

Pipes e FIFOs

Objectivos

No final desta aula, os estudantes deverão ser capazes de:

- Explicar a utilidade de *Pipes* e *FIFOs*
- Explicar as diferenças entre uns e outros
- Utilizar *Pipes* e *FIFOs* para comunicação entre dois ou mais processos
- Identificar alguns dos problemas que podem surgir na utilização destes mecanismos de comunicação e tomar providências para evitá-los


Comunicação entre Processos

Pipes e FIFOs

Pipes são:

- um mecanismo de comunicação que permite que dois ou mais processos a correr no mesmo computador enviem dados uns aos outros.

Tipos de pipes:

- **pipes sem nome (*unnamed pipes* ou apenas *pipes*)**
 - » São *half-duplex* ou unidireccionais. Os dados só podem fluir num sentido.
 - » Só podem ser usados entre processos que tenham um antecessor comum. 
- **pipes com nome (*named pipes* ou *FIFOs*)**
 - » São *half-duplex* ou unidireccionais.
 - » Podem ser usados por processos não relacionados entre si.
 - » Têm um nome que os identifica, existente no sistema de ficheiros.

Pipes

- Um *pipe* pode ser visto como um canal ligando 2 processos, permitindo um fluxo de informação unidireccional.
- Esse canal tem uma certa capacidade de *bufferização* especificada pela constante `PIPE_BUF` (ou outra com nome semelhante, em `<limits.h>`).
- Cada extremidade de um *pipe* tem associado um descritor de ficheiro.
- Um *pipe* é criado usando a chamada de sistema `pipe()` a qual devolve dois descritores, um representando a extremidade de escrita e outro a de leitura.
- Para o programador, os *pipes* têm uma interface idêntica à dos ficheiros. Um processo escreve numa extremidade do *pipe* como para um ficheiro e o outro processo lê na outra extremidade.
- Um *pipe* pode ser utilizado como um ficheiro ou em substituição do periférico de entrada ou de saída de um programa.

Pipes

- Protótipo da função *pipe*:

```
# include <unistd.h>


int pipe (int filedes[2]);

Retorna: 0 se OK, -1 se houve erro
```

- A função retorna 2 descritores de ficheiros:

- `filedes[0]` – está aberto para leitura
- `filedes[1]` – está aberto para escrita

- As primitivas de leitura e escrita são *read* e *write*:

```
# include <unistd.h>
ssize_t read (int fd, char * buf, int count);
ssize_t write (int fd, char * buf, int count); 

Retornam: nº de bytes lidos/escritos, 0 se EOF (só read),
-1 se houve erro
```

fdopen()

```
# include <stdio.h>

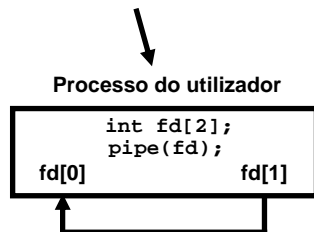
FILE * fdopen(int fildes, const char *mode)

Retorna: FILE * se bem sucedida
ou NULL se houve erro (e errno é actualizada)
```

- `fdopen()`
associa uma *stream*
a um descritor de ficheiro, `filedes`, já existente
- Desta forma é possível aceder a um *pipe*
usando as funções de leitura/escrita da biblioteca standard de C:
 - `fscanf()`, `fprintf()`, `fread()`, `fwrite()`, ...
- O modo da *stream*
(um dos valores "`r`", "`r+`", "`w`", "`w+`", "`a`", "`a+`")
deve ser compatível com o modo do descritor do ficheiro

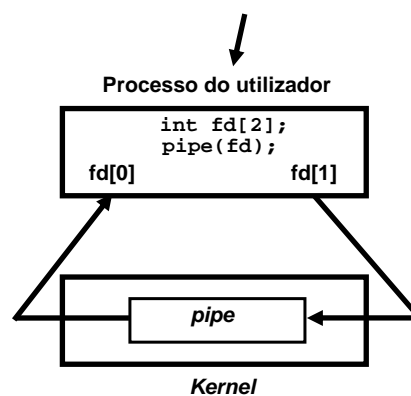
Pipes

Representação simplificada
de um *pipe* num único processo



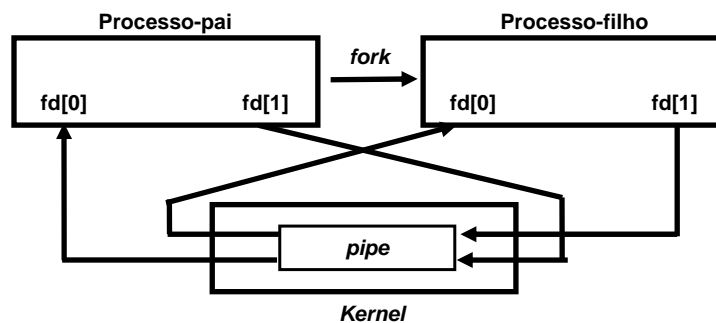
- Um *pipe* envolvendo um único processo é praticamente inútil.

Convém não esquecer que, de facto,
os dados circulam através do *kernel*



Pipes

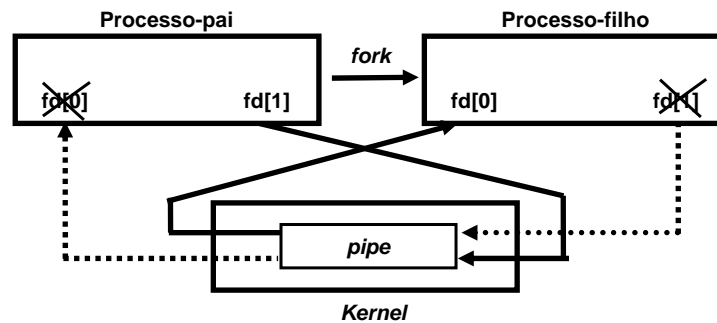
- Normalmente, o processo que cria o *pipe*, invoca *fork* a seguir, criando assim um canal de comunicação entre pai e filho ou vice-versa.



- Só o processo que cria o *pipe* e os seus descendentes podem usar o *pipe*.

Pipes

- O que se faz depois da chamada *fork* depende do sentido em que se pretende o fluxo de dados.
- Exemplo: fluxo no sentido do pai p/ o filho
 - o pai fecha a extremidade de leitura - *fd[0]*
 - o filho fecha a extremidade de escrita - *fd[1]*



Pipes

- Sequência típica de operações para a comunicação unidireccional entre o processo-pai e o processo-filho:
 - O processo-pai cria o *pipe*, usando a chamada *pipe()*.
 - O processo-pai invoca *fork()*.
 - O processo-escriptor fecha a sua extremidade de leitura do *pipe* e o processo-leitor fecha a sua extremidade de escrita do *pipe*.
 - Os processos comunicam usando chamadas *write()* e *read()*.
 - » *write* acrescenta dados numa extremidade do *pipe* (extremidade de escrita)
 - » *read* lê dados da outra extremidade do *pipe* (extremidade de leitura)
 - Cada processo fecha o seu descritor activo do *pipe* quando tiver terminado a sua utilização.
- A comunicação bidireccional é possível usando 2 pipes.

Exemplo

Envio de dados do pai p/ o filho usando um *pipe*:

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

#define MAXLINE 4096
#define READ 0
#define WRITE 1

int main(void)
{
    int    n, fd[2];
    pid_t  pid;
    char   line[MAXLINE];

    if (pipe(fd) < 0) {fprintf(stderr, "Pipe error"); exit(1);}
    if ( (pid = fork()) < 0) {fprintf(stderr, "Fork error"); exit(2);}
    else if (pid > 0) { /* parent, writer */
        close(fd[READ]);
        write(fd[WRITE], "Hello world\n", 12);
    } else { /* child, reader */
        close(fd[WRITE]);
        n = read(fd[READ], line, MAXLINE);
        write(STDOUT_FILENO, line, n); // <--Why not printf ...?
    }
    exit(0);
}
```

Pipes

Regras aplicáveis aos processos-leitores:

- Se um processo executar *read* de um *pipe* cuja extremidade de escrita foi fechada, depois de todos os dados terem sido lidos, *read* retorna 0, indicando fim de ficheiro.
 - » NOTA:
 - Frequentemente existe um único leitor e um único escritor de/para um *pipe*.
 - No entanto, é possível ter, por exemplo, vários escritores e um único leitor.
 - Neste último caso, o fim de ficheiro só é retornado quando todos os escritores tiverem fechado o terminal de escrita do *pipe*.
- Se um processo executar *read* de um *pipe* vazio cuja extremidade de escrita ainda estiver aberta fica bloqueado até haver dados disponíveis. (*)
- Se um processo tentar ler mais *bytes* do que os disponíveis são lidos os *bytes* disponíveis e a chamada *read* retorna o número de *bytes* lidos.

(*) - ver notas finais acerca da activação da *flag* `O_NONBLOCK`

Pipes

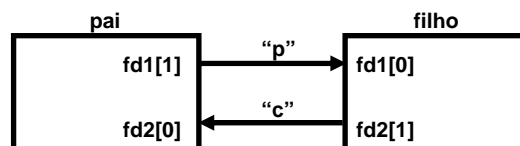
Regras aplicáveis aos processos-escretores:

- Se um processo executar *write* para um *pipe* cuja extremidade de leitura foi fechada a escrita falha e ao escritor é enviado o sinal SIGPIPE. A acção por omissão deste sinal é terminar o receptor do sinal.
- Se um processo escrever PIPE_BUF bytes ou menos é garantido que a escrita é feita atomicamente, isto é, não é interlaçada com escritas de outros processos que escrevam para o mesmo *pipe*.
- Se um processo escrever mais do que PIPE_BUF bytes não são dadas garantias de atomicidade da escrita, isto é, os dados dos diversos escritores podem surgir interlaçados.

Utilização dos *pipes*

1. Enviar dados de um processo p/ outro (exemplo anterior)
2. Sincronização entre processos

⇒ usar 2 *pipes*



3. Ligar a *standard output* de um processo à *standard input* de outro

⇒ “duplicar” os descritores de um *pipe* para a *standard input* de um dos processos e para a *standard output* do outro

Duplicação de um descritor

Pode ser feita c/ as funções *dup* ou *dup2*.

```
# include <unistd.h>

int dup (int filedes);
int dup2 (int filedes, int filedes2);

Retornam: novo descritor se OK, -1 se houve erro
```

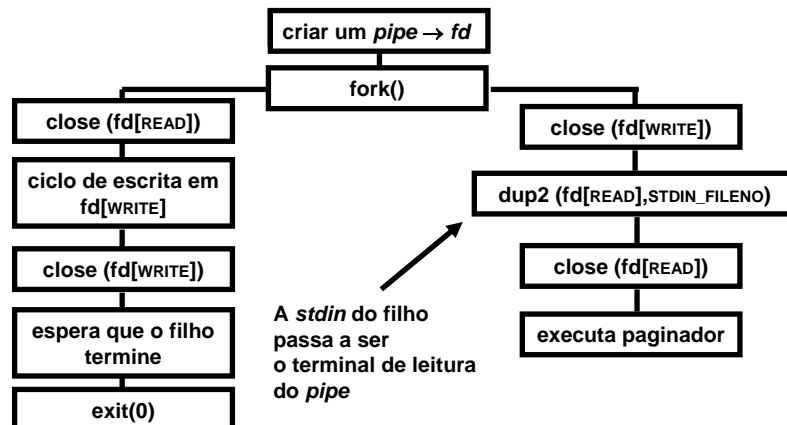
- **dup**
 - procura o descritor livre c/ o número mais baixo e põe-no a apontar p/ o mesmo ficheiro que *filedes*.
- **dup2**
 - fecha *filedes2* se ele estiver actualmente aberto e põe *filedes2* a apontar p/ o mesmo ficheiro que *filedes*;
 - se *filedes=filedes2*, retorna *filedes2* sem fechá-lo.
 - **exemplo:**

```
dup2 (fd, STDIN_FILENO)
```

redirecciona a entrada standard (teclado) para o ficheiro cujo descritor é *fd*.

Exemplo (utilização 3)

Programa que mostra a sua saída, uma página de cada vez, usando o paginador do UNIX (programa 14.2-Stevens)



As funções *popen* e *pclose*

- ***popen***
 - Cria um *pipe* entre o processo que a invocou e um programa a executar; este programa tanto pode receber como fornecer dados ao processo.
 - Faz parte do trabalho do exemplo anterior:
 - criar um *pipe*;
 - executar *fork*;
 - executar um programa invocando uma *subshell* (*sh*) à qual o programa é passado como comando a executar.
 - Vantagem: a *subshell* faz a expansão dos argumentos (por exemplo **.c*) o que permite executar com *popen* comandos que seria mais complicado executar com *exec*.
 - Desvantagem: é criado um processo adicional (a *subshell*) para executar o programa.
 - Retorna um apontador para um ficheiro (**FILE ***) que será o ficheiro de entrada ou de saída do programa, consoante um parâmetro de *popen*.
- ***pclose***
 - Fecha o ficheiro.
 - Espera que o programa termine (mais concretamente, a *shell*).
 - Retorna o *termination status* da *subshell* usada para executar o programa.

As funções *popen* e *pclose*

```
#include <stdio.h>                                /* FUNÇÕES DA BIBLIOTECA DE C */

FILE *popen(const char *cmdstring, const char *type);

Retorna: file pointer se OK; NULL se houve erro

int pclose(FILE *fp);

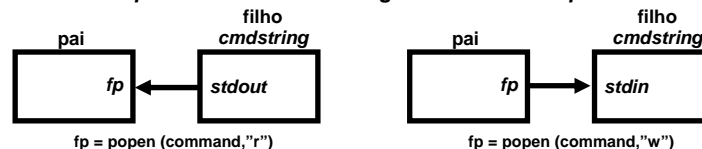
Retorna: termination status de cmdstring se OK; -1 se houve erro
```

cmdstring

- programa a executar

type

- “*r*” – o *file pointer* retornado está ligado à *standard output* de *cmdstring*
- “*w*” – o *file pointer* retornado está ligado à *standard input* de *cmdstring*



Exemplo

Programa que mostra um ficheiro, página a página, usando o paginador do UNIX.

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

#define MAXLINE 1000
#define PAGER    "/bin/more"

int main(int argc, char *argv[])
{
    char    line[MAXLINE];
    FILE    *fpin, *fpout;

    if (argc != 2) { printf("usage: %s filename\n", argv[0]); exit(1); }
    if ((fpin = fopen(argv[1], "r")) == NULL) { fprintf(stderr, "can't open %s", argv[1]); exit(1); }
    if ((fpout = popen(PAGER, "w")) == NULL) { fprintf(stderr, "popen error"); exit(1); }
    /* copy filename contents to pager - file=argv[1] */
    while (fgets(line, MAXLINE, fpin) != NULL)
    { if (fputs(line, fpout) == EOF) { printf("fputs error to pipe"); exit(1); } }
    if (ferror(fpin)) { fprintf(stderr, "fgets error"); exit(1); }
    if (pclose(fpout) == -1) { fprintf(stderr, "pclose error"); exit(1); }
    exit(0);
}
```

Jorge Silva

MIEIC / FEUP

Filtros

Filtro

- um programa que lê da *standard input* e escreve *pl* a *standard output* normalmente ligado a outros processos, constituindo um *pipeline*

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <ctype.h> /*char handling */

int main(void)
{
    int c;

    while ((c=getchar()) != EOF)
    { if (isupper(c)) c=tolower(c);
      if (putchar(c)==EOF)
        {printf("output error"); exit(1);}
      if (c=='\n') fflush(stdout);
    }
    exit(0);
}
```

Filtro que converte
maiúsculas em minúsculas
(executável → up_to_low)

```
#include ...

#define MAXLINE 1000

int main(void)
{
    char line[MAXLINE];
    FILE *fpin;

    if ((fpin=popen("./up_to_low", "r")) == NULL)
    { printf("popen error"); exit(1); }
    for ( ; ; )
    { fputs("prompt > ", stdout); fflush(stdout);
      if (fgets(line, MAXLINE, fpin) == NULL) break;
      if (fputs(line, stdout) == EOF)
        { fprintf(stderr, "fputs error"); exit(1); }
    }
    if (pclose(fpin)==-1)
    { fprintf(stderr, "pclose error"); exit(1); }
    putchar('\n');
    exit(0);
}
```

Programa que usa o filtro (terminar com CTRL-D = *end of input*)

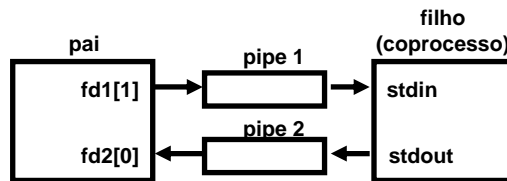
Jorge Silva

MIEIC / FEUP

Coprocessos

Coprocasso

- é um filtro especial cuja *standard input* e *standard output* estão ligadas a um outro processo, através de *pipes*



Exemplo (coprocasso)

```

// Programa "somador"
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>

#define MAXLINE 100

int main(void)
{
    int n, int1, int2;
    char line[MAXLINE];

    while ( (n = read(STDIN_FILENO, line, MAXLINE)) > 0 )
    { line[n] = 0; /* null terminate */
      if (sscanf(line, "%d%d", &int1, &int2) == 2)
      { sprintf(line, "%d\n", int1 + int2);
        n = strlen(line);
        if (write(STDOUT_FILENO, line, n) != n)
          { fprintf(stderr, "write error"); exit(1); }
      }
      else
      { if (write(STDOUT_FILENO, "invalid args\n", 13) != 13)
        { fprintf(stderr, "write error"); exit(1); }
      }
    }
    exit(0);
}
  
```

Coprocasso

- Lê 2 números da *standard input*
- calcula a sua soma
- e escreve o resultado na *standard output*

O executável deverá chamar-se somador

Exemplo (coprocesso - cont.)

Programa que invoca o coprocesso

```
#include ...

#define MAXLINE 1000
#define READ 0
#define WRITE 1

void sig_pipe(int signo);
void err_sys(char *msg);
void err_msg(char *msg);

int main(void)
{
    int n, fd1[2], fd2[2];
    pid_t pid;
    char line[MAXLINE];

    if (signal(SIGPIPE, sig_pipe)
        err_sys("signal error");
    if (pipe(fd1)<0 || pipe(fd2)<0)
        err_sys("pipe error");
    if ((pid=fork())<0) err_sys("fork error");
    else
    {
        if (pid>0) /* PARENT */
        {
            close(fd1[READ]); close(fd2[WRITE]);
            while (fgets(line, MAXLINE, stdin) != NULL)
            {
                n=strlen(line);
                if (write(fd1[WRITE],line,n) != n)
                    err_sys("write error to pipe");
                if ((n=read(fd2[READ],line,MAXLINE)) < 0)
                    err_sys("read error from pipe");
                if (n==0) {err_msg("child closed pipe"); break;}
                line[n]=0;
                if (fputs(line,stdout)==EOF) err_sys("fputs error");
            }
            if (ferror(stdin)) err_sys("fgets error on stdin");
            exit(0);
        }
    }
}
```

Exemplo (coprocesso - cont.)

Programa que invoca o coprocesso (cont.)

```
else /* CHILD */
{
    close(fd1[WRITE]); close(fd2[READ]);
    if (fd1[READ] != STDIN_FILENO)
    {
        if (dup2(fd1[READ],STDIN_FILENO) != STDIN_FILENO)
            err_sys("dup2 error to stdin");
        close(fd1[READ]);
    }
    if (fd2[WRITE] != STDOUT_FILENO)
    {
        if (dup2(fd2[WRITE],STDOUT_FILENO) != STDOUT_FILENO)
            err_sys("dup2 error to stdout");
        close(fd2[WRITE]);
    }
    if (execlp("somador","somador",(char *) 0) < 0)
        err_sys("execlp error");
}
}
```

Ver justificação
para este teste
na pág. 433
do livro de W. Stevens
(Advanced Programming
in the UNIX Environment)

```
void sig_pipe(int signo)
{
    printf("SIGPIPE caught\n");
    exit(1);
}

void err_sys(char *msg)
{
    fprintf(stderr,"%s\n",msg);
    exit(1);
}

void err_msg(char *msg)
{
    printf("%s\n",msg); return;
}
```

FIFOS / Named Pipes

- *pipes (unnamed)*
 - troca de dados entre processos c/um antecessor comum.
- *FIFOS (named)*
 - troca de dados entre processos não relacionados entre si a correr no mesmo *host* (ver adiante) .
- Um *FIFO* é um tipo de ficheiro. Tem um nome que existe no sistema de ficheiros.
- Podemos testar se um ficheiro é um *FIFO* c/ a macro `S_ISFIFO`.
- Um *FIFO* pode ser criado usando
 - *mkfifo* (invoca *mknod*) (função e utilitário)
- Um *FIFO* tem existência até ser explicitamente destruído.
 - *unlink* (função)
 - *rm* (utilitário)

FIFOS

Função *mkfifo*

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>

int mkfifo(const char *pathname, mode_t mode);

Retorna: 0 se OK, -1 se houve erro
```

pathname

- nome do *FIFO* a criar

mode

- permissões de acesso (read, write, execute) p/ owner, group e other

	owner	group	other
	rwX	rwX	rwX
	111	101	000
mode →	7	5	0

Nota:

a permissão de acesso final é afectada pelo valor da *file creation mask* (default = 022)
 permissão de escrita só para o *owner*
 (v. função *umask*)

FIFOs

Utilização de um FIFO:

- criar usando mkfifo ou mknod
- abrir usando open ou fopen
 - » include files - sys/types.h, sys/stat.h, fcntl.h
 - » int open (const char *filename, int mode [, int permissions]);
 - mode - OR *bit a bit* de (O_RDONLY ou O_WRONLY) e O_NONBLOCK (um FIFO é *half-duplex*, não deve ser aberto em modo read-write (O_RDWR))
- escrever / ler usando write / read
 - » include files - unistd.h
 - » ssize_t read (int fd, char * buf, int count);
 - » ssize_t write (int fd, char * buf, int count);
- fechar usando close
 - » include files - unistd.h
 - » int close (int fd);
- destruir usando unlink
 - » include files - unistd.h
 - » int unlink (const char *pathname);

FIFOs

Regras aplicáveis aos processos que usam FIFOs:

Abertura

- Se um processo tentar abrir um FIFO em modo *read only* e nenhum processo tiver o FIFO actualmente aberto p/ escrita o leitor esperará que um processo abra o FIFO p/ escrita a menos que a *flag* O_NONBLOCK esteja activada (a activação pode ser feita ao fazer *open* ou com a função *fcntl*), caso em que *open* retornará imediatamente.
- Se um processo tentar abrir um FIFO em modo *write only* e nenhum processo tiver o FIFO actualmente aberto p/ leitura o escritor esperará que um processo abra o FIFO p/ leitura a menos que a *flag* O_NONBLOCK esteja activada, caso em que *open* falha imediatamente (retorna -1).

FIFOS

Regras aplicáveis aos processos que usam *FIFOS*:

Leitura / Escrita

- Escrita p/ um *FIFO* que nenhum processo tem aberto p/ leitura
⇒ o sinal SIGPIPE é enviado ao processo-escriptor.
 - » Se este sinal não for tratado conduz à terminação do processo.
 - » Se o sinal for ignorado ou se for tratado e o *handler* retornar, então `write` retorna o erro EPIPE
- Após o último escritor ter fechado um *FIFO*, um EOF é gerado em resposta às leituras seguintes, após o *FIFO* ficar vazio.
- Se houver vários processos-escretores, só há garantia de escritas atômicas quando se escreve no máximo PIPE_BUF bytes.

Exemplo

```
/* PROGRAMA reader */
#include ...

int readline(int fd, char *str);

int main(void)
{
    int fd;
    char str[100];

    mkfifo("myfifo",0660);
    fd=open("myfifo",O_RDONLY);
    while(readline(fd,str)) printf("%s",str);
    close(fd);
}

int readline(int fd, char *str)
{
    int n;

    do
    {
        n = read(fd,str,1);
    }
    while (n>0 && *str++ != '\0');
    return (n>0);
}
```

```
/* PROGRAMA writer */
#include ...

int main(void)
{
    int fd, messagelen, i;
    char message[100];

    do
    {
        fd=open("myfifo",O_WRONLY);
        if (fd==-1) sleep(1);
    }
    while (fd==-1);

    for (i=1; i<=3; i++)
    {
        sprintf(message,"Hello no. %d from process
                    %d\n", i, getpid());
        messagelen=strlen(message)+1;
        write(fd,message,messagelen);
        sleep(3);
    }
    close(fd);
}
```

Exemplo (cont.)

Exemplo de execução:

```

/usr/users1/silva> reader & writer & writer & ← lança 1 reader e 2 writers
[1] 29161 ← processo reader
[2] 29162 ← 1º writer
[3] 29163 ← 2º writer
/usr/users1/silva> Hello no. 1 from process 29162
Hello no. 1 from process 29163
Hello no. 2 from process 29162
Hello no. 2 from process 29163
Hello no. 3 from process 29163
Hello no. 3 from process 29162

[2] Done writer
[3] Done writer
[1] Done reader

/usr/users1/silva> ls -la myfifo ← o fifo não foi destruído
prw-r----- 1 silva 0 Nov 19 14:44 myfifo ← pelos programas
/usr/users1/silva> rm myfifo ← destroi o fifo

```

FIFOs

Utilitário *mkfifo*

Exemplo: utilização de *FIFOs* p/ duplicar *output streams* numa sequência de comandos da *shell*

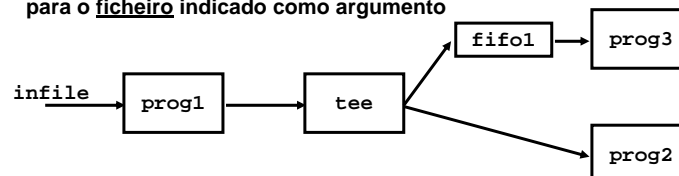
```

$ mkfifo fifo1
$ prog3 < fifo1 &
$ prog1 < infile | tee fifo1 | prog2

```

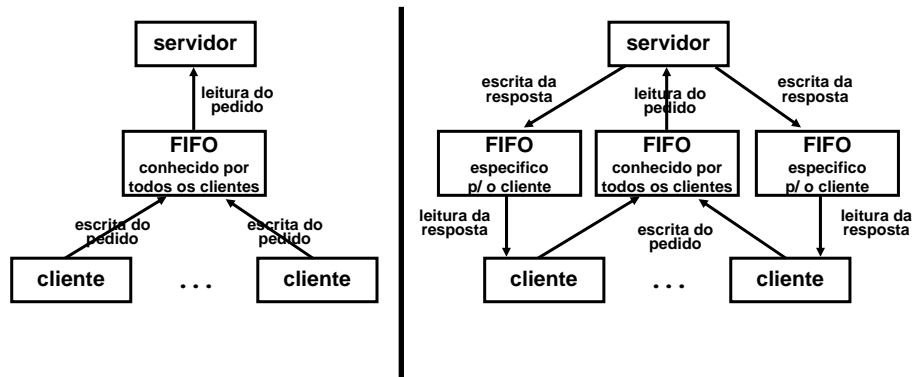
tee

- copia a sua *standard input* para a sua *standard output* e para o ficheiro indicado como argumento



FIFOs

Exemplo: utilização de FIFOs p/ comunicação cliente-servidor



Propriedades adicionais de Pipes e FIFOs

- `mkfifo()` tem implícito o modo `O_CREAT|O_EXCL`, isto é, cria um novo FIFO ou retorna o erro `EEXIST` se já existir um FIFO com o nome especificado
- Ao abrir um FIFO, pode-se activar a *flag* `O_NONBLOCK` :

```
fd=open(FIFO1,O_WRONLY|O_NONBLOCK);
```

- Esta *flag* influencia o comportamento de `open()`, `read()` e `write()`.
- Se um descritor já estiver aberto pode usar-se `fcntl()` para activar a *flag* `O_NONBLOCK`.
 - » Com pipes esta é a única possibilidade de activar esta *flag*, dado que não se usa `open()`.

```
...
int flags;
...
flags = fcntl(fd,F_GETFL,0);
flags = flags | O_NONBLOCK;
fcntl(fd, F_SETFL, flags);
...
```

```
open(FIFO1,O_RDONLY);
```

- `open()` bloqueia até que um processo abra o *FIFO* para escrita.

```
open(FIFO1,O_RDONLY|O_NONBLOCK);
```

- `open()` é bem sucedida e retorna imediatamente mesmo que o *FIFO* ainda não tenha sido aberto para escrita por nenhum processo.

```
open(FIFO1,O_WRONLY);
```

- `open()` bloqueia até que um processo abra o *FIFO* para leitura.

```
open(FIFO1,O_WRONLY|O_NONBLOCK);
```

- `open()` retorna imediatamente; se algum processo tiver o *FIFO* aberto para leitura, retorna um descritor do *FIFO* se não retorna -1 (erro ENXIO) e o *FIFO* não será aberto.

- `read()` de mais dados do que os disponíveis no *Pipe/FIFO*
 - » retorna os dados disponíveis
- `read()` de um *Pipe/FIFO* vazio, não aberto para escrita
 - » retorna 0 (*end of file*), independentemente de `O_NONBLOCK`
- `read()` de um *Pipe/FIFO* vazio, já aberto para escrita
 - » se `O_NONBLOCK` não estiver activado
 - bloqueia até que sejam escritos dados no *Pipe/FIFO* ou até que o *Pipe/FIFO* deixe de estar aberto para escrita
 - » se `O_NONBLOCK` estiver activado
 - retorna um erro, `EAGAIN`
- `write()` num *Pipe/FIFO*, não aberto para leitura
 - » `SIGPIPE` é enviado ao escritor, independentemente de `O_NONBLOCK`
- `write()` num *Pipe/FIFO*, já aberto para leitura (→ a seguir)

- `write()` num *Pipe/FIFO*, já aberto para leitura
 - » Se `O_NONBLOCK` não estiver activado
 - Se nº de *bytes* a escrever \leq `PIPE_BUF`
 - Se há espaço no *Pipe/FIFO* para o nº de *bytes* pretendido, todos os *bytes* são escritos.
 - Se não bloqueia até haver espaço no *Pipe/FIFO* para escrever os dados.
 - Se nº de *bytes* a escrever $>$ `PIPE_BUF`
 - escreve parte dos dados, retornando o nº de *bytes* efectivamente escritos (pode ser zero).
 - » Se `O_NONBLOCK` estiver activado
 - o valor de retorno de `write()` depende do nº de *bytes* a escrever e do espaço disponível nesse momento, no *Pipe/FIFO*:
 - Se nº de *bytes* a escrever \leq `PIPE_BUF`
 - Se há espaço no *Pipe/FIFO* para o nº de *bytes* pretendido, todos os *bytes* são escritos.
 - Se não há espaço, `write()` retorna imediatamente com o erro `EAGAIN`.
 - Se nº de *bytes* a escrever $>$ `PIPE_BUF`
 - Se houver espaço no *Pipe/FIFO* para pelo menos 1 *byte* o *kernel* transfere para lá o nº de *bytes* que lá couberem e `write()` retorna o nº de *bytes* escritos.
 - Se o *Pipe/FIFO* estiver cheio, `write()` retorna imediatamente com o erro `EAGAIN`.

FIFOs e NFS

- Os *FIFOs* são um mecanismo de *IPC* que pode ser usado num único *host*.
- Apesar de terem nomes no sistema de ficheiros, só podem ser usados em sistemas de ficheiros locais, e não em sistemas de ficheiros montados através de *NFS*.
- Alguns sistemas, permitem criar *FIFOs* num sistema de ficheiros montado em *NFS*, no entanto, não permitem a passagem de dados entre 2 sistemas, através desses *FIFOs*.

Neste caso o *FIFO* só terá utilidade como mecanismo de *rendez-vous* entre 2 processos. Um processo num *host* não pode enviar dados a outro processo, noutro *host*, através do *FIFO*, apesar de ambos poderem abrir o *FIFO*, que está acessível a ambos através de *NFS*.