

Inter-process Communication (IPC)

Comunicação entre processos (1)

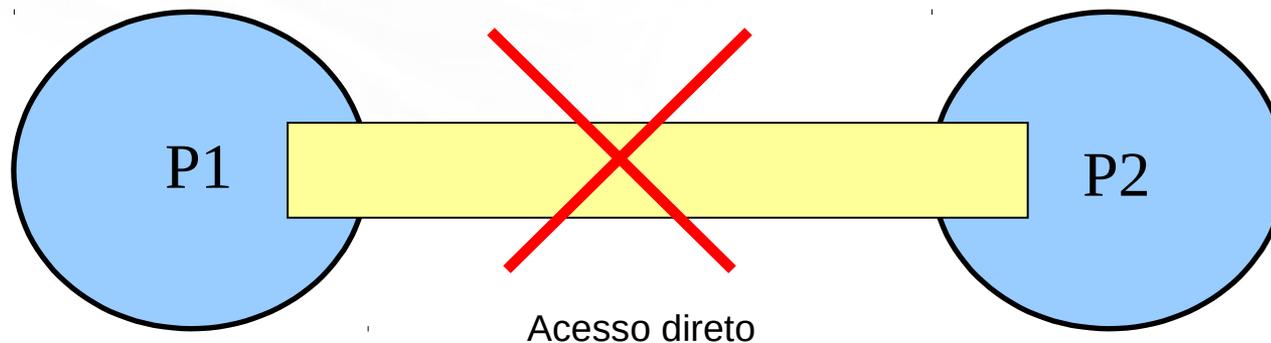
Introdução

Tubos (*Pipes*)

Filas (FIFOs, *Named Pipes*)

Comunicação entre Processos (1)

- Os sistemas operacionais implementam mecanismos que asseguram a independência entre processos.
- Processos executam em cápsulas autônomas
 - A execução de um processo não afeta os outros.
- Hardware oferece proteção de memória.
 - Um processo não acessa o espaço de endereçamento do outro.



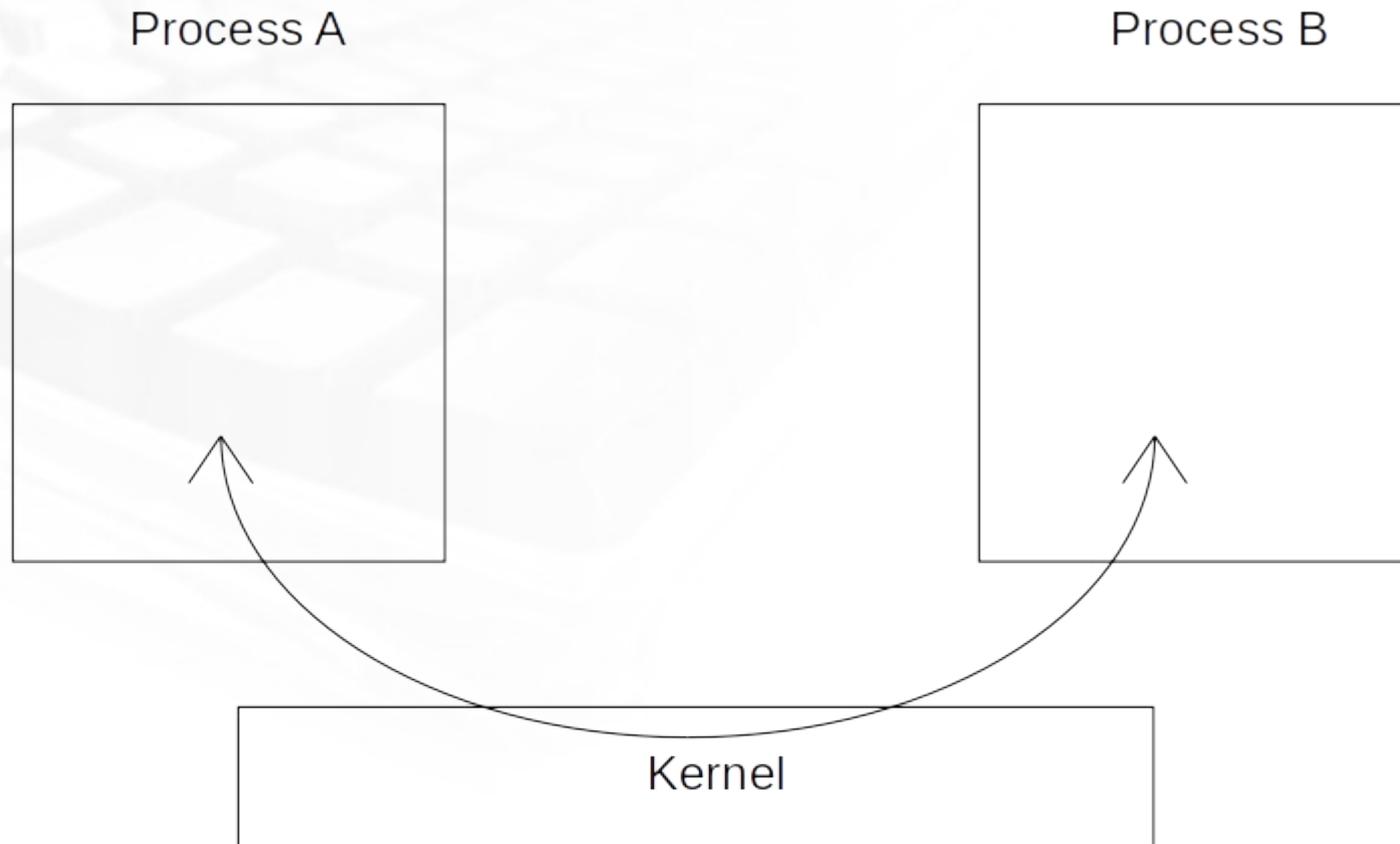
Comunicação entre Processos (2)

- Processos, entretanto, interagem e cooperam na execução de tarefas. Em muitos casos, processos precisam trocar informação de forma controlada para
 - dividir tarefas e aumentar a velocidade de computação;
 - aumentar da capacidade de processamento (rede);
 - atender a requisições simultâneas.
- Solução: S.O. fornece mecanismos que permitem aos processos comunicarem-se uns com os outros (IPC).
- **IPC - Inter-Process Communication**
 - conjunto de mecanismos de troca de informação entre múltiplas threads de um ou mais processos.
 - Necessidade de coordenar o uso de recursos (sincronização).

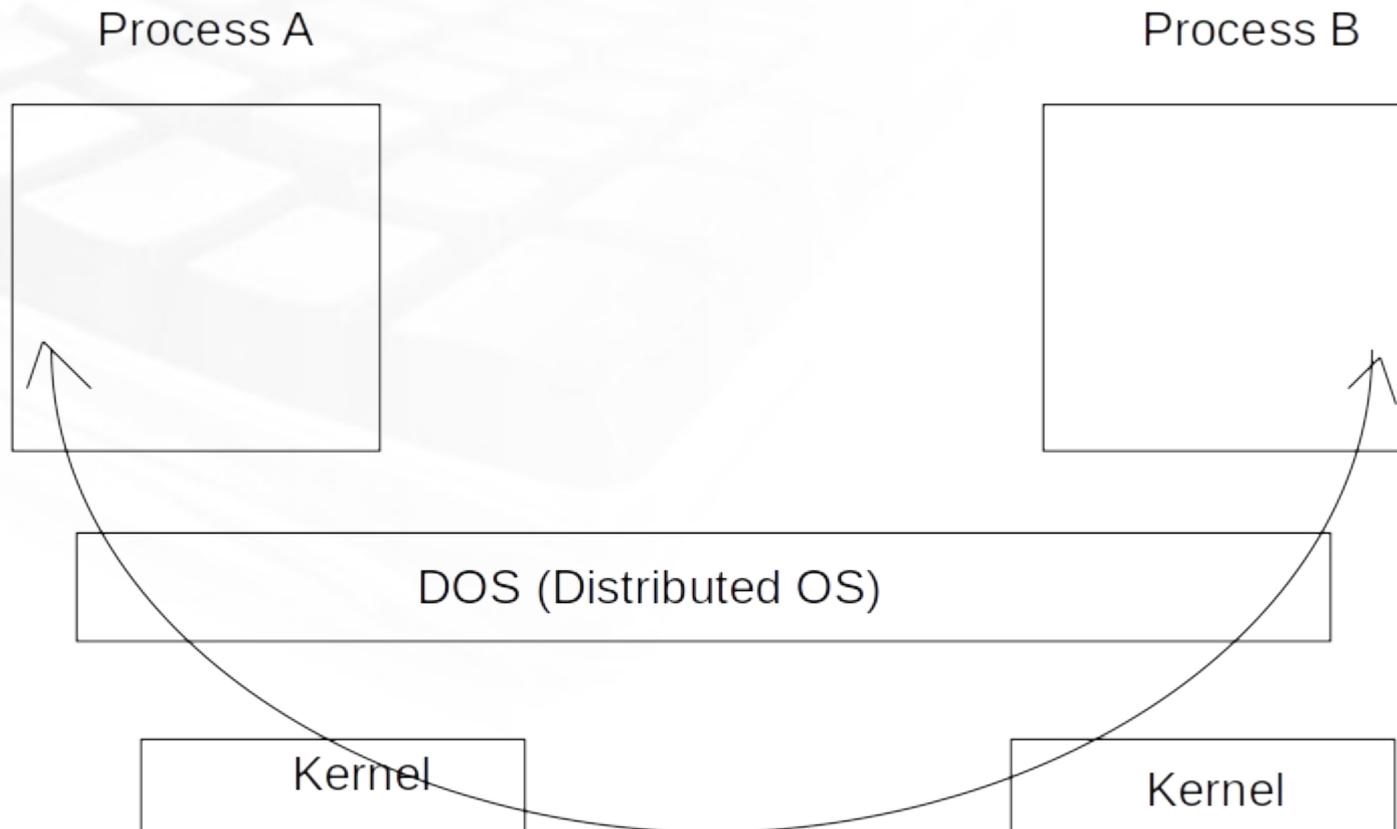
Comunicação entre Processos (4)

- Características desejáveis para IPC
 - Rápida
 - Simples de ser utilizada e implementada
 - Possuir um modelo de sincronização bem definido
 - Versátil
 - Funcione igualmente em ambientes distribuídos
- Sincronização é uma das maiores preocupações em IPC
 - Permitir que o *sender* indique quando um dado foi transmitido.
 - Permitir que um *receiver* saiba quando um dado está disponível .
 - Permitir que ambos saibam o momento em que podem realizar uma nova IPC.

IPC – Um Computador



IPC – Dois Computadores



Mecanismos de IPC

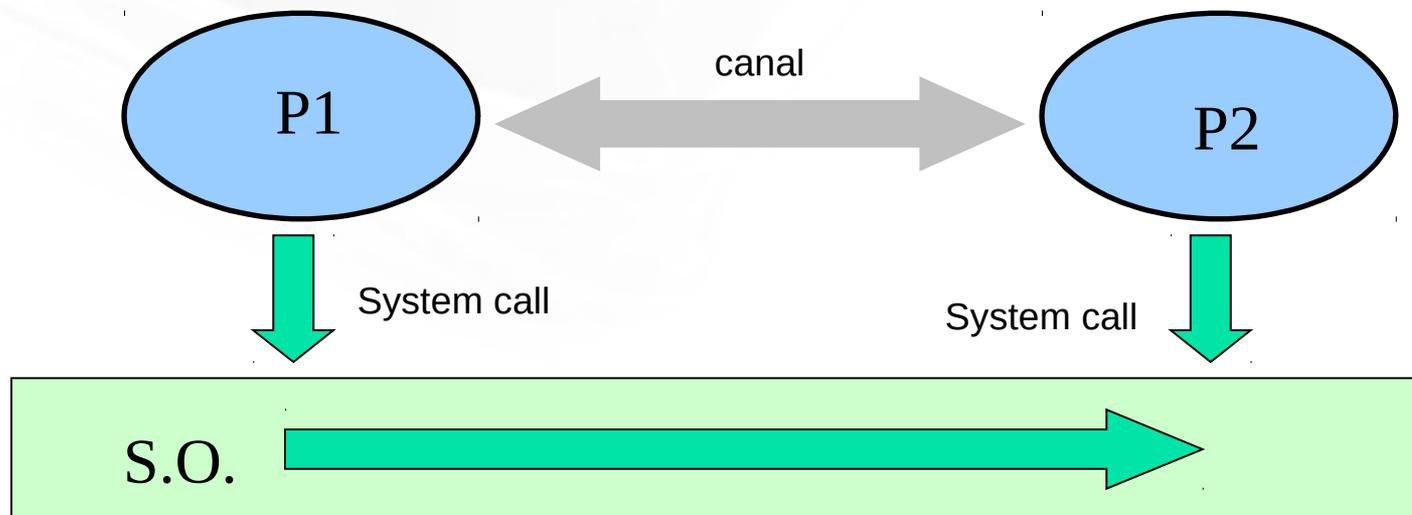
- Fundamentalmente, existem duas abordagens:
 - Suportar alguma forma de **espaço de endereçamento compartilhado**
 - **Shared memory** (memória compartilhada)

OU

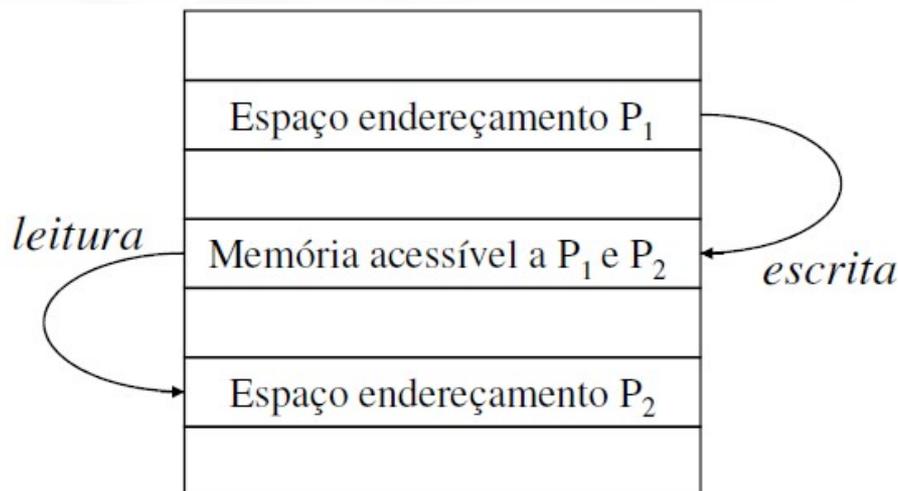
- Utilizar **comunicação via núcleo do S.O.**, que ficaria então responsável por transportar os dados de um processo a outro. São exemplos:
 - **Pipes e Sinais** (ambiente centralizado)
 - **Troca de Mensagens** (ambiente distribuído)
 - **RPC - Remote Procedure Call** (ambiente distribuído)

Mecanismos de IPC

- Ao fornecer mecanismos de IPC, o S.O implementa “canais” de comunicação (implícitos ou explícitos) entre processos.

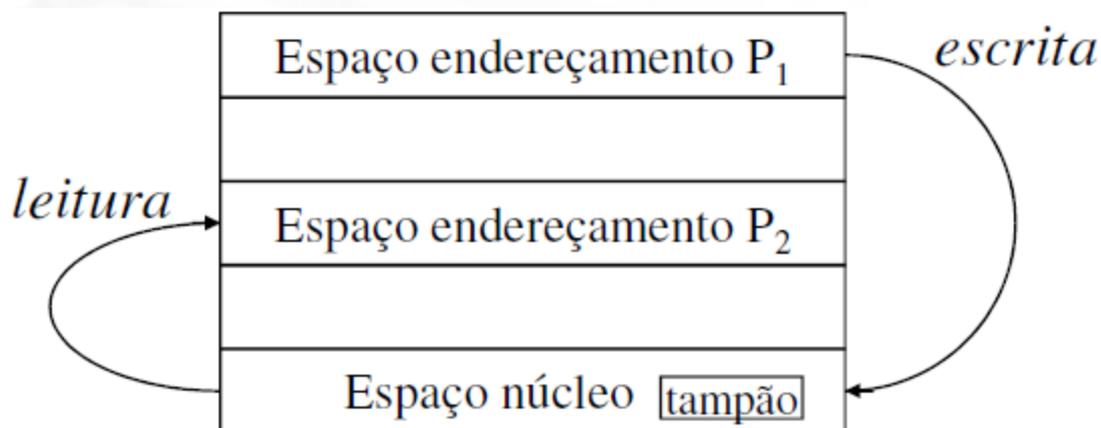


Comunicação via Memória Compartilhada



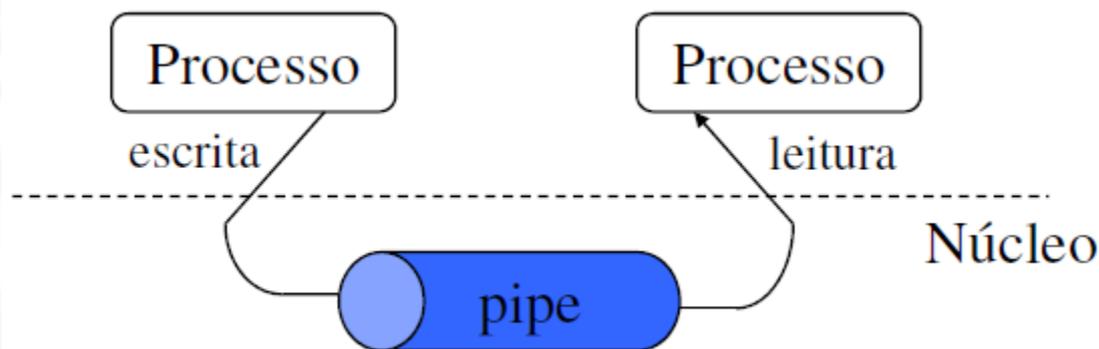
- Vantagens:
 - Mais eficiente (rápida), já que não exige a cópia de dados para alguma estrutura do núcleo.
- Inconveniente:
 - Problemas de sincronização.

Comunicação via Núcleo



- **Vantagens:**
 - Pode ser realizada em sistemas com várias CPUs.
 - Sincronização implícita.
- **Inconveniente:**
 - Mais complexa e demorada (uso de recursos adicionais do núcleo).

Tubos (Pipes) (1)



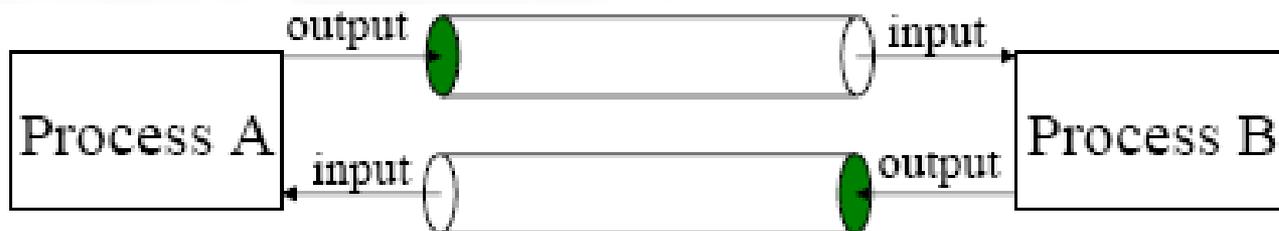
- No UNIX, os *pipes* constituem o mecanismo original de comunicação unidirecional entre processos.
- São um mecanismo de I/O com duas extremidades, correspondendo, na verdade, a filas de caracteres tipo FIFO.
- As extremidades são implementadas via descritores de arquivos (vide adiante).

Tubos (Pipes) (2)

- Um *pipe* tradicional caracteriza-se por ser:
 - **Anônimo** (não tem nome).
 - **Temporário**: dura somente o tempo de execução do processo que o criou.
- Vários processos podem fazer leitura e escrita sobre um mesmo *pipe*, mas nenhum mecanismo permite diferenciar as informações na saída do *pipe*.
- A capacidade do *pipe* é limitada
 - Se uma escrita é feita e existe espaço no pipe, o dado é colocado no *pipe* e a chamada retorna imediatamente.
 - Se a escrita sobre um *pipe* continua mesmo depois dele estar cheio, ocorre uma situação de bloqueio (que permanece até que algum outro processo leia e, conseqüentemente, abra espaço no *pipe*).

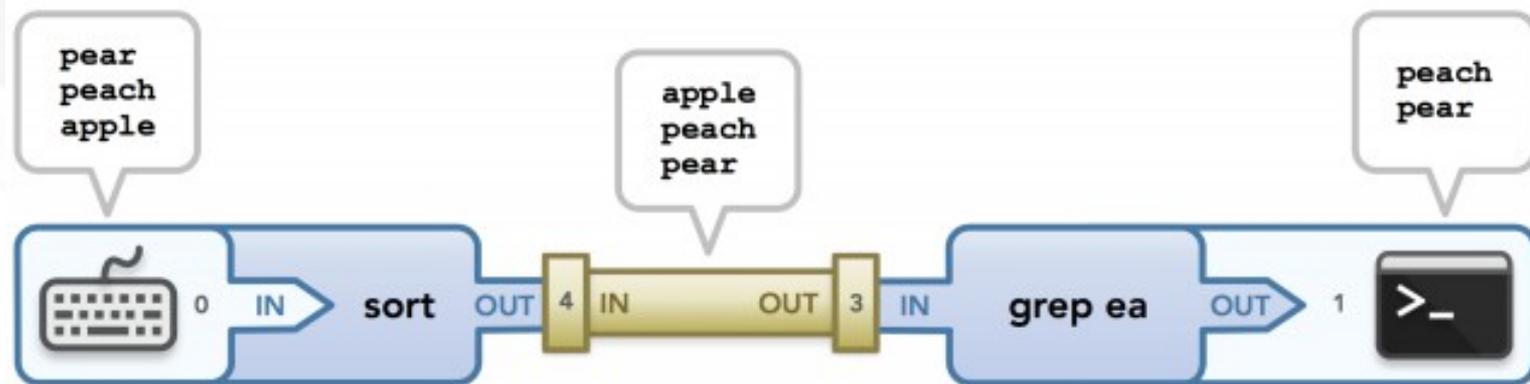
Tubos (Pipes) (3)

- É impossível fazer qualquer movimentação no interior de um *pipe*.
- Com a finalidade de estabelecer um diálogo entre dois processos usando *pipes*, é necessário a abertura de um *pipe* em cada direção.



Uso de Pipes

```
$ sort | grep ea
```

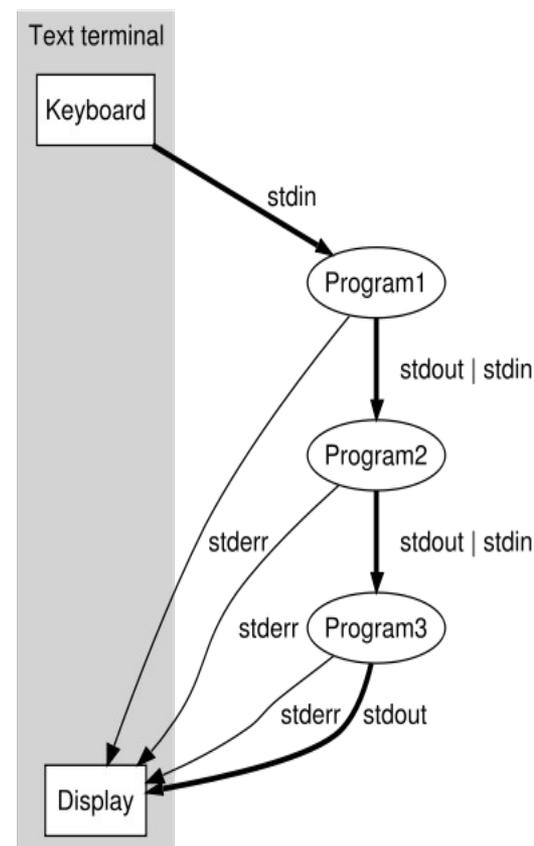


Obs: use Ctrl-d to stop the "sort" input

Uso de Pipes

```
curl "http://en.wikipedia.org/wiki/Pipeline_(Unix)" | \
sed 's/[^a-zA-Z ]/ /g' | \
tr 'A-Z' 'a-z\n' | \
grep '[a-z]' | \
sort -u | \
comm -23 - /usr/dict/words
```

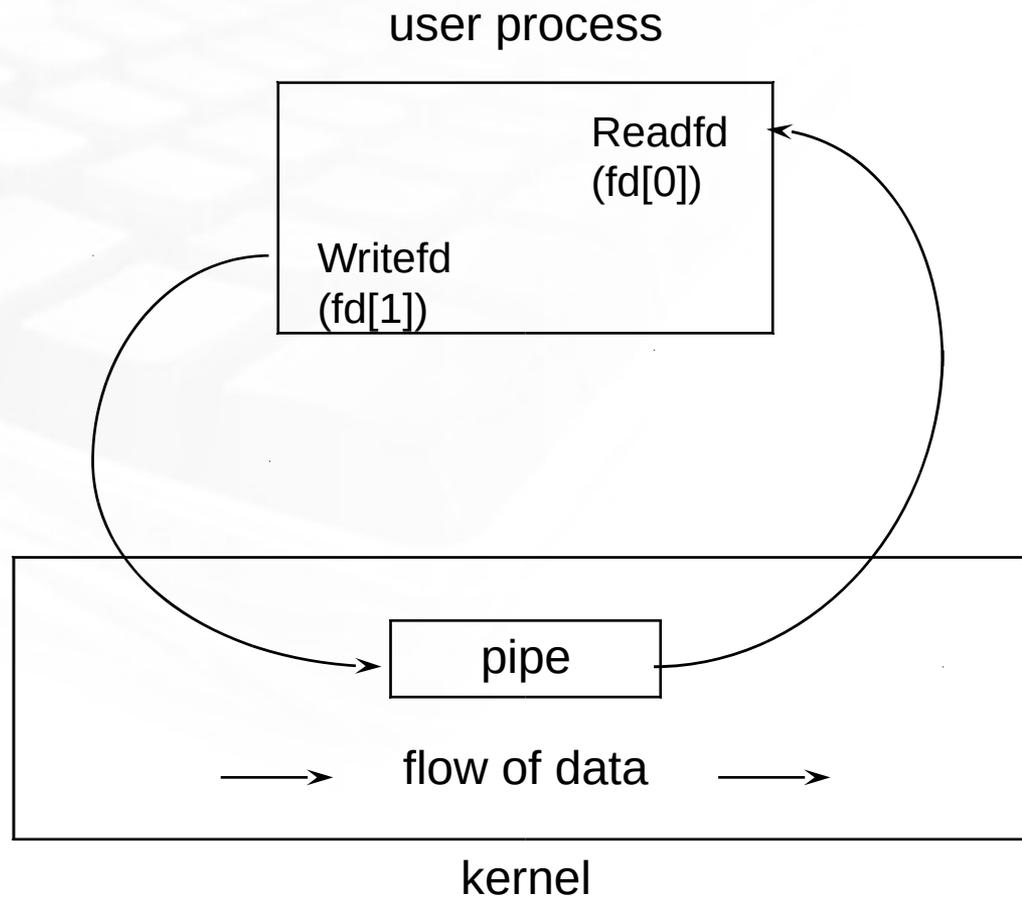
(1) **curl** obtains the HTML contents of a web page. (2) **sed** removes all characters which are not spaces or letters from the web page's content, replacing them with spaces. (3) **tr** changes all of the uppercase letters into lowercase and converts the spaces in the lines of text to newlines (each 'word' is now on a separate line). (4) **grep** removes lines of whitespace. (5) **sort** sorts the list of 'words' into alphabetical order, and removes duplicates. (6) Finally, **comm** finds which of the words in the list are not in the given dictionary file (in this case, /usr/dict/words).



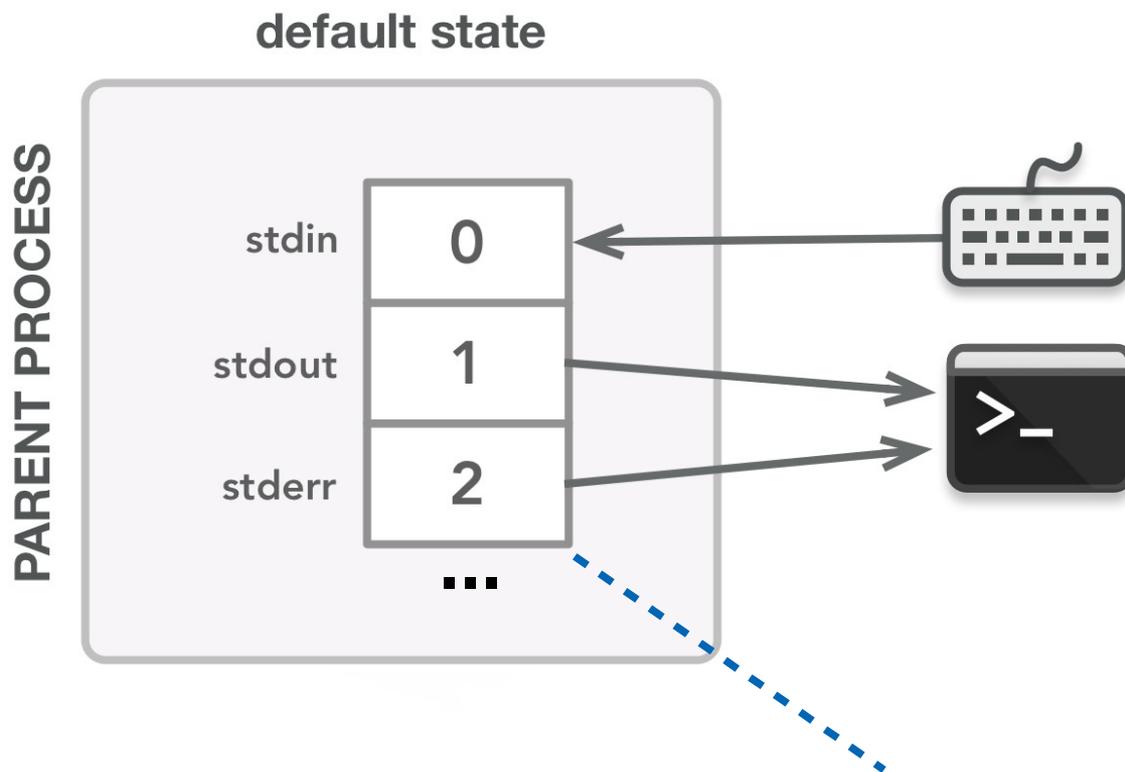
Criação de Pipes (1)

- *Pipes* constituem um canal de comunicação entre processos pai-filho.
 - Os *pipes* são definidos antes da criação dos processos descendentes.
 - Os *pipes* podem ligar apenas processos com antepassado comum.
- Um *pipe* é criado pela chamada de sistema:
 - **POSIX:** `#include <unistd.h>`
`int pipe(int fd[2])`
- São retornados dois descritores:
 - Descritor `fd[0]` - aberto para leitura
 - Descritor `fd[1]` - aberto para escrita.

Criação de Pipes (2)

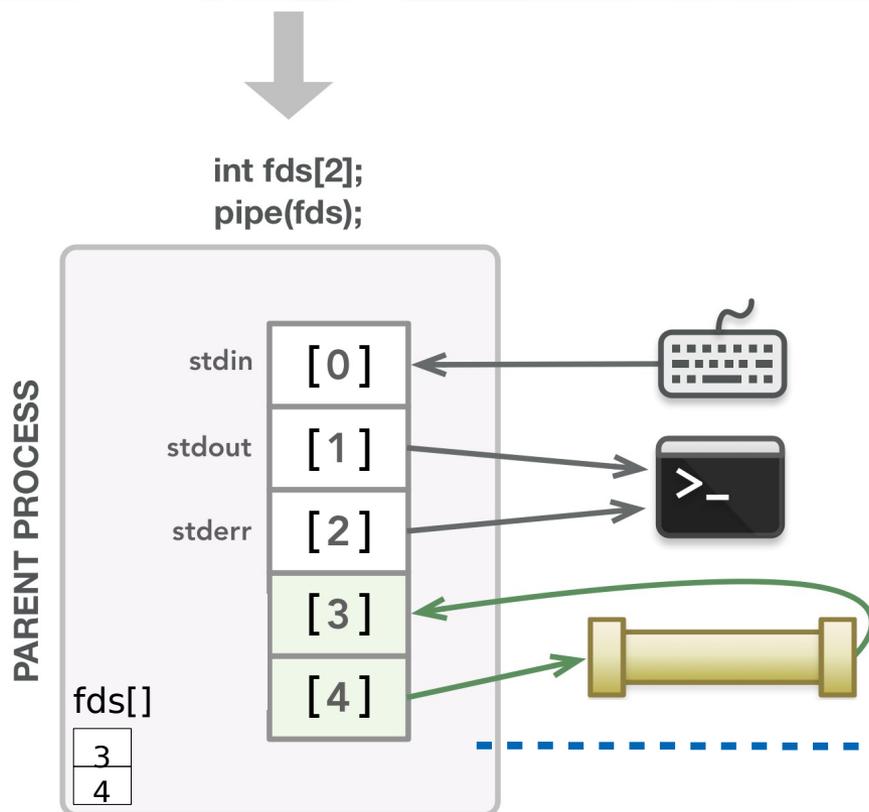


Criação de Pipes (obs. Descritor de Arquivo)



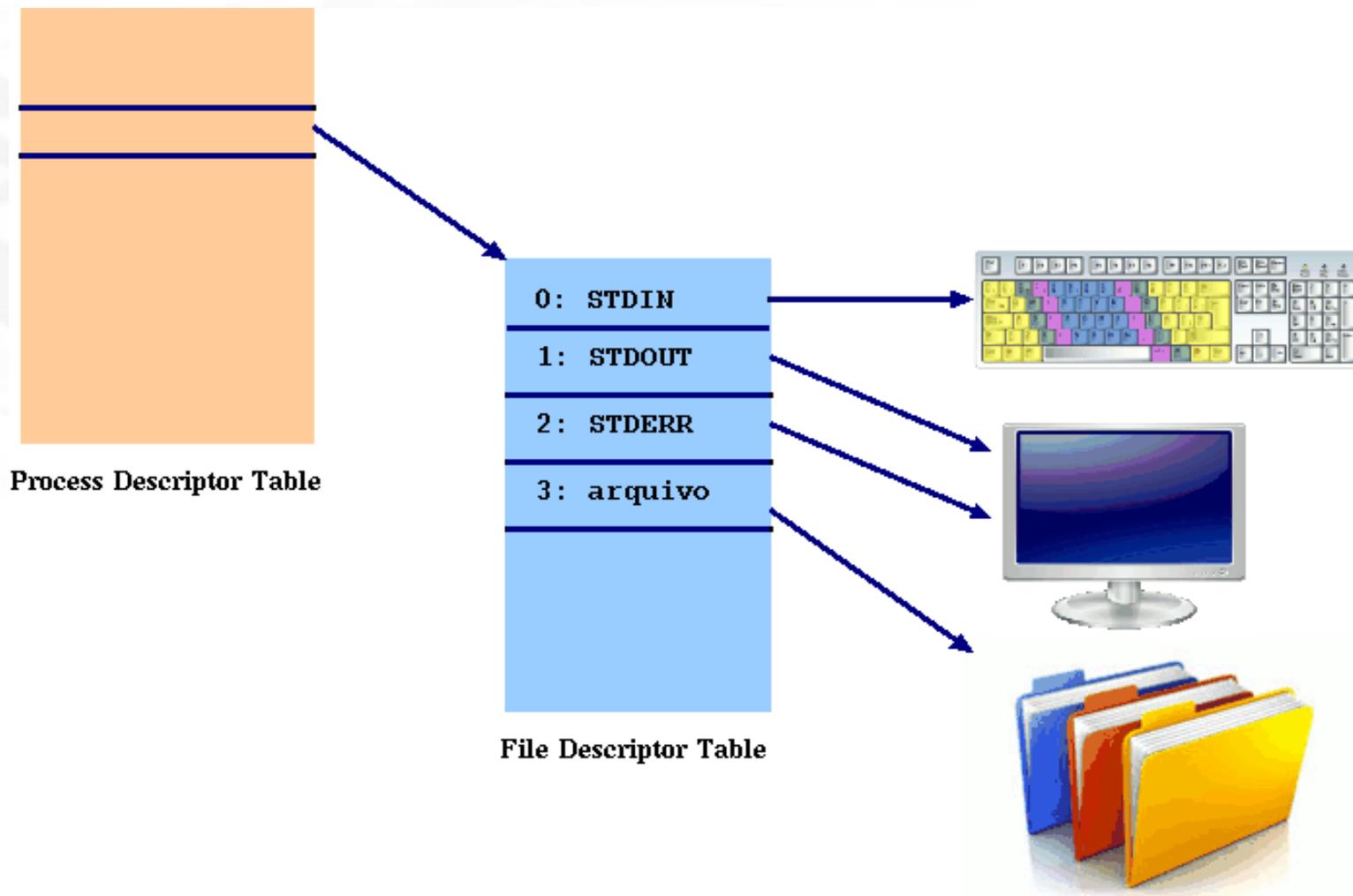
Cada processo tem uma *File Descriptor Table*

Criação de Pipes (obs. Descritor de Arquivo)

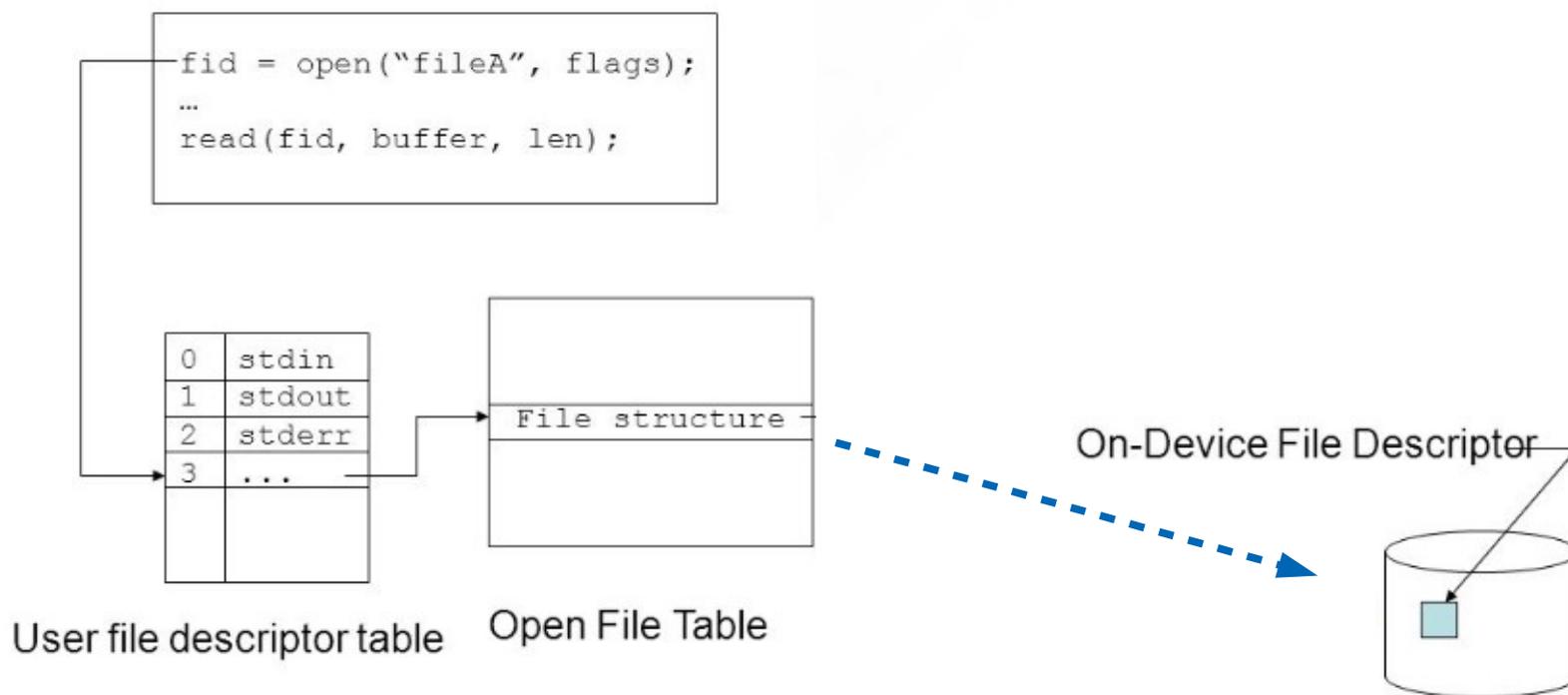


Quando criamos um pipe (ou mesmo um arquivo convencional), são alocados descritores nessa tabela para podermos fazer acesso de leitura e escrita ao pipe.

Criação de Pipes (obs. Descritor de Arquivo)

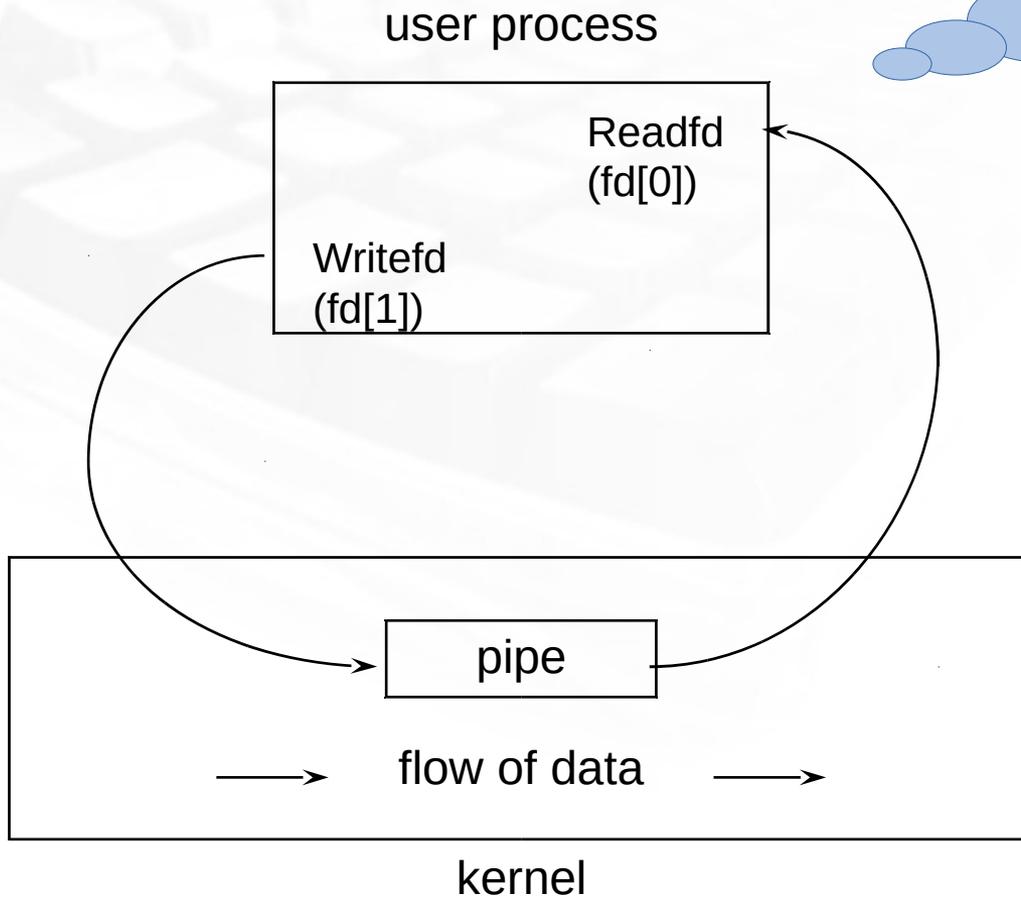


Criação de Pipes (obs. Descritor de Arquivo)

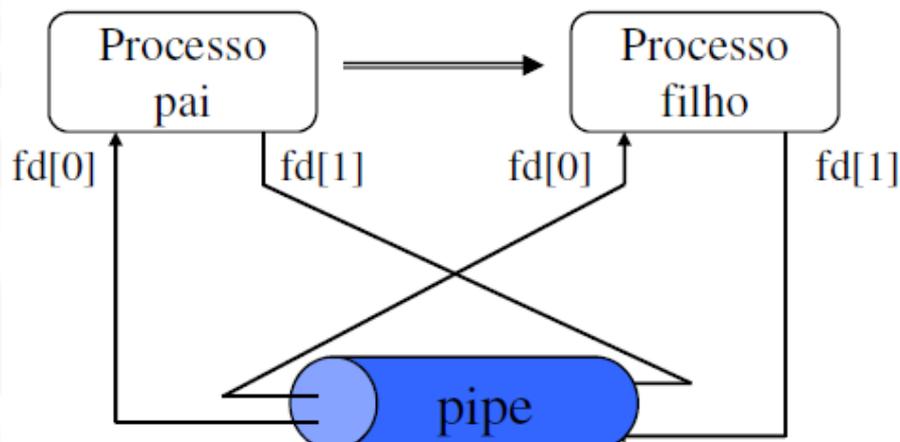


Criação de Pipes (2)

Um pipe criado em um único processo é quase sem utilidade. Normalmente, depois do pipe, o processo chama **fork()**, criando um canal e comunicação entre pai e filho.



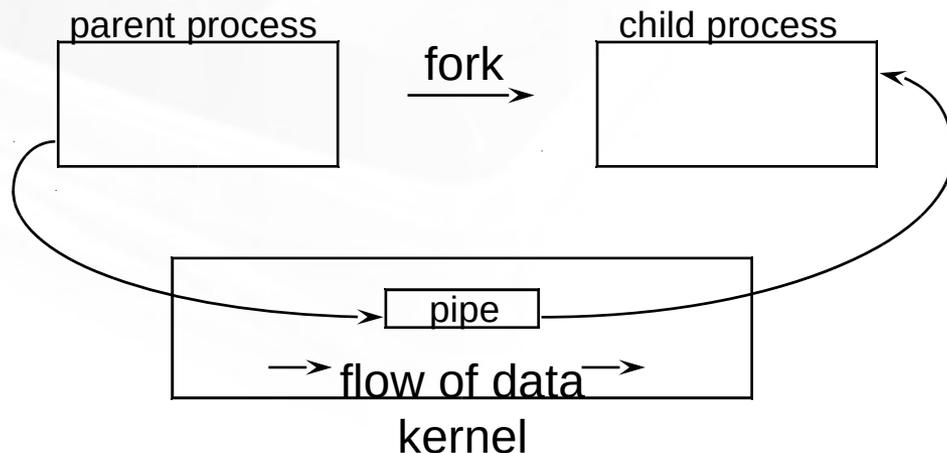
Criação de Pipes (3)



- Quando um processo faz um **fork()** depois de criado o *pipe*, o processo filho recebe os mesmos descritores de leitura e escrita do pai. Cada um dos processos deve fechar a extremidade não aproveitada do *pipe*.

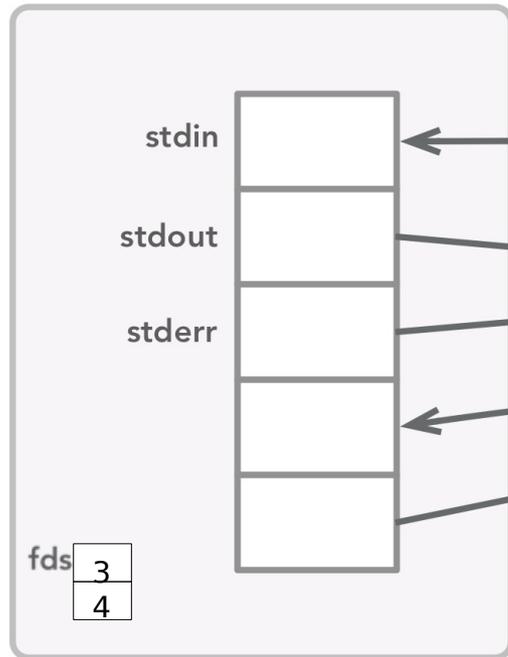
Criação de Pipes (4)

- Um *pipe* criado em um único processo é quase sem utilidade. Normalmente, depois do *pipe*, o processo chama `fork()`, criando um canal e comunicação entre pai e filho.

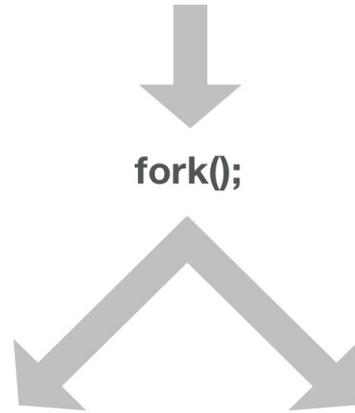
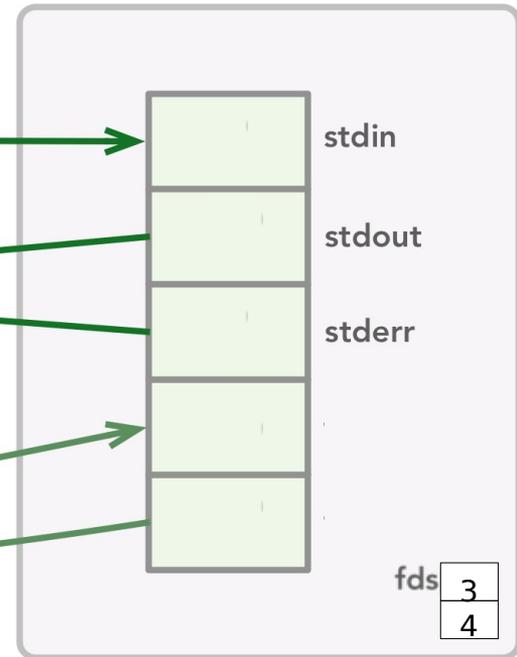


fork();

PARENT PROCESS



CHILD PROCESS



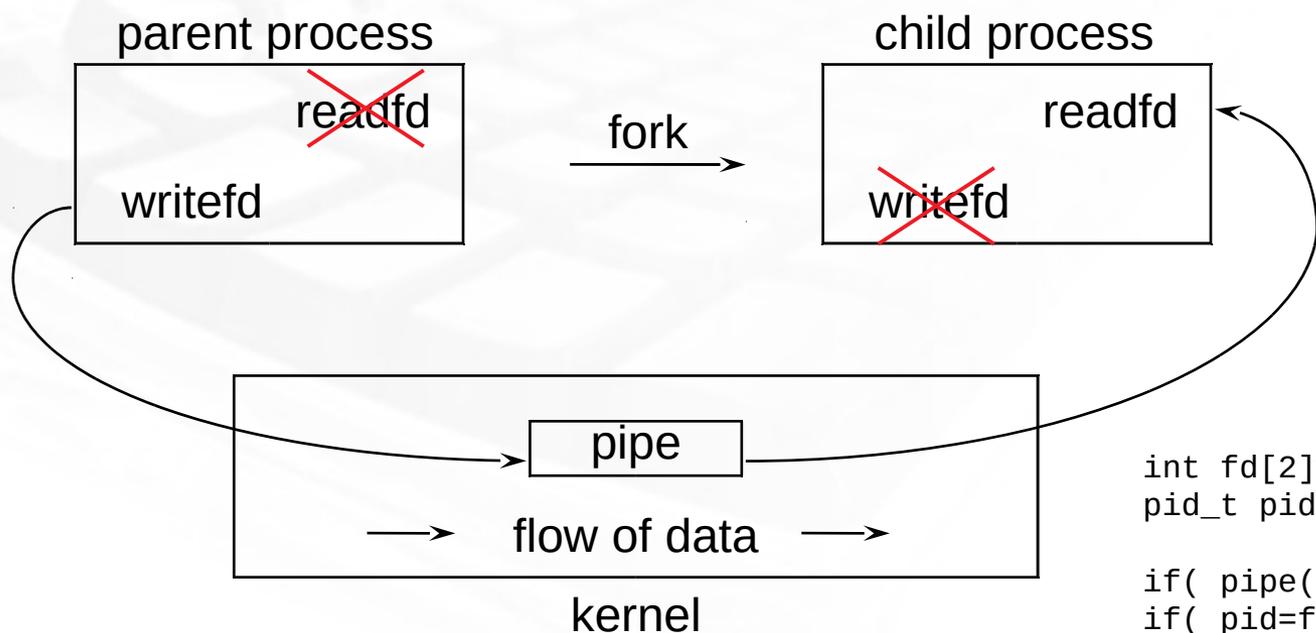
Fechamento de Pipes

- Depois de usados, ambos os descritores devem ser fechados pela chamada do sistema:
POSIX: `#include <unistd.h>`
`int close (int);`
- Quando todos os descritores associados a um *pipe* são fechados, todos os dados residentes no *pipe* são perdidos.
- Em caso de sucesso retorna 0 . Em caso de erro retorna -1, com causa de erro indicada na variável de ambiente `int errno`.

- Exemplo:

```
int fd[2];
if (pipe(fd)==0) {
    ...
    close(fd[0]); close(fd[1]);
}
```

Comunicação Pai-Filho Unidirecional



- Processo pai cria o *pipe*.
- Processo pai faz o *fork()*.
- Os descritores são herdados pelo processo filho.
- Pai fecha `fd[0]` // ele vai escrever no pipe
- Filho fecha `fd[1]` // ele vai ler do pipe

```
int fd[2];
pid_t pid;
```

```
if( pipe(fd)<0 ) exit(1);
if( pid=fork(<0 ) ) exit(1);
```

```
if ( pid==0 ) { /* processo filho */
    close( fd[1] );
    ...
}
if ( pid>0 ) { /* processo pai */
    close( fd[0] );
    ...
}
```

Escrita e Leitura em Pipes (1)

- A comunicação de dados em um *pipe* (leitura e escrita) é feita pelas seguintes chamadas de sistema:

```
POSIX:#include <unistd.h>
```

```
    ssize_t read(int, char *, int);
```

```
    ssize_t write(int, char *, int);
```

- 1º parâmetro: descritor de arquivo.
 - 2º parâmetro: endereço dos dados.
 - 3º parâmetro: número de bytes a comunicar.
-
- A função retorna o número de bytes efetivamente comunicados.

...Teste agora exemplo0.c

Exemplo 1

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <signal.h>
#include <sys/types.h>
```

```
#define READ 0
#define WRITE 1
#define STDOUT 1
```

```
int main() {
    int n, fd[2];
    pid_t pid;
```

```
if ( pipe(fd)<0 ) { fprintf(stderr,"Erro no tubo\n");_exit(1); }
```

```
if ( (pid=fork())<0 ) { fprintf(stderr,"Erro no fork\n");_exit(1);
}
```

- Processo filho envia dados para o processo pai.

Exemplo 1 (cont.)

```
if ( pid>0 ) { /* processo pai */

#define MAX 128
    char line[MAX];
    close(fd[WRITE]);
    n = read(fd[READ],line,MAX);
    write(STDOUT, &line[0], n);
    close(fd[READ]);
    kill(pid,SIGKILL); /* elimina processo descendente */
    _exit(0); }

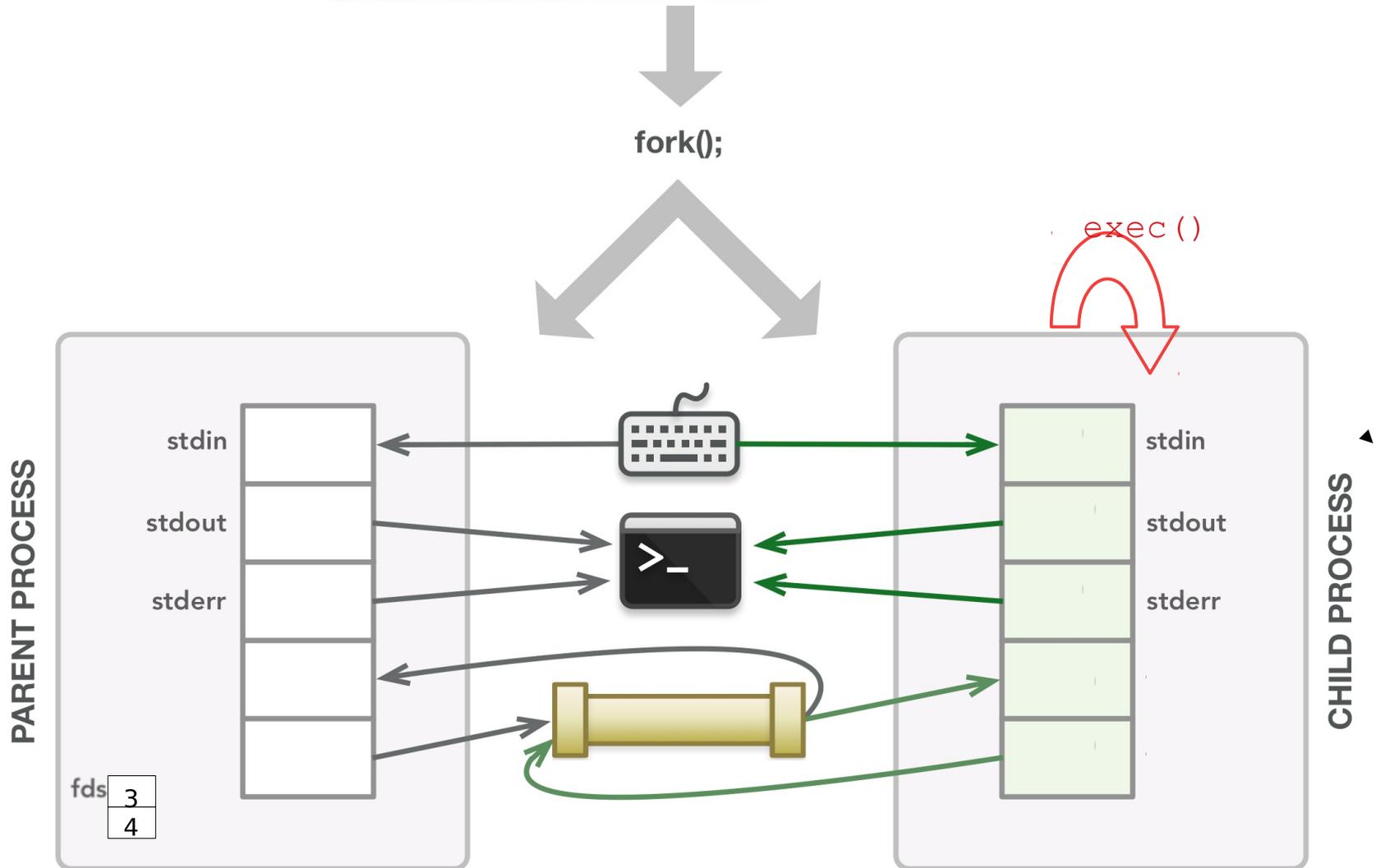
if ( pid==0 ) { /* processo filho */

#define LEN 8
    char msg[LEN]={'B','o','m',' ','d','i','a','\n'};
    close( fd[READ] );
    write( fd[WRITE], &msg[0], LEN);
    close( fd[WRITE] );
    pause(); }
}
```

Escrita e Leitura em Pipes (2)

- Regras aplicadas aos processos escritores:
 - Escrita para descritor fechado resulta na geração do sinal SIGPIPE
 - Escrita de dimensão inferior a `_POSIX_PIPE_BUF` é **atômica** (i.e., os dados não são entrelaçados).
 - No caso do pedido de escrita ser superior a `_POSIX_PIPE_BUF`, os dados podem ser entrelaçados com pedidos de escrita vindos de outros processos.
 - O número de bytes que podem ser temporariamente armazenados por um *pipe* é indicado por `_POSIX_PIPE_BUF` (512B, definido em `<limits.h>`).
- Regras aplicadas aos processos leitores:
 - Leitura para descritor fechado retorna valor 0.
 - Processo que pretende ler de um *pipe* vazio fica bloqueado até que um processo escreva os dados.

O que acontece após um `exec()`?

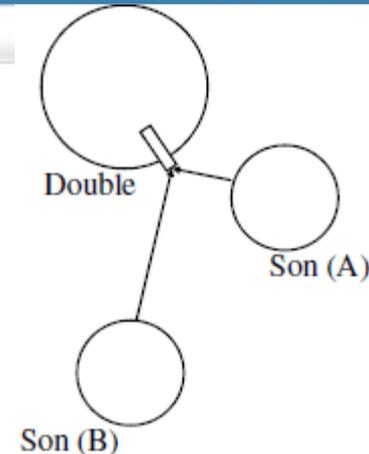


Exemplo 2 (1)

```
#include <stdio.h> /* double.c */
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
#include "defs.h"
int main() {
    int fd[2];          /* tubo de leitura do processo principal */
    pid_t pid, pidA, pidB;
    char buf[LEN];
    int i, n, cstat;
    if ( pipe(fd)<0 ) { fprintf(stderr,"Erro no tubo\n");_exit(1); }
    if ( (pid=fork())<0 ) { fprintf(stderr,"Erro no fork\n");_exit(1);}

    if ( pid==0 ) {     /* primeiro processo descendente */
        char channel[20];
        close( fd[0] );
        sprintf( channel,"%d",fd[1] );
        execl("./son", "son", channel, "1", NULL); }
    pidA = pid;
```

- Dois processos filhos enviam mensagens para o processo pai.



Exemplo 2 (2)

```
if ( (pid=fork())<0 ) {fprintf(stderr,"Erro no fork\n");_exit(1);}
if ( pid==0 ) { /* segundo processo descendente */
    char channel[20];
    close( fd[0] );
    sprintf( channel,"%d",fd[1] );
    execl("./son",
          "son", channel, "2", NULL); }
pidB = pid;
close( fd[1] );
n = read( fd[0],buf,LEN );
for( i=0;i<LEN;i++) printf("%c",buf[i]); printf( "\n" );
n = read( fd[0],buf,LEN );
for( i=0;i<LEN;i++) printf("%c",buf[i]); printf( "\n" );
waitpid( pidA,&cstat,0 ); waitpid( pidB,&cstat,0 );
_exit(0); }
```

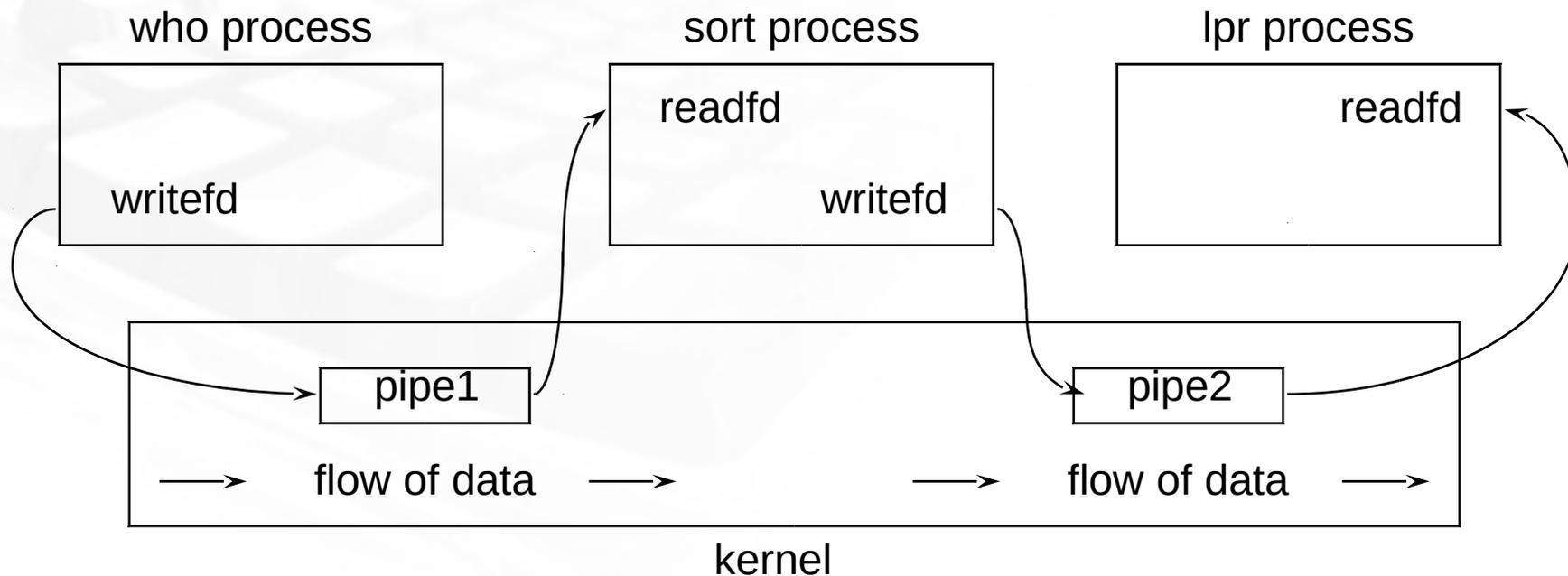
Exemplo 2 (3)

```
#define LEN 11      /* defs.h */

#include <unistd.h>  /* son.c */
#include <stdlib.h>
#include "defs.h"
int
main(int argc, char *argv[]) {
    /* argv[1] - descriptor de escrita; argv[2] - posicao do filho */
    char texto[LEN] = {' ', ':', ' ', 'B', 'o', 'm', ' ', 'd', 'i', 'a', '!'};
    texto[0] = 'A'+atoi(argv[2])-1;
    write( atoi(argv[1]), texto, LEN );
    _exit(0); }

```

who | sort | lpr



- Processo *who* escreve no *pipe1*.
- Processo *sort* lê do *pipe1* e grava no *pipe2*.
- Processo *lpr* lê do *pipe2*.

dup2(fd1,fd2)

**Descriptor table
before dup2 (4 , 1)**

fd 0	
fd 1	a
fd 2	
fd 3	
fd 4	b



**Descriptor table
after dup2 (4 , 1)**

fd 0	
fd 1	b
fd 2	
fd 3	
fd 4	b

Exemplo 3

- O que faz esse programa?

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

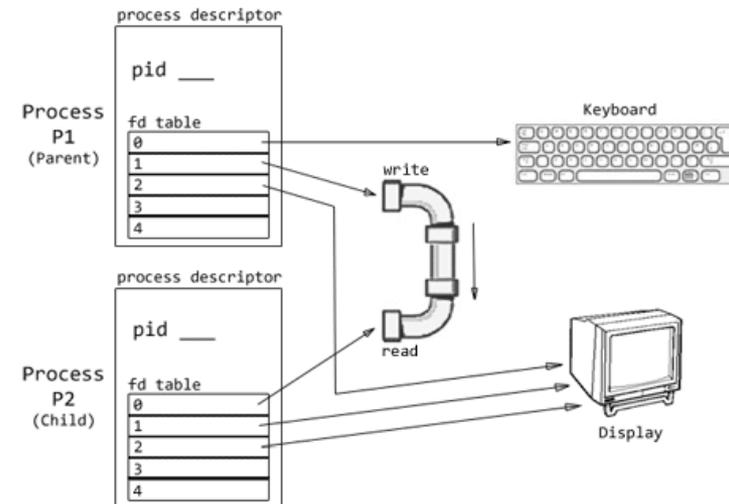
int main(void)
{
    int pfd[2];
    pipe(pfd);
    if (fork() == 0) {
        close(pfd[1]);
        dup2(pfd[0], 0);
        close(pfd[0]);
        execlp("wc", "wc", (char *) 0);
    } else {
        close(pfd[0]);
        dup2(pfd[1], 1);
        close(pfd[1]);
        execlp("ls", "ls", (char *) 0);
    }
    exit(0);
}
```

Exemplo 3

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

int main(void)
{
    int pfd[2];
    pipe(pfd);
    if (fork() == 0) {
        close(pfd[1]);
        dup2(pfd[0], 0);
        close(pfd[0]);
        execlp("wc", "wc", (char *) 0);
    } else {
        close(pfd[0]);
        dup2(pfd[1], 1);
        close(pfd[1]);
        execlp("ls", "ls", (char *) 0);
    }
    exit(0);
}
```

- Usando-se a técnica de IPC *pipes*, pode-se implementar o comando "ls | wc". Resumidamente: (i) cria-se um pipe; (ii) executa-se um fork; (iii) o processo pai chama exec para executar "ls"; (iv) o processo filho chama exec para executar "wc".
- O problema é que normalmente o comando "ls" escreve na saída padrão 1 e "wc" lê da entrada padrão 0. Como então associar a saída padrão com a saída de um *pipe* e a entrada padrão com a entrada de um *pipe*? Isso pode ser conseguido através da chamada de sistema `int dup2(int oldfd, int newfd)`.
- Essa chamada cria uma cópia de um descritor de arquivo existente (`oldfd`) e fornece um novo descritor (`newfd`) tendo exatamente as mesmas características que aquele passado como argumento na chamada. A chamada `dup2` fecha antes `newfd` se ele já estiver aberto.



Exemplo 4

```
int count=0;
```

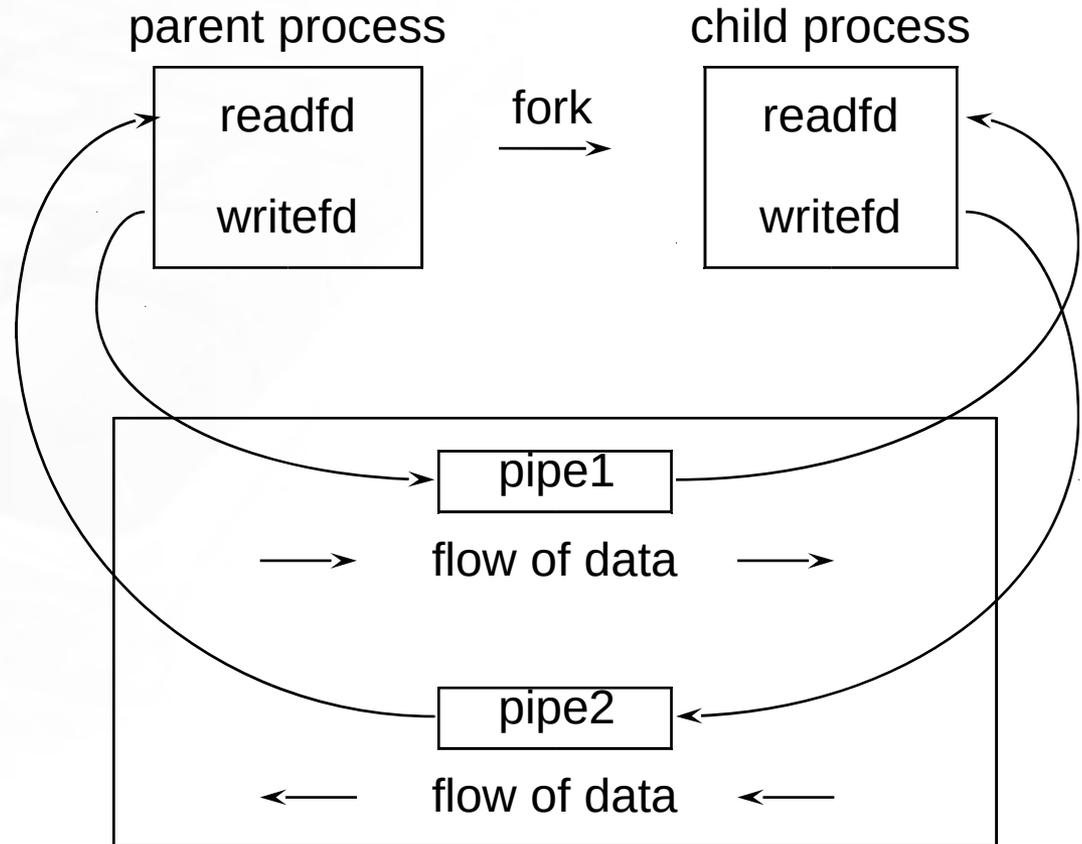
```
void alarm_action(int par){  
    printf("write blocked after %d chars \n", count);  
    exit(0);  
}
```

```
int main(){  
    int p[2];  
    char c='x';  
    if (pipe(p) < 0)  
        perror("pipe call");  
    signal(SIGALRM,alarm_action);  
    for(;;) {  
        alarm(20); //Seria diferente se fosse fora do "for"?  
        write(p[1],&c,1);  
        if(++count%1024)==0  
            printf("%d chars in pipe\n", count);  
    }  
}
```

- O que faz esse programa?

Comunicação Pai-Filho Bi-Direcional (Idealmente!!)

- Ex: pai envia *filename* para o filho. Filho abre e lê o arquivo, e retorna o conteúdo para o pai.
 - Pai cria pipe1 e pipe2.
 - Pai fecha descritor de leitura de pipe1.
 - Pai fecha descritor de escrita de pipe2.
 - Filho fecha descritor de escrita de pipe1.
 - Filho fecha descritor de leitura de pipe2.



Exercício

- Faça um programa que faz fork, e usa pipe, em que:
 - o processo pai passa um (ou mais argumentos) para o processo filho, e chama wait()
 - Ex: o nome de um arquivo na pasta corrente
 - O filho faz um processamento (ex: lê a primeira linha desse arquivo) e devolve o resultado para o pai via pipe
 - O processo pai imprime o resultado

Fila (FIFO, Named Pipe)

- Trata-se de uma extensão do conceito de *pipe*.
 - *Pipes* só podem ser usados por processos que tenham um ancestral comum.
 - Filas (FIFOs - First In First Out), também designados de “tubos nomeados” (“*named pipes*”), permitem a comunicação entre processos não relacionados.
- As Filas:
 - são referenciadas por um identificador dentro do sistema de arquivos
 - persistem além da vida do processo
 - são mantidas no sistema de arquivos até serem apagadas (ou seja, precisam ser eliminadas quando não tiverem mais uso).
- Normalmente são implementadas por meio de arquivos especiais (tipo: *pipe*).
 - Um processo abre a Fila para escrita, outro para leitura.

Criação de Filas (1)

- Uma fila é criada pela chamada de sistema:
POSIX: `#include <sys/stat.h>`
`int mkfifo(char *, mode_t);`
 - 1º parâmetro: nome do arquivo.
 - 2º parâmetro: identifica as permissões de acesso, iguais a qualquer arquivo, determinados por OU de grupos de bits.
- As permissões de acesso também podem ser indicados por 3 dígitos octais, cada um representando os valores binários de rwx (Read, Write, eXecute).
 - Exemplo: modo 644 indica permissões de acesso:
Dono: 6 = 110 (leitura e escrita)
Grupo e Outros: 4 = 100 (leitura)

Criação de Filas (2)

- Uma fila também pode ser criada, via shell, por meio do comando:

```
#mkfifo [-m modo] fichID
```

- Exemplo 1:

```
[rgc@asterix]$ mkfifo -m 644 tubo
```

```
[rgc@asterix]$ ls -l tubo
```

```
prw-r--r-- 1 rgc docentes 0 2008-10-11 15:56 tubo
```

```
[rgc@asterix]$
```

OBS: **p** indica que "tubo" é um arquivo do tipo named pipe

- Exemplo 2:

- ```
#mkfifo teste
```

```
#cat < teste /* o pipe fica esperando até obter algum dado */
```

Em outra tela execute:

- ```
# ls > teste /* a saída do comando ls será redirecionada para o pipe nomeado "teste" */
```

Eliminação de Filas

- Uma fila é eliminada pela seguinte chamada ao sistema:

```
POSIX:#include <unistd.h>
      int unlink(char *);
```

- 1º parâmetro: nome do arquivo.
- Uma fila também é eliminada via shell, usando o comando:

```
#rm fichID
```

Abertura de Filas (1)

- Antes de ser usada, a fila tem de ser aberta pela chamada de sistema:

```
POSIX: #include <sys/types.h>
        #include <sys/stat.h>
        #include <fcntl.h>
        int open(char *,int);
```

- 1º parâmetro: nome do arquivo.
- 2º parâmetro : formado por bits que indicam:
 - Modos de acesso: O_RDONLY (leitura apenas) ou O_WRONLY (escrita apenas)
 - Opções de abertura: O_CREAT (criado se não existir)
 - O_NONBLOCK (operação de E/S não são bloqueadas)
- O valor de retorno é o descritor da fila (positivo) ou erro (-1).

Abertura de Filas (2)

- Regras aplicadas na abertura de filas:
 - Se um processo tentar abrir uma fila em modo de leitura, e nesse instante não houver um processo que tenha aberto a fila em modo de acesso de escrita, o processo fica bloqueado, exceto se:
 - a opção `O_NONBLOCK` tiver sido indicada no `open()` (nesse caso, é devolvido o valor `-1` e `errno` fica com valor `ENXIO`).
 - Se um processo tentar abrir uma fila em modo de escrita, e nesse instante não houver um processo que tenha aberto a fila em modo de acesso de leitura, o processo fica bloqueado, exceto se:
 - a opção `O_NONBLOCK` tiver sido indicada no `open()` (nesse caso, é devolvido o valor `-1` e `errno` fica com valor `ENXIO`).

Leitura e Escrita em Filas (1)

- A comunicação em uma fila é feita pelas mesmas chamadas de sistema dos *pipes*:

```
POSIX: #include <unistd.h>
```

```
    ssize_t read(int, char *,int);
```

```
    ssize_t write(int, char *,int);
```

- Regras aplicadas aos processos escritores:
 - Escrita para uma fila que ainda não foi aberta para leitura gera o sinal SIGPIPE (termina o processo). Se ignorado read retorna -1 com errno igual a EPIPE).
 - Após o último processo escritor tiver encerrado a fila, os processos leitores recebem EOF.

Exemplo

- Dois processos *writer* enviam mensagens para o processo *reader* através de uma fila.
 - O identificador da fila e o comprimento da memória tampão (buffer) é definida no arquivo à parte.

```
#define LEN 100  
#define FNAME "testFIFO"
```

Exemplo (cont.)

Writer.C

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <sys/file.h>

#include "defs.h"

main() {
    int fd, i;
    char msg[LEN];
    do {
        fd=open(FNAME,O_WRONLY);
        if (fd==-1) sleep(1); }
    while (fd==-1);
    for( i=1;i<=3;i++ ) {
        sprintf(msg,"Hello no %d from process %d\n",i,getpid());
        write( fd,msg,strlen(msg)+1 );
        sleep(3); }
    close(fd);
}
```

Exemplo (cont.)

Reader .C

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <sys/file.h>
#include "defs.h"

int readChar(int fd, char *buf) {
    int n;
    do n=read(fd,buf,1);
    while (n>0 && *buf++!='\0');
    return n>0; }

main() {
    int fd;
    char str[LEN];
    mkfifo(FNAME,0660);
    fd=open(FNAME,O_RDONLY);
    if (fd<0) { printf("Erro na abertura da fila\n"); exit(1); }
    while (readChar(fd,str)) printf("%s",str);
    close(fd); }
```

Exemplo (cont.)

```
[rgc@asterix FIFO]$ reader & writer & writer &
[1] 7528
[2] 7529
[3] 7530
[rgc@asterix FIFO]$ Hello no 1 from process 7530
Hello no 1 from process 7529
Hello no 2 from process 7530
Hello no 2 from process 7529
Hello no 3 from process 7530
Hello no 3 from process 7529

[1] Done      reader
[2]- Done     writer
[3]+ Done     writer
[rgc@asterix FIFO]$
```

Lançados 1 leitor e
2 escritores



Exemplo (cont.)

```
[rgc@asterix FIFO]$ ls -l
total 48
-rw-r----- 1 rgc ec-ps      42   2007-05-17 15:17 defs.h
-rwxr----- 1 rgc ec-ps    5420  2007-05-17 15:45 reader
-rw-r--r--  1 rgc ec-ps    442   2007-05-17 15:45 reader.c
prw-r----- 1 rgc docentes  0     2008-10-11 16:01 testFIFO
-rwxr----- 1 rgc ec-ps    5456  2007-05-17 15:23 writer
-rw-r--r--  1 rgc ec-ps    371   2007-05-17 15:23 writer.c
```

```
[rgc@asterix FIFO]$ rm testFIFO
rm: remove fifo `testFIFO'? y
[rgc@asterix FIFO]$
```

Observe que a fila não havia sido eliminada pelos programas (arquivo testFIFO tem tipo **p**, de **named pipe**).