

Sistemas de Ficheiros

Sistemas Operativos
2011 - 2012

Sistema de Ficheiros

- Composto por um conjunto de entidades fundamentais:
 - um sistema de organização de nomes para identificação dos ficheiros;
 - uma interface programática para comunicação entre os processos;
 - sistema de ficheiros
- Ficheiro:
 - colecção de dados persistentes, geralmente relacionados, identificados por um nome.

Sistema de Ficheiros (cont.)

- Por razões de simplicidade e facilidade de gestão, a meta-informação é guardada no mesmo sistema de memória secundária que a informação que descreve.
- A solução mais simples, para manter a meta-informação:
 - tabela mantida na memória secundária,
 - na realidade é uma estrutura um pouco mais complexa que se designa por directório.
- A designação “directório” é apropriada porque estabelece a associação entre o nome e o descritor do ficheiro
- Um directório pode conter:
 - toda a meta-informação relativa a um ficheiro ou
 - apenas uma parte dela, sendo a restante distribuída por outras estruturas auxiliares que serão descritas mais à frente.

Sistema de Ficheiros (cont.)

- O que é?
 - conjunto de ficheiros, directórios, descritores e estruturas de dados auxiliares geridos por um módulo do sistema operativo (**Sistema de Gestão de Ficheiros**)
 - permitem estruturar o armazenamento e a recuperação de dados persistentes em um ou mais dispositivos de memória secundária (discos ou bandas magnéticas)
- ficheiro
 - conjunto de dados persistentes, geralmente relacionados, identificado por um nome
 - é composto por:
 - nome: identifica o ficheiro perante o utilizador
 - descritor de ficheiro: estrutura de dados em memória secundária com informação sobre o ficheiro (dimensão, datas de criação, modificação e acesso, dono, autorizações de acesso)
 - informação: dados guardados em memória secundária
- portanto, para além do nome, um ficheiro possui ainda outro tipo de informação que facilita a sua localização e gestão:
 - dimensão, datas de criação, modificação e acesso, direitos de acesso, e localização da informação em memória secundária.
 - O conjunto destes dados é usualmente designado por meta-informação.

Sistema de Ficheiros (cont.)

- Chamaremos sistema de gestão de ficheiros, ou apenas sistema de ficheiros:
 - ao módulo do sistema operativo responsável pelo acesso e organização dos ficheiros.
- O termo “sistema de ficheiros” é pois utilizado com o duplo sentido:
 - para denominar um conjunto autónomo de ficheiros em disco e
 - para identificar o módulo do sistema operativo encarregue de gerir os ficheiros.
- Na maioria dos SO actuais podem coexistir em simultâneo vários sistemas de ficheiros:
 - cada dispositivo de memória secundária pode possuir uma organização de informação e meta-informação diferente
 - E.g. em Windows é comum existirem em simultâneo três sistemas de ficheiros: o FAT (*File Allocation Table*), o NTFS (*NT File System*), e o CDFS (*Compact Disk File System*)

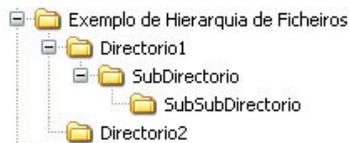
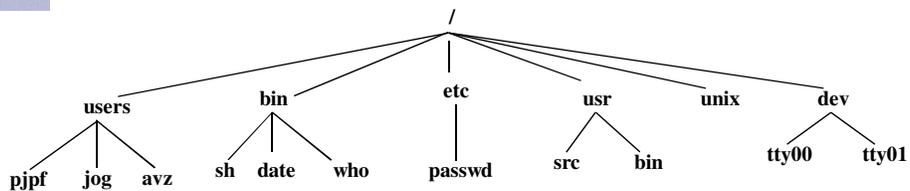
Sistema de Ficheiros (cont.)

- As operações mais frequentes sobre ficheiros são a leitura e escrita da sua informação.
 - Bastam estas funções?
 - Implicaria que de cada vez que estas primitivas fossem executadas o nome do ficheiro tivesse de ser pesquisado no directório para se obter a sua localização,
 - o desempenho ficaria seriamente reduzido, para além de todo um conjunto de validações de segurança que teriam que ocorrer em cada acesso.
- Portanto, é mantida uma Tabela de Ficheiros Abertos
- Existem funções sistema para iniciar a utilização do ficheiro e para terminá-la, sendo o acesso efectuado em três etapas:
 - Abertura do ficheiro, dado o nome.
 - O sistema pesquisa o directório, copia a meta-informação para memória e devolve ao utilizador um identificador que é usado como referência para essa posição de memória.
 - Leituras e escritas, dado o identificador de ficheiro aberto.
 - Permite obter rapidamente o descritor do ficheiro em memória, onde está toda a informação necessária para aceder aos dados.
 - Fecho do ficheiro.
 - Esta operação é necessária para libertar a memória que continha a meta-informação do ficheiro e actualizar essa informação no sistema de memória secundária.

Organização dos Nomes dos Ficheiros

- É de extrema importância para o utilizador, pois é um dos aspectos do sistema de ficheiros visível do exterior.
- Existem várias formas de organizar os nomes dos ficheiros:
 - Apenas um directório global ao sistema e atribuir um nome a cada ficheiro.
 - Foi utilizada nos primeiros sistemas dedicados a processamento por lotes.
 - Problema da colisão de nomes, pois não era possível guardar um ficheiro com um nome idêntico a outro já existente.
 - Uma primeira evolução foi atribuir um directório separado para cada utilizador.
- O Multics foi o primeiro sistema a propor a organização hierárquica dos nomes dos ficheiros, na forma de uma árvore:
 - solução que hoje praticamente todos os sistemas usam

Organização Hierárquica



Hierarquia de Nomes

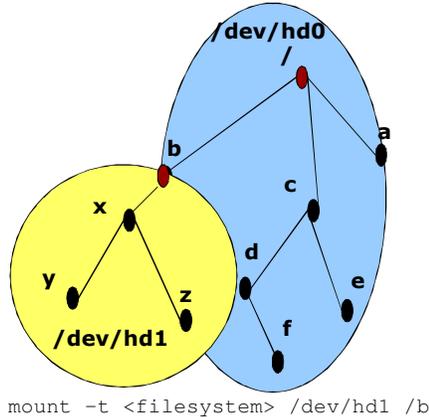
- Organização hierárquica (árvore):
 - solução proposta no **Multics**
 - os directórios contêm caminhos de acesso para nós descendentes a partir de um directório raiz
 - ficheiros e directorias vazias são nós terminais (folhas)
 - caminho de acesso (pathname): cadeia de caracteres que localiza um ficheiro ou directoria na árvore
 - nomes absolutos ou relativos:
 - absoluto: caminho de acesso desde a raiz
 - relativo: caminho de acesso a partir do directório corrente
 - directório corrente mantido para cada processo como parte do seu contexto
- Nomes absolutos e nomes relativos:
 - absoluto: caminho de acesso desde a raiz
 - relativo: caminho de acesso a partir do directório corrente
 - directório corrente mantido para cada processo como parte do seu contexto
- Nomes relativos:
 - ter de fornecer sempre o nome completo do ficheiro é fastidioso e pouco flexível.
 - E.g., a especificação dos ficheiros a serem incluídos num programa tinha de ser alterada se o programa fosse transportado para outro directório

Hierarquia de Nomes (cont)

- Um ficheiro pode ser conhecido por vários nomes:
 - é possível designar o mesmo ficheiro com o nome */a/b/c* e com o nome */x/y*.
 - é comum chamar a cada um destes nomes *links*.
- Problema:
 - quando se pretende apagar o ficheiro com o nome */a/b/c*.
 - apagar o conteúdo do ficheiro ou apenas o nome?
- A semântica utilizada na maioria dos sistemas de ficheiros é a última:
 - quando se remove um nome remove-se um *link*
 - Se esse *link* for o único que o ficheiro possui, dever-se-á apagar o ficheiro.
 - cada sistema de ficheiros tem a sua forma diferente de implementar os *links*

Espaço de Nomes

- Quer o Windows quer o Unix têm um espaço de nomes uniforme.
 - ficheiros, directórios, dispositivos são referenciados usando exactamente a mesma sintaxe.
- Em ambos os casos existe uma única raiz de nomes:
 - i.e. todos os nomes de ficheiros, directórios e dispositivos começam por uma '/' or '\', em Unix e Windows, respectivamente
- Mount:
 - esta operação consiste em ligar a raiz do novo sistema de ficheiro a um directório do sistema de ficheiros raiz.



Nomes e Extensões

- É usual, os nomes dos ficheiros terem uma extensão que dê alguma informação sobre o seu conteúdo:

Extensão	Descrição
.c	Código fonte em C.
.obj	Código objecto resultante de uma compilação.
.exe	Código executável.
.html	Hipertexto para ser visualizado por navegador de rede
.dat	Ficheiro de dados.
.mp3	Representação comprimida de som digital

Nomes e Extensões (cont.)

- Alguns sistemas, como o Unix, não atribuem qualquer significado aos nomes e extensões e, conseqüentemente, não impõem qualquer restrição.:
 - as extensões são apenas convenções mantidas pelos utilizadores e pelas ferramentas que trabalham sobre os ficheiros.
 - E.g. o compilador de C espera que o código fonte esteja num ficheiro com a extensão “.c” e produz um “.o”.
- Noutros sistemas, como o MS/DOS, o ponto é obrigatório:
 - o nome do ficheiro é composto por “nome.extensão”, embora ambas as componentes possam ser nulas.
- Em Windows, as extensões podem ou não ser obrigatórias dependendo do sistema de ficheiros utilizado:
 - No FAT a extensão é obrigatória e tem no máximo três caracteres como no MS/DOS que o antecedeu.
 - No NTFS a extensão não é obrigatória e o carácter “.” é interpretado como outro carácter.
 - Quer se use FAT ou NTFS o Windows utiliza as extensões dos ficheiros para identificar as aplicações que manipulam esses ficheiros (ex. a extensão “.doc” está associada à aplicação Word), enquanto que em Linux a escolha da aplicação é efectuada, tipicamente, pelo conteúdo do ficheiro.

Tipos de Ficheiros

- O tipo de um ficheiro está relacionado com o seu conteúdo e forma de acesso
- Genericamente:
 - um ficheiro é composto por um conjunto de registos (de dimensão fixa ou variável) de um determinado tipo, apesar de em muitos casos ser meramente estruturados como uma sequência de bytes.
 - o método de acesso pode ser sequencial, directo ou por chave.
- Método de acesso aos registos:
 - acesso sequencial (historicamente ligado às bandas magnéticas):
 - para se ler o registo N é necessário ler os N-1 registos anteriores
 - para alterar um registo é preciso ler o ficheiro todo e escrevê-lo de novo com o registo alterado
 - acesso directo (corresponde ao funcionamento dos discos magnéticos):
 - pode-se aceder directamente a um registo sem aceder aos anteriores
 - não se pode inserir um novo registo entre outros dois
 - acesso por chave (usado em algumas BDs):
 - os registos são identificados por chaves alfanuméricas reconhecidas pelo sistema de ficheiros (Indexed Sequential Access Method)
 - consiste em especificar um identificador do registo, que pode ser um dos seus campos, sendo da responsabilidade da gestão de ficheiros determinar a sua posição dentro do ficheiro
 - a organização interna mais habitual destes ficheiros é em árvore, sendo possível inserir e retirar registos em qualquer ponto
 - estes sistemas de ficheiros possuem uma estrutura adicional para cada ficheiro com um conjunto de índices para os registos com os dados

Atributos de um Ficheiro

- O tipo de um ficheiro é um dos vários atributos que cada ficheiro possui.
- Estes atributos podem variar de sistema de ficheiros para sistema de ficheiros
- Estão tipicamente armazenados na meta-informação do ficheiro.
- Para além do tipo, a meta-informação do ficheiro possui usualmente os seguintes atributos:
 - Protecção – quem pode aceder ao ficheiro e quais as operações que pode realizar.
 - Identificação do dono do ficheiro – geralmente quem o criou.
 - Dimensão do ficheiro – por vezes automaticamente actualizada quando o ficheiro cresce ou diminui.
 - Data de criação – última leitura e última escrita.

Métodos do Sistema de Ficheiros

- Podemos dividir as funções relacionadas com o sistema de ficheiros em seis grupos:
 - Abertura, criação e fecho de ficheiros;
 - Operações sobre ficheiros abertos;
 - Operações complexas sobre ficheiros;
 - Operações sobre directórios;
 - Acesso a ficheiros mapeados em memória;
 - Operações de gestão dos sistemas de ficheiros.

Abertura, criação e fecho de ficheiros

Retorno	Nome	Parâmetros	Descrição
fd :=	Abrir	(Nome, Modo)	Abre um ficheiro
fd :=	Criar	(Nome, Protecção)	Cria um novo ficheiro
	Fechar	(Fd)	Fecha um ficheiro

Operações sobre ficheiros abertos

Nome	Parâmetros	Descrição
Ler	(Fd, Tampão, bytes)	Lê de um ficheiro para um tampão de memória
Escrever	(Fd, Tampão, bytes)	Escreve um tampão para um ficheiro
Posicionar	(Fd, Posição)	Posiciona o cursor de leitura ou escrita

Outras Funções (biblioteca)

- É comum existirem outras operações sobre ficheiros abertos específicas das linguagens de alto nível:
 - Para otimizar o acesso ao sistema de ficheiros é comum as linguagens de alto nível utilizarem estruturas locais geridas no espaço de memória do utilizador, usualmente mantido em bibliotecas.
 - Estas estruturas contêm tampões especiais para onde são lidos e escritos os ficheiros, em blocos de maior dimensão do que aquela que é usualmente pedida pelo utilizador.

```
FILE *file = fopen("filename", "a");
/* ... */
fwrite(buffer0, sizeof(char), BUFFER_SIZE, file);
/* Escreve dados num tampão da libc */
fwrite(buffer0, sizeof(char), BUFFER_SIZE, file);
fflush(file);
/* ... */
fclose(file);
```

- São escritos vários *buffers* para o ficheiro e depois é invocada a função `fflush`.
 - todas as escritas foram feitas no *buffer* interno da `libc`,
 - a escrita no sistema de ficheiros só é efectuada quando é utilizada a função `fflush` (quando o ficheiro é fechado, ou quando o *buffer* interno da `libc` já se encontra cheio)

Operações complexas sobre ficheiros

- Algumas operações sobre ficheiros permitem realizar operações sobre a totalidade do ficheiro, como copiá-lo, apagá-lo ou movê-lo

Nome	Parâmetros	Descrição
Copiar	(Origem, Destino)	Copia um ficheiro
Mover	(Origem, Destino)	Move um ficheiro de um directório para outro
Apagar	(Nome)	Apaga um ficheiro
LerAtributos	(Nome, Tampão)	Lê atributos de um ficheiro
EscreverAtributos	(Nome, Atributos)	Modifica os atributos

Operações sobre directórios

Nome	Parâmetros	Descrição
ListaDir	(Nome, Tampão)	Lê o conteúdo de um directório
MudaDir	(Nome)	Muda o directório por omissão
CriaDir	(Nome, Protecção)	Cria um novo directório

Acesso a ficheiros mapeados em memória

- A primitiva MapearFicheiro permite aceder ao conteúdo de um ficheiro da mesma forma que se acede a uma qualquer outra estrutura em memória.
- O conteúdo do ficheiro referenciado por Fd é mapeado a partir da posição indicada pelo parâmetro posição, no endereço de memória definido no parâmetro seguinte e numa extensão indicada em dimensão.
- É possível aceder directamente ao ficheiro referenciando directamente com um apontador às posições de memória indicadas.

Nome	Parâmetros	Descrição
MapearFicheiro	(fd, posição, endereço, dimensão)	Mapeia um ficheiro em memória
DesmapearFicheiro	(endereço, dimensão)	Elimina o mapeamento

Operações de gestão dos sistemas de ficheiros

Nome	Parâmetros	Descrição
Montar	(Directório, Dispositivo)	Monta um dispositivo num directório
Desmontar	(Directório)	Desmonta o dispositivo montado no directório

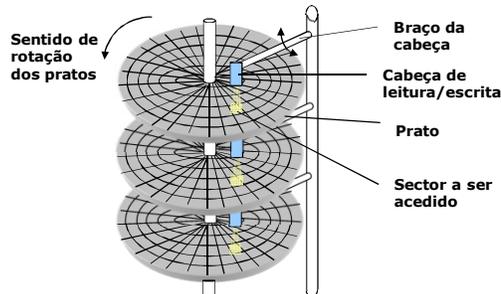
Sistemas de Ficheiros

Estrutura Interna dos Sistemas de Armazenamento

Dispositivos de Memória Secundária

- Os sistemas de ficheiros são armazenados em dispositivos de memória secundária:
 - na maioria dos casos estes dispositivos são dispositivos de memória de massa persistente, (i.e. grandes quantidades de dados que não se perdem após desligar a energia), tais como os discos magnéticos
 - existem casos em que estes dispositivos não são nem de memória de massa, nem persistentes.
- Existem situações em que é útil utilizar um sistema de ficheiros para gerir informação em memória volátil:
 - E.g., o sistema operativo Linux utiliza uma solução deste tipo (vulgo RAM Disk) durante o seu processo de instalação.
 - neste caso, a utilidade do sistema de ficheiros não resulta da sua capacidade de gerir grandes volumes de dados de forma eficiente, mas sim da interface uniforme e da organização da informação que estes proporcionam.

Características Físicas dos Discos Magnéticos



- Cada disco possui um ou mais pratos de um material magnético
- Em cada face de cada prato a informação é escrita em pistas concêntricas, e cada pista é composta por um conjunto de sectores
- O conjunto das pistas com o mesmo raio forma um cilindro
- Cada prato está dividido em blocos de dimensão fixa, denominados sectores.
- Os sectores são a unidade mínima de leitura e escrita em disco.
 - a sua dimensão habitual é de 512 ou 1024 byte.
 - a leitura ou escrita de um sector faz-se quando a cabeça do respectivo prato está sobre o sector respectivo.

Características Físicas dos Discos Magnéticos (cont)

- A leitura e escrita de um sector faz-se à velocidade de rotação do disco, i.e. os bytes de um sector são lidos ou escritos à medida que passam sobre a cabeça do disco
- O tempo de leitura/escrita de um sector é composto por:
 - tempo de posicionamento (seek time): tempo de deslocação das cabeças até ao cilindro desejado
 - tempo de latência: tempo de espera pelo sector (tmédio = tmeia rotação)
 - tempo de transferência: tempo que demora a transferir um sector entre o disco e a memória principal (trevolução / n. de sectores por pista)
- Tempo médio de acesso:
 - soma dos tempos médios de posicionamento, latência e transferência
- Tempos típicos para um disco de 7200 RPM com 272 a 472 sectores por pista (o número de sectores é maior nas pistas exteriores):

Nome	Forma de cálculo	Valor típico
Tempo transferência	Tempo de revolução / sectores por pista	17µs
Tempo de posicionamento	Tempo de posicionamento da cabeça na pista	4-8ms
Tempo latência médio	Tempo de revolução / 2	4ms

Características Físicas dos Discos Magnéticos (cont)

- Se o sector a ler estiver na mesma pista que o sector lido anteriormente: não é necessário tempo de posicionamento
- Se o sector a ler estiver por baixo da cabeça de leitura na altura precisa em que se pretende lê-lo: o tempo de latência também não existe.
- Algoritmos de gestão de memória secundária dos sistemas operativos:
 - reduzir ao menor valor possível o tempo de posicionamento e latência,
 - fazendo com que os acessos estejam coordenados da melhor forma.
- A gestão de um disco é feita em blocos de dimensão múltipla dos sectores.
- A dimensão do bloco depende das estruturas do sistema operativo:
 - é a unidade mínima que pode ser indexada pelo sistema operativo.
- Além do sector e do bloco (dependem respectivamente da organização física do disco e do sistema operativo) existe ainda o segmento ou *extent*.
 - o segmento é a unidade de reserva de espaço em disco composto por um conjunto de blocos

Características Físicas dos Discos Magnéticos (cont)

- O bloco e o segmento são unidades de gestão que têm por objectivo otimizar o acesso ao disco:
 - quanto maior for o bloco maior é a taxa de transferência bruta (os tempos de posicionamento e latência de sectores consecutivos são quase nulos, mas a taxa de transferência efectiva depende do número de bytes dentro do bloco com informação útil)
 - se um bloco estiver apenas meio cheio a sua transferência efectiva é metade da transferência bruta (quanto maiores forem os blocos maiores serão as diferenças entre as taxas de transferência bruta e efectiva)
 - situação semelhante ao problema da fragmentação de memória
 - é necessário encontrar um equilíbrio que maximize a taxa de transferência efectiva
 - actualmente a dimensão de um bloco varia entre 4 Kbytes e 8 Kbytes.
- O segmento é usualmente composto por vários blocos:
 - o objectivo do segmento é reduzir a taxa de dispersão do disco.
 - diz-se que um disco tem uma taxa de dispersão elevada quando as sequências contíguas de blocos que fazem parte de um mesmo ficheiro forem de reduzida dimensão, i.e. os blocos de cada ficheiro estão dispersos pelo disco.
 - na literatura de língua inglesa é por vezes designada *fragmentation* no sentido de fragmentação dos ficheiros pelo disco e não no conceito de fragmentação que utilizamos nos capítulos anteriores

Organização Lógica

- Cada dispositivo pode armazenar em simultâneo vários sistemas de ficheiros:
 - é necessário manter informação sobre o espaço ocupado por cada um dos sistemas de ficheiros de forma persistente
 - esta informação está organizada em estruturas guardadas de forma sequencial no disco.
- Constituição de um disco, com as várias componentes que suportam a existência de vários sistemas de ficheiros independentes em cada disco:



Organização Lógica (cont.)

- Partição:
 - subdivisão lógica de um dispositivo físico (disco, CD-ROM, etc.), e está dividida em blocos de tamanho fixo.
 - partição é vista pelo sistema operativo como um vector de blocos ordenado a partir do número zero.
 - cada partição é um contexto independente das outras, não existindo ficheiros repartidos por partições diferentes.
- Volume:
 - divisão lógica de um sistema de ficheiros mapeada numa partição,
 - i.e. os discos estão divididos em partições e os sistemas de ficheiros em volume.
- Usualmente:
 - cada volume do sistema de ficheiros correspondente a uma partição no disco,
 - por vezes as designações “partição” e “volume” são usadas como sinónimas,
 - em alguns casos é possível ter um volume mapeado em mais do que uma partição de um disco



Master Boot Record e Bloco de Boot

- O *Master Boot Record* (MBR) e o bloco de *boot* são entidades fundamentais para localizar e executar um SO.
- O código e os dados de que é composto um SO necessitam, obviamente, de estar armazenados persistentemente.
 - mas, antes do SO se executar não é possível utilizar os mecanismos normais de acesso a ficheiros pois o sistema de ficheiros ainda não foi carregado.
- É necessário um outro sistema de armazenamento alternativo que permita a leitura e execução do SO:
 - independente do tipo de sistema de ficheiros e do tipo de SO,
 - mas pode variar com o tipo de arquitectura do computador, (frequentemente a solução utilizada é semelhante às arquitecturas do tipo IBM-PC).

Master Boot Record e Bloco de Boot (cont.)

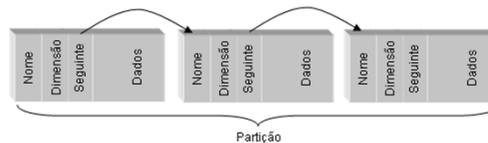
- Código que efectua o *boot* do sistema (parte do que é usualmente denominado BIOS):
 - assume que a informação sobre as partições existentes num disco estejam no início do disco, no MBR.
- O MBR possui código, geralmente independente do sistema operativo:
 - que localiza a partição que contém o sistema operativo a executar e transfere a execução para o código existente no primeiro bloco dessa partição – o bloco de *boot*.
- O bloco de *boot* possui um programa específico de cada SO que:
 - sabe ler o sistema de ficheiros onde o SO se encontra,
 - carregar o sistema operativo e executá-lo.
- Quando só existe uma partição com SO:
 - o código do MBR escolhe imediatamente essa partição para transferir a execução durante a fase de *boot*;
 - quando existem mais partições é usualmente o utilizador que escolhe a partição a executar.
 - neste caso o código existente no MBR diz-se que é um *boot loader* porque permite escolher entre vários sectores de *boot*, de várias partições, para executar.

Organização Persistente dos Sistemas de Ficheiros

- As estruturas voláteis de suporte ao sistema de ficheiros são comuns a todos os sistemas de ficheiros:
 - o que varia é a organização da informação persistente em cada partição,
 - i.e. um sistema de ficheiros é identificado pela organização interna das estruturas que o compõem.
- Quer o Windows quer o Linux suportam em simultâneo vários sistemas de ficheiros:
 - isso não acontecia em sistemas mais antigos tais como o VMS ou o MS-DOS.
 - nestes últimos todas as partições de um disco eram geridas pelo mesmo sistema de ficheiros (estes confundiam-se com o SO)
- Tipos de organização de sistema de ficheiros:
 - lista (versão simplificada utilizada nos primeiros CDs);
 - tabela de reserva (versão simplificada do MS-DOS)
 - com descritores de ficheiros (versão simplificada no Windows e Linux)

Organização em Lista

- Forma mais simples de organizar um sistema de ficheiros:
 - cada ficheiro é constituído por um registo de dimensão variável com quatro campos



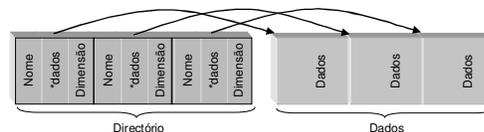
- o nome dos ficheiros têm dimensão fixa (é possível considerar variantes em que a dimensão do nome é variável)
- No caso dos sistemas de ficheiros em CD que só podem ser escritos uma vez:
 - todos os ficheiros ficam compactados uns a seguir aos outros
- No caso de sistemas onde é possível apagar ficheiros, para além da lista antes indicada, é necessário manter uma outra lista:
 - com todos os espaços não ocupados para que seja possível localizar um espaço onde colocar um novo ficheiro.

Organização em Lista - desvantagens

- Tempo necessário para localizar um ficheiro através do seu nome:
 - nomes dos ficheiros espalhados pelo disco e a sua localização depende da dimensão do ficheiro anterior, é necessário percorrer toda a lista comparando os nomes dos ficheiros um a um
- Fragmentação da memória:
 - resultante do não reaproveitamento dos espaços previamente ocupados por ficheiros grandes (que só podem ser usados por ficheiros de dimensão igual ou inferior)
 - deixando pequenos espaços que dificilmente podem ser reaproveitados.
 - problema idêntico ao da fragmentação externa da memória
- Espaço ocupado por cada ficheiro é contínuo:
 - limita a capacidade de extensão de um ficheiro ao início de outro
 - i.e. um ficheiro só pode crescer enquanto existir espaço livre contínuo após o final do ficheiro (ou então terá de ser copiado para uma nova localização)

Organização em Lista – desvantagens (cont.)

- No caso dos dispositivos em que só é possível escrever uma vez, e de forma sequencial (e.g. CD-ROM):
 - os dois últimos problemas não ocorrem
 - como a meta-informação necessária para um sistema de ficheiros deste tipo é muito reduzida, a sua utilização é aceitável.
 - em dispositivos de leitura e escrita múltipla aleatória, como é o caso dos discos magnéticos, estes problemas tornariam os sistemas muito ineficazes e sem tirar partido do acesso directo.
- Solução para a primeira desvantagem:
 - criando um directório único onde todos os nomes dos ficheiros estão juntos



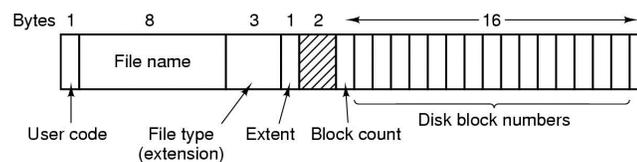
- os nomes dos ficheiros ficam perto uns dos outros no disco
- aumenta a eficácia da procura de um ficheiro dado o seu nome.

Organização em Lista – desvantagens (cont.)

- Solução para a segunda e terceira desvantagens:
 - dividir os dados de cada ficheiro em blocos de dimensão fixa
 - blocos guardados em qualquer um dos blocos de igual dimensão em que a partição foi dividida
 - a fragmentação externa é reduzida
 - crescimento de cada ficheiro não está limitado pelo número de blocos consecutivos existentes (qualquer conjunto de blocos pode ser utilizado para formar um ficheiro)
- O sistema de ficheiros do CP/M (um dos primeiros para computadores pessoais, 1977):
 - utilizava uma estrutura deste tipo
 - cada entrada do directório é composta por 32 *bytes*

Sistema de Ficheiros do CP/M

- Estrutura de uma entrada do directório do sistema de ficheiros do CP/M:



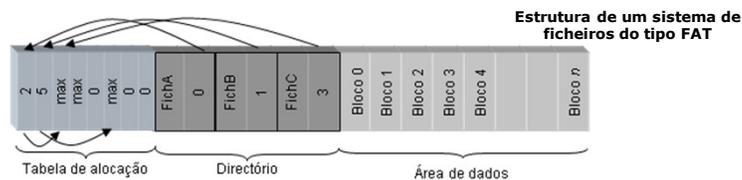
- Mapa de blocos de dados:
 - contém os números dos blocos de dados que fazem parte do ficheiro.
- Neste sistema:
 - cada bloco possuía 1 *Kbyte*
 - cada um dos 16 *bytes* do mapa de blocos continha um índice de bloco
 - logo, a dimensão máxima de um ficheiro era 16 *KBytes*
 - valores claramente insuficientes
 - o maior problema é que para os aumentar é necessário aumentar o mapa de blocos de todas as entradas do directório (penalizando assim os ficheiros de reduzida dimensão)
 - i.e. os ficheiros mais pequenos continuariam a utilizar um mapa de blocos grande ainda que dele não necessitassem, desperdiçando assim memória.

Sistema de Ficheiros do MS-DOS

- Evoluiu a partir do sistema CP/M
- Possui uma estrutura de sistema de ficheiros semelhante
- Em vez de um mapa de blocos por ficheiro, no MS-DOS existe:
 - uma tabela de blocos global partilhada por todos os ficheiros
 - esta tabela única é tão representativa da estrutura do sistema de ficheiros que deu origem ao nome do sistema de ficheiros mais popular que a usa: **o sistema de ficheiros FAT** (Tabela de Alocação de Ficheiros — *File Allocation Table*).

Sistemas de Ficheiros do Tipo FAT

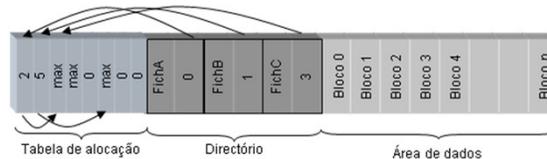
- Nos sistemas de ficheiros do tipo do sistema FAT:
 - tabela global com uma entrada por cada um dos blocos de dados disponíveis na partição.



- A partição contém três secções distintas:
 - a tabela de alocação (*Allocation Table*),
 - um directório com os nomes dos ficheiros presentes no sistema de ficheiros e
 - uma secção com o espaço restante dividido em blocos, de igual dimensão, para conter os dados dos ficheiros.

Sistemas de Ficheiros do Tipo FAT (cont.)

- Cada entrada da tabela de alocação:
 - corresponde a um bloco na área de dados e contém o número da entrada de dados seguinte.
- As entradas da tabela de alocação:
 - com o valor zero indicam que o respectivo bloco está livre,
 - com valores diferentes de zero indicam que o respectivo bloco faz parte de um ficheiro.



- Cada ficheiro é composto por vários blocos:
 - o primeiro bloco é indicado por um número junto à respectiva entrada no directório.
 - os primeiros blocos dos FichA, FichB e FichC são os blocos 0, 1 e 3, respectivamente
 - os restantes blocos de cada ficheiro são referenciados em sequência pelas entradas da tabela de alocação.
 - as entradas com o valor “max” indicam que o respectivo bloco é o último pertencente a um ficheiro.
 - e.g. o FichA é composto pelos blocos 0 e 2, enquanto que o FichB é composto pelos blocos 1 e 5, e o FichC, apenas, pelo bloco 3.
 - O valor “max” corresponde a todos os bits a 1.

Desvantagens do FAT

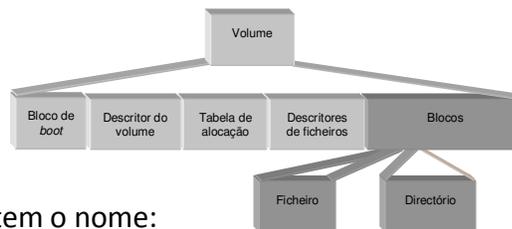
- Elevada dimensão da tabela de alocação quando os discos têm dimensões muito grandes:
 - e.g., com disco de 500 GBytes, blocos de 4 KBytes e ponteiros de 32 bit, a tabela de Alocação pode ocupar 500 MBytes (500G/4K × 4 bytes).
- Tabelas desta dimensão não são possíveis de manter em memória principal permanentemente:
 - é necessário recorrer à paginação
 - é ainda necessário percorrer a cadeia de blocos de um ficheiro sempre que se pretende localizar um bloco (degradação de desempenho significativa)

Organização com Descritores Individuais de Ficheiros

- Manter a descrição do ficheiro num descriptor próprio de cada ficheiro.
- Descritores de ficheiros:
 - estruturas intermédias que estão entre as entradas dos directórios que referenciam ficheiros e os blocos de dados de cada um desses ficheiros.
- Ao contrário dos sistemas do tipo FAT, em que a entrada de um directório aponta directamente para o primeiro bloco ocupado pelo ficheiro:
 - nos sistemas de ficheiros com descritores, as entradas dos directórios apontam para os descritores de ficheiros e estes, por sua vez, para os blocos.
- Vantagem 1 (deste novo nível de indirectação) :
 - os blocos não necessitam de estar referenciados por uma lista em que cada bloco aponta para o seguinte.
 - o espaço utilizado para indicar os blocos de dados tem menores constrangimento; logo é possível utilizar estruturas em árvore ou em tabela de dispersão (*hash*) que são muito mais rápidas,
 - permitindo assim localizar de forma eficiente qualquer bloco de um ficheiro;
- Vantagem 2:
 - podem existir várias entradas de directório a apontar para o mesmo ficheiro
 - a coerência dos seus atributos (por exemplo, dimensão, datas, controlo de acesso, etc.) está sempre garantida, pois o descriptor é apenas um.

Organização com Descritores Individuais de Ficheiros (cont.)

- Os descritores dos ficheiros são guardados:
 - numa estrutura especial de tamanho fixo antes dos blocos de dados



- No Linux tem o nome:
 - de tabela de *inodes*
- No Windows tem o nome:
 - MFT (*Master File Table*).
- O número máximo de ficheiros numa partição é dado pelo número máximo de descritores nessa tabela.

Organização com Descritores Individuais de Ficheiros (cont.)

- Um ficheiro é univocamente identificado:
 - dentro de cada partição,
 - pelo número do seu descritor, dada a relação biunívoca entre um descritor de ficheiro e o ficheiro que descreve.
- Os directórios só têm que:
 - efectuar a ligação entre um nome do ficheiro e o número do seu descritor
- Quer no EXT3, quer no NTFS:
 - os directórios não são mais do que ficheiros em que cada registo é um tuplo de tamanho variável contendo o nome do ficheiro e o número do seu descritor

	NÚMERO DO INODE	DIMENSÃO DO REGISTO		DIMENSÃO DO NOME	TIPO	NOME							
0	54	1	2	1	2	.	\0	\0	\0				
12	79	1	2	2	2	.	\0	\0					
24	23	1	6	6	1	c	a	r	l	o	s	\0	\0
40	256	1	6	7	1	m	a	r	q	u	e	s	\0

Organização com Descritores Individuais de Ficheiros (cont.)

- Descritor do Volume:
 - possui a informação geral de descrição do sistema de ficheiros
 - e.g. por exemplo, a localização da tabela de descritores e a estrutura da tabela de blocos livres
 - é geralmente replicado noutros blocos (a informação nele guardada é de importância fundamental)
 - se se corromper pode ser impossível recuperar a informação do sistema de ficheiros
- Implementação do descritor de volume:
 - Unix - bloco especial denominado superbloco
 - NTFS - ficheiro especial
 - FAT – a informação em causa é descrita directamente no sector de boot
- Existem ainda duas outras estruturas:
 - superbloco
 - tabela de blocos livres (ou tabela de alocação)



Tabela de Blocos Livres

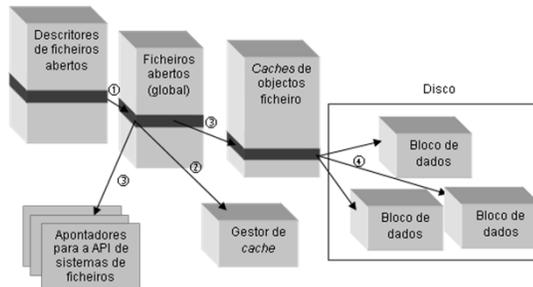
- Mantém um conjunto de estruturas necessárias à localização de blocos livres:
 - i.e. blocos da partição que não estão ocupados por nenhum bloco de nenhum ficheiro.
- Pode ser um simples **bitmap**:
 - um bit por cada bloco na partição,
 - indica se o respectivo bloco está livre ou ocupado
- Tabela de blocos livres desacoplada dos descritores de ficheiros tem vantagens:
 - é possível ter estruturas muito mais densas (a tabela de blocos livres possui, usualmente, apenas um bit por cada bloco)
 - pode-se organizar a tabela de blocos livres em várias tabelas de menor dimensão para blocos adjacentes



Estruturas de Suporte à Utilização dos Ficheiros

- Todos os sistemas de ficheiros definem um conjunto de estruturas de memória para os ajudar a gerir a informação persistente mantida em disco.
- Objectivos:
 - Criar e gerir os canais virtuais entre as aplicações e a informação em disco;
 - Aumentar o desempenho do sistema mantendo a informação em *caches*;
 - Tolerar eventuais faltas;
 - Isolar as aplicações da organização do sistema de ficheiros e, nalguns casos, possibilitar a gestão de várias organizações de estruturas de ficheiros em simultâneo.

Estruturas de Suporte à Utilização dos Ficheiros



- Quando existe uma operação sobre um ficheiro já aberto, o identificador do ficheiro permite identificar na estrutura de descritores de ficheiros abertos do processo o ponteiro para o objecto que descreve o ficheiro na estrutura de ficheiros abertos global (passo ①).
- De seguida é perguntado ao gestor de *cache* se o pedido pode ser satisfeito pela *cache* (passo ②).
- Se não puder então é invocada a função correspondente à operação desejada do sistema de ficheiros, dando-lhe como parâmetro o descritor de ficheiro correspondente (passo ③).
- Finalmente, os blocos de dados do ficheiro são lidos ou escritos a partir da informação de localização dos blocos residente no descritor de ficheiro (passo ④).

Estruturas de Suporte à Utilização dos Ficheiros (cont)

- Tabela de ficheiros abertos – por processo:
 - contém um descritor para cada um dos ficheiros abertos
 - mantida no espaço de memória protegida pelo que só pode ser acedida pelo núcleo
- Tabela de ficheiros abertos – global:
 - contém informação relativa a um ficheiro aberto
 - mantida no espaço de memória protegida pelo que só pode ser acedida pelo núcleo
- A existência de duas tabelas é fundamental para:
 - garantir o isolamento entre processos
 - permitindo a partilha de ficheiros sempre que necessário (e.g. os cursores de escrita e leitura de um ficheiro entre dois ou mais ficheiros)
- Note-se que:
 - os identificadores para a tabela global estão na tabela privada que está em memória protegida, pelo que não podem ser alterados

Sistema de Ficheiros

Linux

Sistema de Ficheiros do Linux

Operações	Genéricas	Linux
Simples	Fd = Abrir (Nome, Modo)	int open(const char *path, int flags, mode_t mode)
	Fd = Criar (Nome, Protecção)	
	Fechar (Fd)	int close(int fd)
Ficheiros Abertos	Ler (Fd, Tampão, Bytes)	int read(int fd, void *buffer, size_t count)
	Escrever (Fd, Tampão, Bytes)	int write(int fd, void *buffer, size_t count)
	Posicionar (Fd, Posição)	int lseek(int fd, off_t offset, int origin)
Complexas	Copiar (Origem, Destino)	int symlink(const char *oldpath, const char *newpath)
	Mover (Origem, Destino)	int link(const char *oldpath, const char *newpath)
	Apagar (Nome)	int rename(const char *oldpath, const char *newpath)
		int unlink(const char *path)
		int dup(int fd), int dup2(int oldfd, int newfd)
	Ler Atributos (Nome, Tampão)	int stat(const char *path, struct stat *buffer)
Ficheiros em memória	Mapear Ficheiro (Fd, pos, endereço, dim)	void *mmap(void *addr, size_t len, int prot, int flags, int fd, off_t offset)
	DesMapear Ficheiro (endereço, dim)	int munmap(void *addr, size_t len)
		int readdir(int fd, struct dirent *buffer, unsigned int count)
Directórios	MudaDir (Nome)	int chdir(const char *path)
	CriaDir (Nome, Protecção)	int mkdir(const char *path, mode_t mode)
	RemoveDir (Nome)	int rmdir(const char *path)
Sistemas de Ficheiros	Montar (Directório, Dispositivo)	int mount(const char *device, const char *path, const char *fstype, unsigned long flags, const void *data)
	Desmontar (Directório)	int umount(const char *path)

Sistema de Ficheiros do Linux

- Origens na versão 7 do Unix *File System* (UFS v7); continuou inalterada até ao Unix System V.
- A primeira versão do sistema de ficheiros do Linux derivou directamente do Minix:
 - tinha um conjunto de limitações e ineficiências comuns a todos os sistemas de ficheiros compatíveis com o UFS v7:
 - os directórios eram sequências não ordenadas de entradas de 16 byte, com os nomes de um ficheiro limitados a 14 caracteres.
 - a organização utilizada era pouco eficiente para discos de grande dimensão
- O *Berkeley Fast File System* resolveu estas limitações:
 - alterou o formato dos directórios de modo a permitir ficheiros com nomes até 255 caracteres,
 - propôs uma nova organização da informação em disco que o torna mais eficiente.
- A primeira evolução do sistema de ficheiros do Linux deu-se com a introdução do sistema de ficheiros *extend* (EXT):
 - incorporava as propostas do *Berkeley Fast File System* relativas à dimensão máxima do nome dos ficheiros.
- A segunda evolução, mais significativa:
 - introduziu o sistema de ficheiros *extend 2* (EXT2) e o *Virtual File System* (VFS).
- EXT3:
 - É o sistema de ficheiros EXT2 com um conjunto de estruturas auxiliares para assegurar a consistência do sistema de ficheiros em caso de faltas, designadas por estruturas de *journaling*

Estruturas Persistentes EXT2

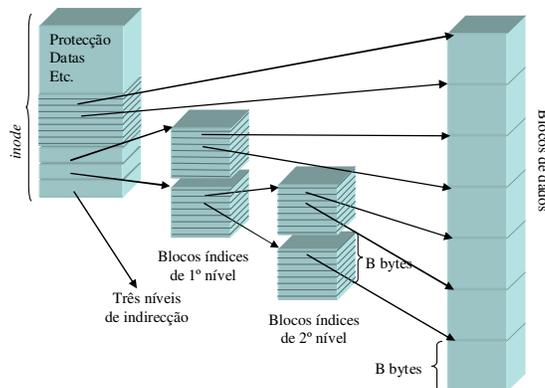
- Essencialmente de dois tipos:
 - estruturas de suporte à definição de ficheiro - contêm os meta-dados relativos a cada ficheiro
 - estruturas de suporte ao sistema de ficheiros - contêm os meta-dados do sistema de ficheiros global.
- Inode:
 - descritor de cada ficheiro designa-se por *index-node* ou *inode*
 - há inodes que não estão associados a ficheiros (ver I/O)

Campo	Descrição
<code>i_mode</code>	Tipo de ficheiro e direitos de acesso
<code>i_uid</code>	Identificador do utilizador
<code>i_size</code>	Dimensão do ficheiro
<code>i_atime</code>	Tempo do último acesso
<code>i_ctime</code>	Tempo da última alteração do inodo
<code>i_mtime</code>	Tempo da última alteração do ficheiro
<code>i_dtime</code>	Tempo da remoção do ficheiro
<code>i_gid</code>	Identificador do grupo do utilizador
<code>i_links_count</code>	Contador de hard links
<code>i_blocks</code>	Número de blocos ocupado pelo ficheiro
<code>i_flags</code>	Flags várias do ficheiro
<code>i_block[15]</code>	Vector de 15 unidades para blocos de dados
	Outros campos ainda não utilizados

Inode

- Índice dos blocos constituintes do ficheiro é mantido:
 - num vector denominado `i_block` com 15 posições
 - 12 dessas 15 posições identificam os primeiros blocos do ficheiro (um bloco varia entre 1 Kbyte e 4 Kbyte).
 - caso um ficheiro tenha uma dimensão superior 12 blocos, então as 3 últimas posições do vector contêm uma referência para um bloco com índices para outros blocos
- 3 últimas posições do vector:
 - a primeira (13ª) aponta para um bloco normal de disco, mas que em vez de informação relativa ao conteúdo de um ficheiro, contém referências para um conjunto de blocos de dados.
 - para permitir que os ficheiros tenham dimensões muito superiores, a segunda e terceira entradas (14ª e a 15ª do vector) referenciam uma árvore de blocos de índices com respectivamente dois e três níveis de indirectação
- Dimensão máxima de um ficheiro no EXT2:
 - número de blocos indexados directamente pelo *inode*, mais
 - o número de blocos indexados pelos blocos de índices com 1,2 e 3 níveis de indirectação

Inodes



$$\text{dimensão máxima de um ficheiro} = B \times (12 + B/R + (B/R)^2 + (B/R)^3)$$

B é a dimensão em bytes de um bloco de dados

R é a dimensão em bytes de uma referência para um bloco

Com blocos de 1 Kbyte e referências de 4 byte, a dimensão máxima de um ficheiro é ~16 Gbyte

Aceder a um Ficheiro

- É necessário:
 - copiar o bloco para memória,
 - modificá-lo e voltar a escrever no ficheiro.
- Para tal é preciso traduzir um tuplo <inode, cursor> para um endereço de memória (3 passos):
 - Localizar o bloco de disco onde está a informação a aceder
 - Mapear o referido bloco numa posição de memória
 - Calcular o endereço de memória do referido bloco mapeado em memória que possui a informação a aceder
- Optimizações das operações:
 - dimensões dos blocos e das referências são potências de 2
 - as operações de multiplicação e divisão são substituídas por operações de deslocamento de bits (instruções *shift* do processador), efectuadas de forma muito eficiente.

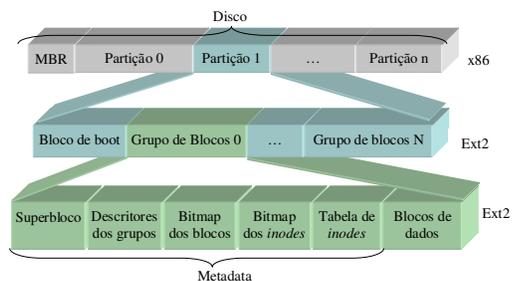
Directórios

- São a entidade responsável por efectuar a tradução entre o nome de um ficheiro e o *inode* que o representa.
- Têm uma estrutura específica para que o sistema de ficheiros os possa ler e interpretar, e assim localizar os ficheiros a partir do seu nome.
- Para localizar o *inode* de um ficheiro o sistema de ficheiros tem, no caso geral, que resolver o caminho de acesso, lendo e interpretando todos os directórios que compõem o nome do ficheiro.
- Este processo designa-se usualmente por *path walk*.
- Directório:
 - está dividido em registos de dimensão variável.
 - cada um desses registos contém a informação necessária à tradução de um nome para um *inode*.
 - um nome de ficheiro continua a possuir uma dimensão máxima, definida pela dimensão do campo Dimensão do registo que só possui um byte.
 - por razões de eficiência cada registo começa num número múltiplo de bytes.
 - o campo tipo indica qual o tipo de ficheiro (ex. 1 é um ficheiro, 2 é um directório).

	NÚMERO DO INODE	DIMENSÃO DO REGISTO	DIMENSÃO DO NOME	TIPO	NOME
0	54	1 2	1	2	. \0 \0 \0
12	79	1 2	2	2	. . \0 \0
24	23	1 6	6	1	c a r l o s \0 \0
40	256	1 6	7	1	m a r q u e s \0

Grupos e Blocos

- A arquitectura x86 impõe que:
 - um disco possua um MBR no início do disco, e
 - um bloco de *boot* no início de cada partição.
- Para além do bloco de *boot*, uma partição EXT2 é constituída por :
 - vários grupos de blocos de dados
 - cada grupo de blocos de dados contém os meta-dados que descrevem a informação neles contida
 - ex. quais os blocos ocupados, quais os blocos livres, que blocos pertencem a um dado ficheiro, etc.),
 - mais os meta-dados que descrevem a estrutura global da partição
 - (ex. quantos grupos de blocos tem cada partição, quantos blocos tem cada grupo, qual a dimensão dos blocos, etc.).
- Deste modo, os meta-dados que descrevem a estrutura da partição encontram-se replicados pelos vários grupos de blocos e os meta-dados de cada grupo de blocos são guardados perto da informação a que se referem.



Grupos e Blocos (cont.)

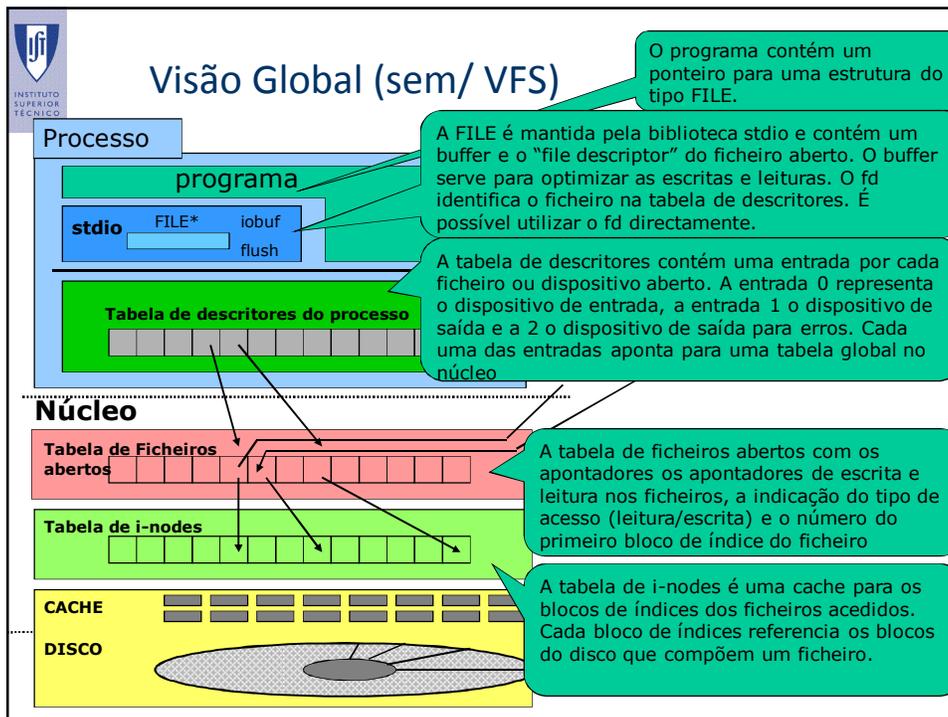
- A divisão das partições em grupos de blocos de dados foi introduzida pela primeira vez no *Berkley Fast File System (BFS)*:
 - objectivo duplo de melhorar o seu desempenho em discos muito grandes e
 - tornar os sistemas de ficheiros mais tolerantes a faltas típicas dos discos.
- O agrupamento dos meta-dados e dos dados em posições do disco não muito distantes optimiza a pesquisa de informação no disco:
 - é comum aceder-se alternadamente aos meta-dados de um ficheiro e ao seu conteúdo
 - se esta informação estiver muito longe uma da outra, o tempo de latência no acesso à informação no disco é muito maior
- Uma das faltas típicas dos discos é a falha de alguns dos seus sectores, sem que o disco deixe de funcionar completamente:
 - é frequente os sectores inutilizados serem consecutivos, i.e. quando falha um sector a probabilidade do seu vizinho também falhar é maior que as dos restantes sectores
 - com o *BFS*, a falha de um sector que contém os meta-dados de um grupo de blocos só afecta aquele grupo de blocos
 - numa situação sem divisão em grupos uma falha nos meta-dados inutilizaria a partição.

Superbloco

- A informação global sobre todos os grupos de blocos de uma partição está guardada no que é designado por *super bloco*.
- O *super bloco* é:
 - um bloco que contém informação fundamental para a interpretação do conteúdo da partição
 - ex. número de sectores, dimensão dos sectores, número de *inodes*, etc.
 - está replicado em todos os grupos de blocos garantido assim que a falha de um só bloco não impede o disco de funcionar.

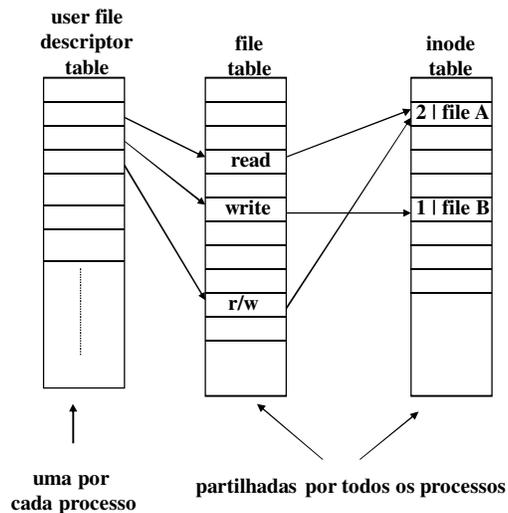
Tabelas de Inodes e Bitmaps

- Cada partição tem um número máximo de *inodes*:
 - que servem para armazenar os *inodes* de todos os ficheiros da partição.
 - logo, existe um número máximo de ficheiros, correspondente à dimensão máxima da tabela de *inodes*
- Dentro de uma partição:
 - um *inode* é univocamente identificado pelo índice dentro da tabela de *inodes*.
- Para além da tabela de *inodes* existem em cada partição ainda duas outras tabelas:
 - o *bitmap* de *inodes* - quais as posições livres
 - o *bitmap* de blocos, - quais as posições ocupadas



- Tabela de ficheiros abertos**
- A tabela de ficheiros abertos contém uma entrada para cada ficheiro aberto
 - podem existir mais do que uma entrada para o mesmo ficheiro. Basta para tal este ser aberto por processos diferentes.
 - No fork os ficheiros abertos pelo pai são partilhados pelo filho.
 - As entradas na tabela de ficheiros abertos também são partilhadas. Deste modo os cursores de leitura e escrita são partilhados o que permite direccionar a saída de pai e filho para o mesmo ficheiro sem que o último apague a saída o primeiro.

Tabelas de Ficheiros



```
fd1 = open ("fileA", O_RDONLY);
fd2 = open ("fileB", O_WRONLY);
fd3 = open ("fileA", O_RDWR);
```

- *file table* contem:
 - Cursor que indica a posição actual de leitura/escrita
 - modo como o ficheiro foi aberto
- *processos pai e filho*:
 - partilham *file table*

Estruturas em Memória - VFS

- A maioria das estruturas em memória primária de suporte ao sistema de ficheiros estão agrupadas no conceito do VFS.
- O objectivo do VFS é:
 - a criação do conceito de sistema de ficheiros comum, virtual, que
 - suporta vários sistemas de ficheiros nativos, em simultâneo.
- Neste modelo:
 - cada ficheiro é manipulado por um conjunto de operações (leitura, escrita, abertura, etc.) diferente,
 - dependendo do sistema de ficheiros nativo em que estão armazenados

