* actualiza celula e totais */
  CELL(s, lin, col)= new;
  CELL(s, lin, totalCol) += (new-old);
  CELL(s, totalLin, col) += (new-old);
  UP(colSems, col); /* sai da zona critica */
  UP(linSems, lin);
  usleep(5000);
}
```

Folha de Cálculo (cont.)

```
void escreve_e_verifica(int *s)
{
  int lin, col, soma, totalErrs;
  static int ctr= 0;

  totalErrs=0;
  ctr++;
  for (lin=0; lin<NLINS; lin++) {
    soma= 0;
    DOWN(linSems, lin);
    for (col=0; col<NCOLS; col++) {
      if (col != totalCol)
        soma += CELL(s, lin, col);
      printf("%5d", CELL(s,lin,col));
    }
    if (lin!= totalLin)
      totalErrs += (soma != CELL(s, lin, totalCol));
    UP(linSems, lin);
    printf("\n");
  }
  for (col=0; col<totalCol; col++) {
    soma=0;
    DOWN(colSems,col);
    for (lin=0; lin<totalLin; lin++)
      soma += CELL(s,lin, col);
    totalErrs += (soma != CELL(s, totalLin, col));
    UP(colSems, col);
  }
  if (totalErrs)
    printf("\nFolhaCalculo n(%d) falhou\n",ctr);
  if ((ctr % 20) == 0)
    printf("\nFolhaCalculo n(%d) processada\n",ctr);
  printf("\n-------------------------------------\n");
  sleep(2);
}
```