Plano das próximas aulas

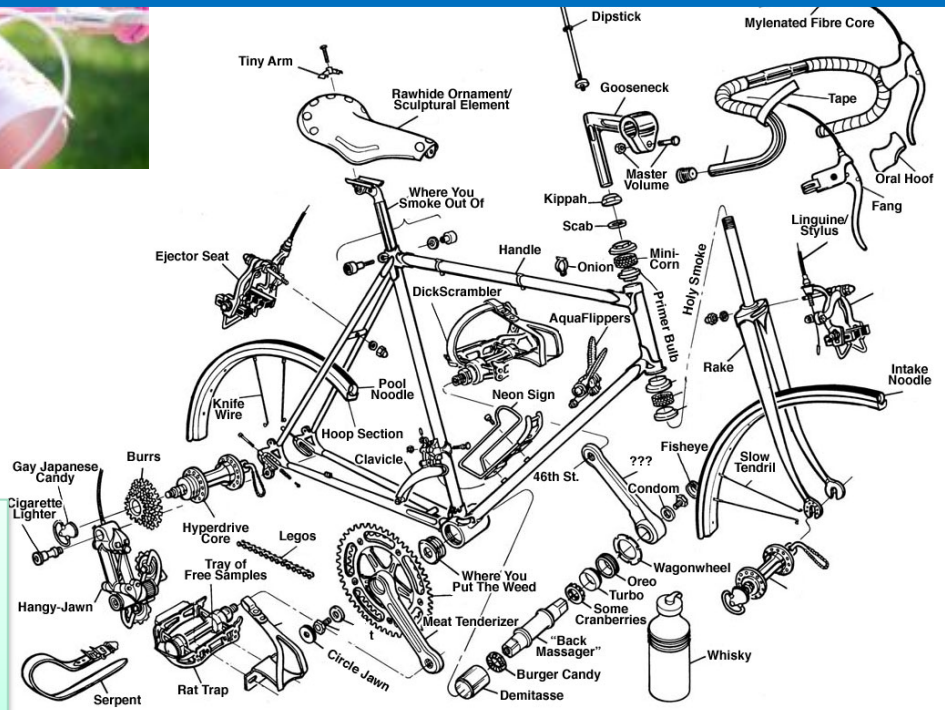
Aprender a usar os sistemas de ficheiros (abstrações, APIs)

1ª Parte

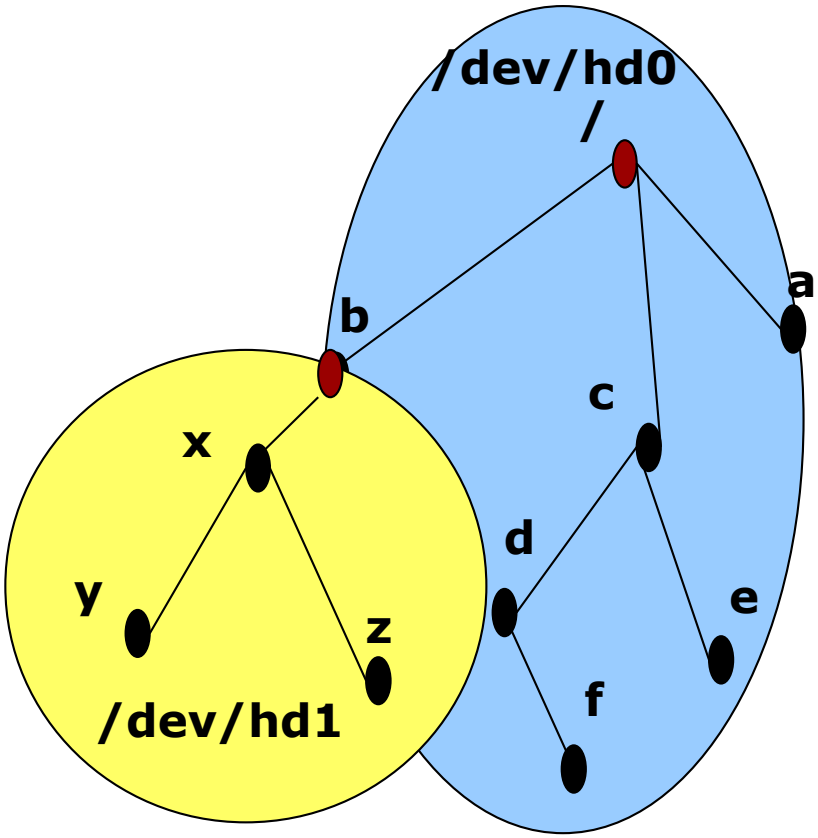
2ª Parte

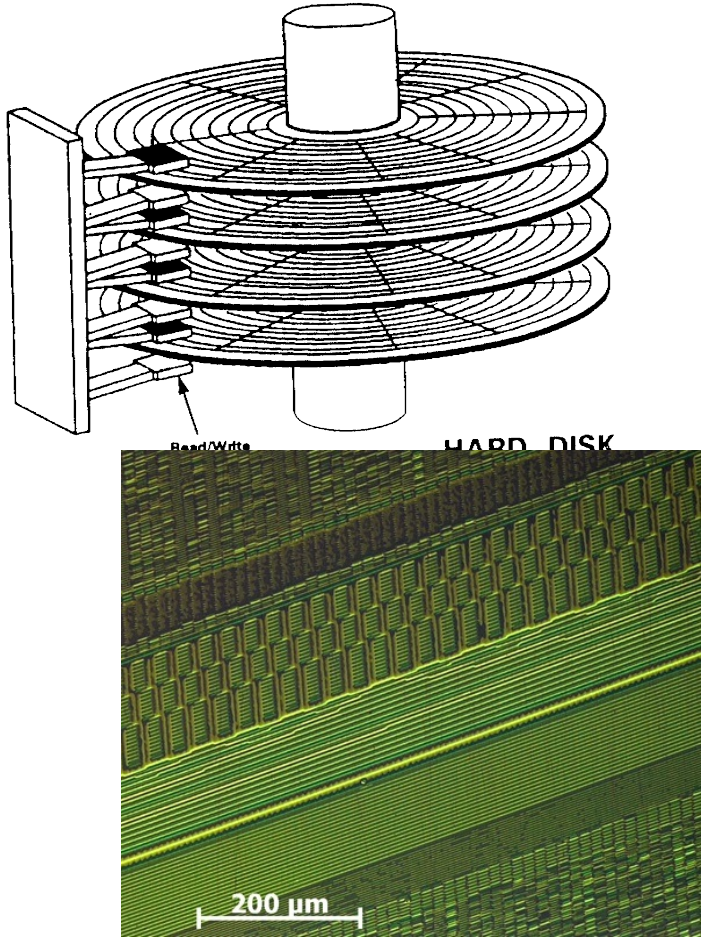
Introduzir a organização interna dos sistemas de ficheiros:

- **relevante para o projeto**

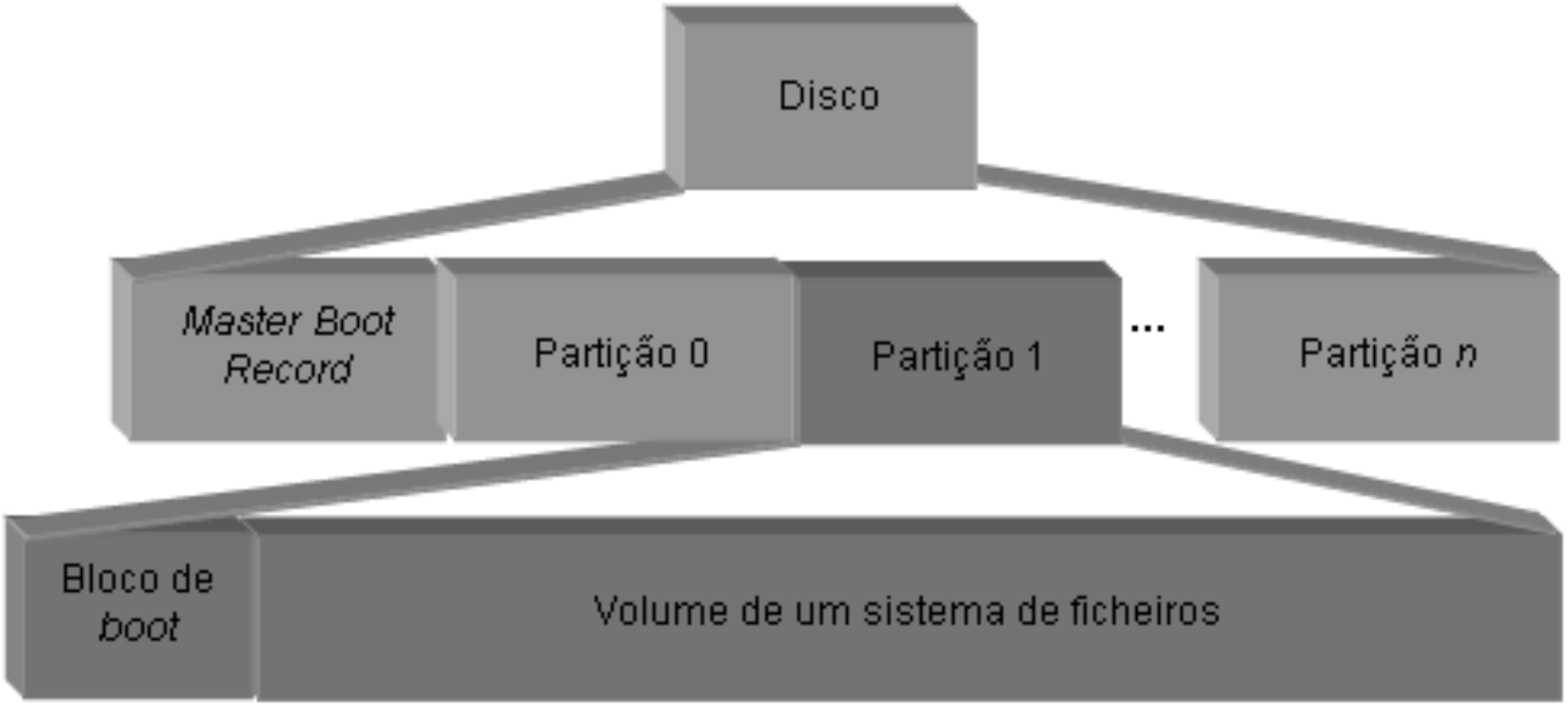


Como implementar estas abstrações?



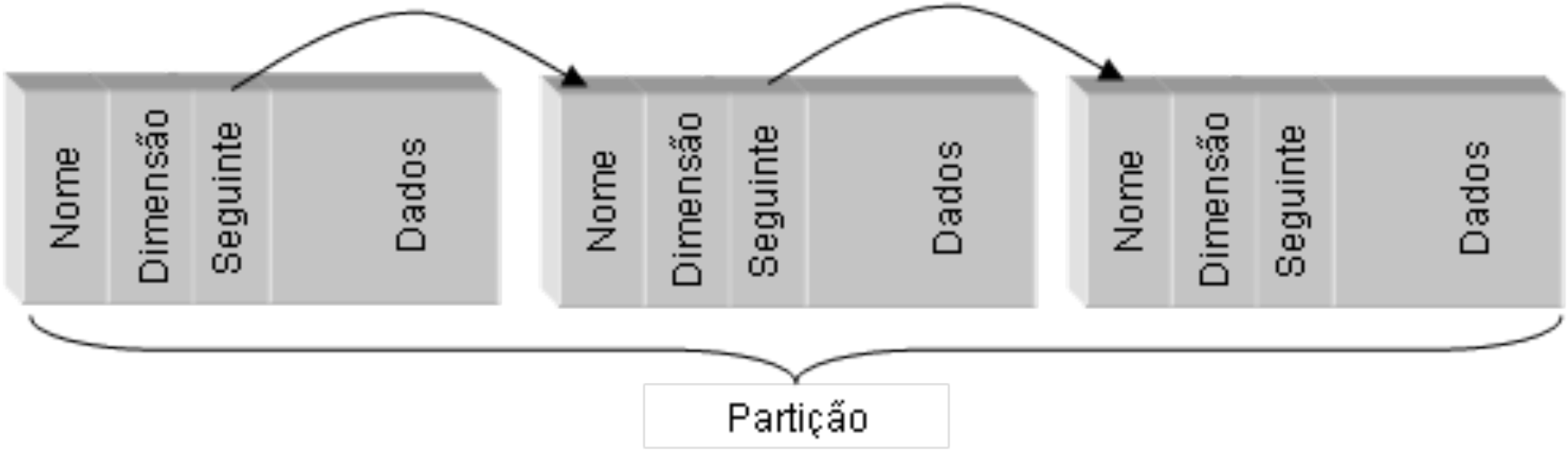


Organização lógica de um disco



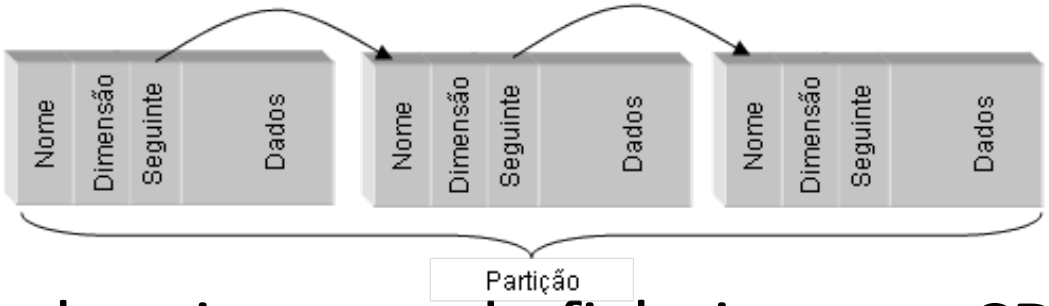
Como organizar a informação necessária para suportar um sistema de ficheiros?

Alternativa 1: Organização em Lista



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



- No caso dos sistemas de ficheiros em CD/DVD, 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, é necessário manter também uma de espaços livres

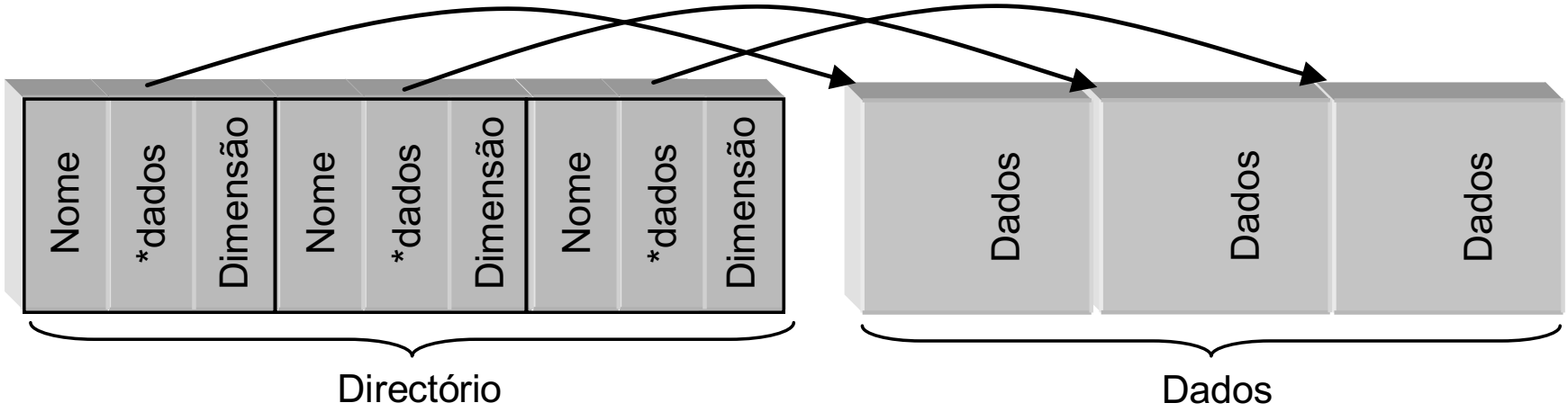
Desvantagens ?

Alternativa 1: desvantagens

- Tempo necessário para localizar um ficheiro através do seu nome
- Ficheiros que mudam de tamanho ou são apagados são problemáticos:
  - Espaço ocupado por cada ficheiro é contínuo
  - Fragmentação da memória

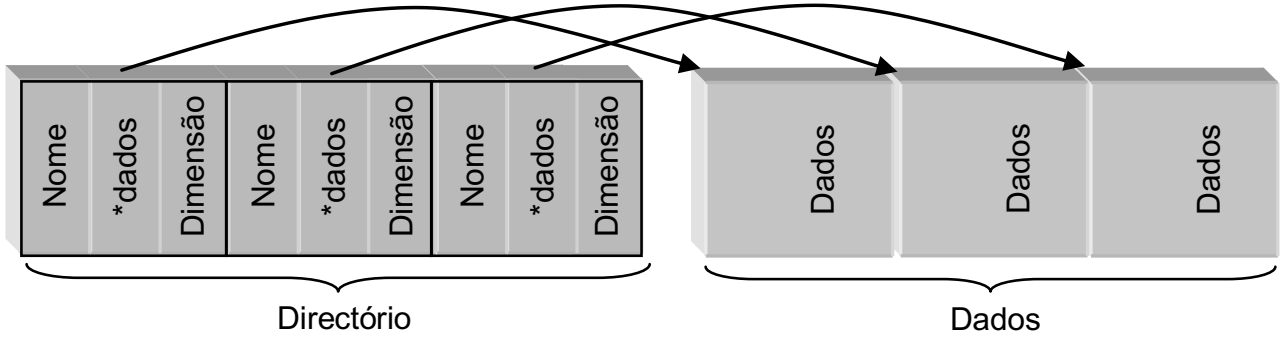
Todos estes problemas aplicam-se a sistemas de ficheiros em DVD?

Alternativa 2



Alternativa 2

- 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 eficência da procura de um ficheiro dado o seu nome

Organização em Lista – desvantagens (cont.)

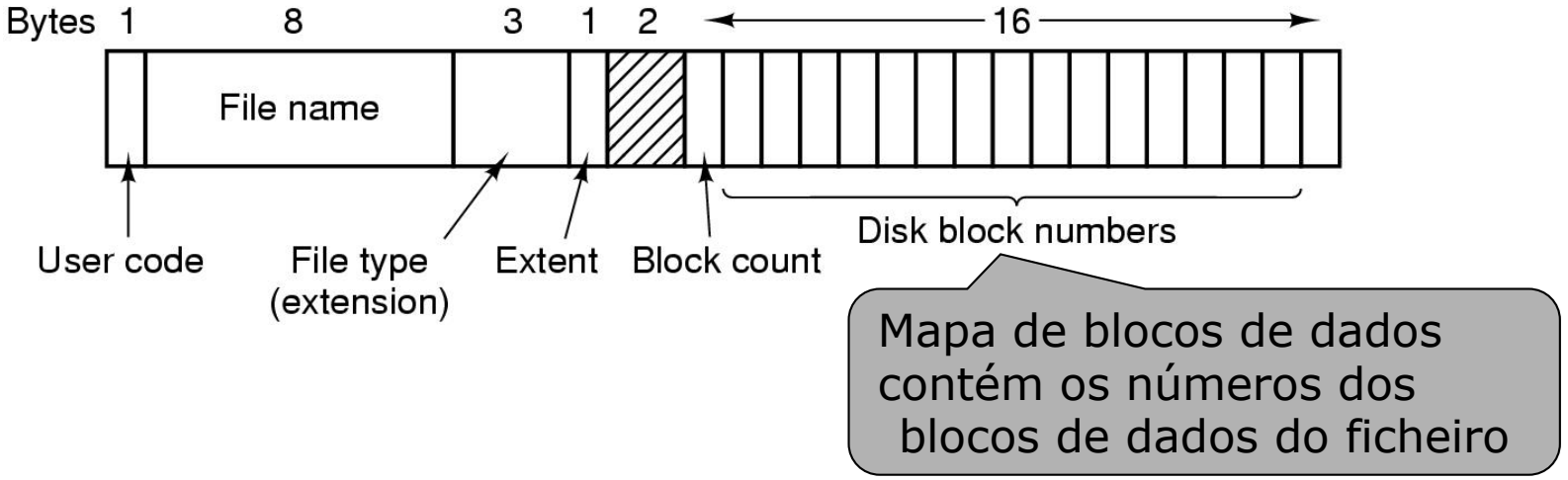
- Solução para a segunda desvantagem: dividir os dados de cada ficheiro em blocos de dimensão fixa

- O sistema de ficheiros do CP/M (um dos primeiros para PCs, 1977) utilizava uma estrutura deste tipo

CP/M advertisement in the November 29, 1982 issue of InfoWorld magazine

Sistema de Ficheiros do CP/M

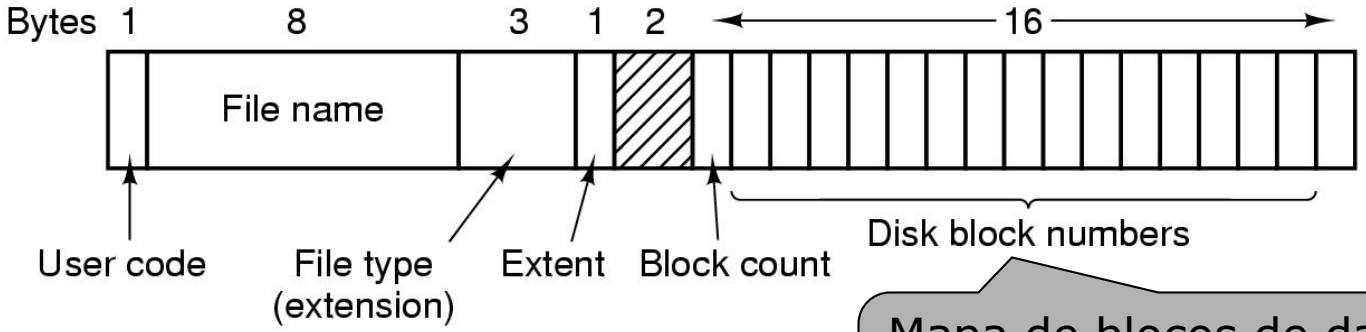
- Estrutura de uma entrada do directório do sistema de ficheiros do CP/M:



- Neste sistema:
  - cada bloco possuía 1 Kbyte (por omissão)
  - mapa de blocos com 16 entradas, logo dimensão máxima de um ficheiro = 16 KBytes
- Como aumentar a dimensão máxima dos ficheiros?

Sistema de Ficheiros do CP/M

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



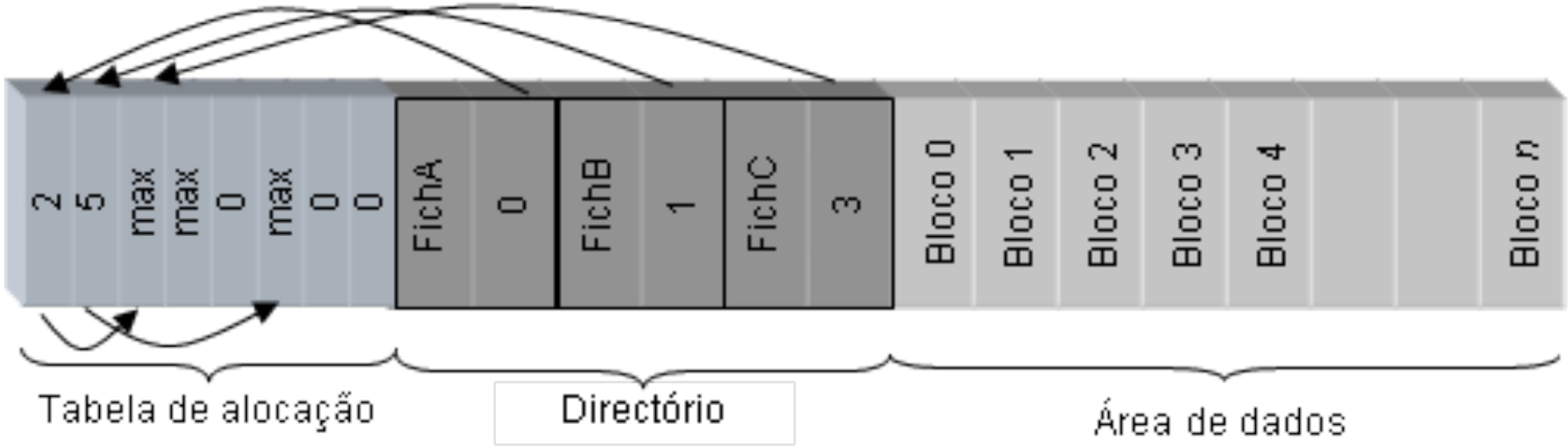
- Neste sistema:
  - cada bloco possuía 1 Kbyte (por omissão)
  - mapa de blocos com 16 entradas, logo dimensão máxima de um ficheiro = 16 KBytes
- Como aumentar a dimensão máxima dos ficheiros?
  - Aumentar o mapa de blocos ➔ ineficiente para fich. pequenos
  - Aumentar o tamanho dos blocos ➔ maior fragmentação

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*).

The original MS-DOS advertisement in 1981

Alternativa 4: File Allocation Table (FAT)



Anúncio do MS-DOS, 1981

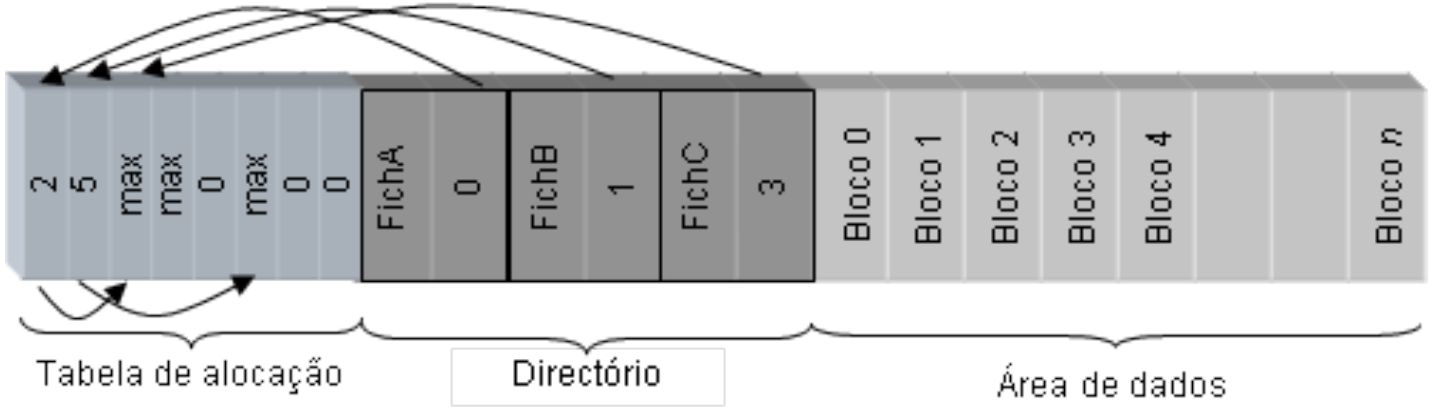
Sistemas de Ficheiros do Tipo FAT

- A partição contém três secções distintas:
  - **a tabela de alocação (File Allocation Table, FAT),**
  - uma diretoria 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.)

- FAT é vetor composto por 2^n inteiros de *n* bits
  - Designado de FAT-16 (n=16) ou FAT-32 (n=32), etc.
- Dimensionado para:
  - Caber em memória RAM (FAT carregada do disco em RAM quando o FS é montado)
  - Ter tantas entradas quanto o número de blocos de dados na partição em disco
- As entradas da FAT:
  - 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

Sistemas de Ficheiros do Tipo FAT (cont.)



- Os blocos de um ficheiro são determinados assim:
  - 1º bloco: indicado por um número na respectiva entrada no directório.
  - restantes blocos: referenciados em **lista ligada** pelas entradas da FAT

Desvantagens do FAT

- Elevada dimensão da FAT quando os discos têm dimensões muito grandes:
  - Por exemplo, uma partição 1 *Tbyte*
  - Usando FAT-32 e blocos de 4 *Kbytes*...
  - ...a FAT pode ocupar 1 *GByte* (1TBytes/4KBytes × 4 *bytes*)

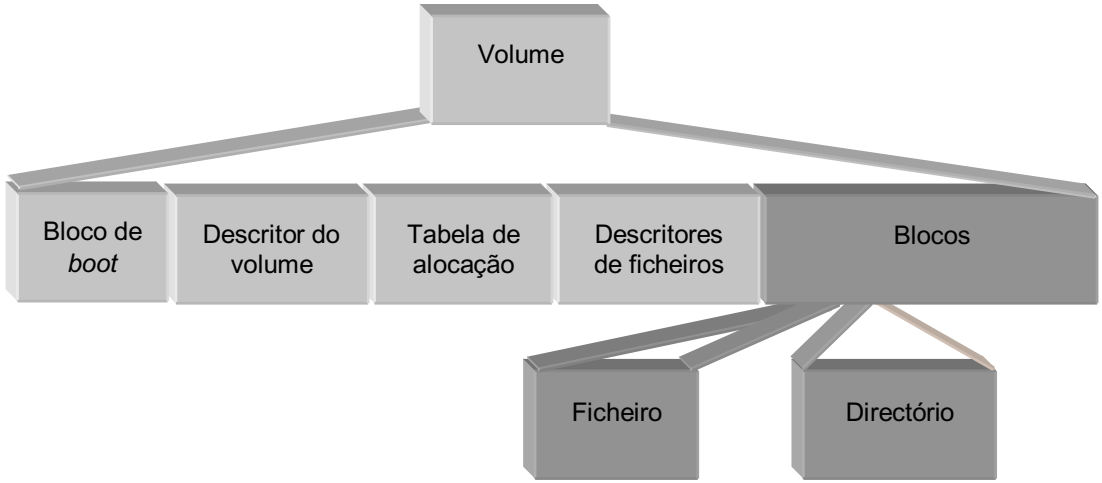
- Tabelas desta dimensão não são possíveis de manter em RAM permanentemente:
  - Ler à FAT do disco, prejudica muito o acesso à cadeia de blocos de um ficheiro

Alternativa 5: Organização com Descritores Individuais de Ficheiros (i-nodes)

- Manter a descrição do ficheiro num descritor próprio de cada ficheiro, chamado i-node
  - Exemplos de atributos incluídos no i-node: tipo de ficheiro, dono, datas de últimos acessos, permissões, dimensão, localizações dos blocos de dados
  - É a estrutura que está entre as entradas dos diretórios que referenciam o ficheiro e os seus blocos de dados
- Vantagem: podem existir várias entradas de diretório a apontar para o mesmo ficheiro
  - Noção de *hard link*

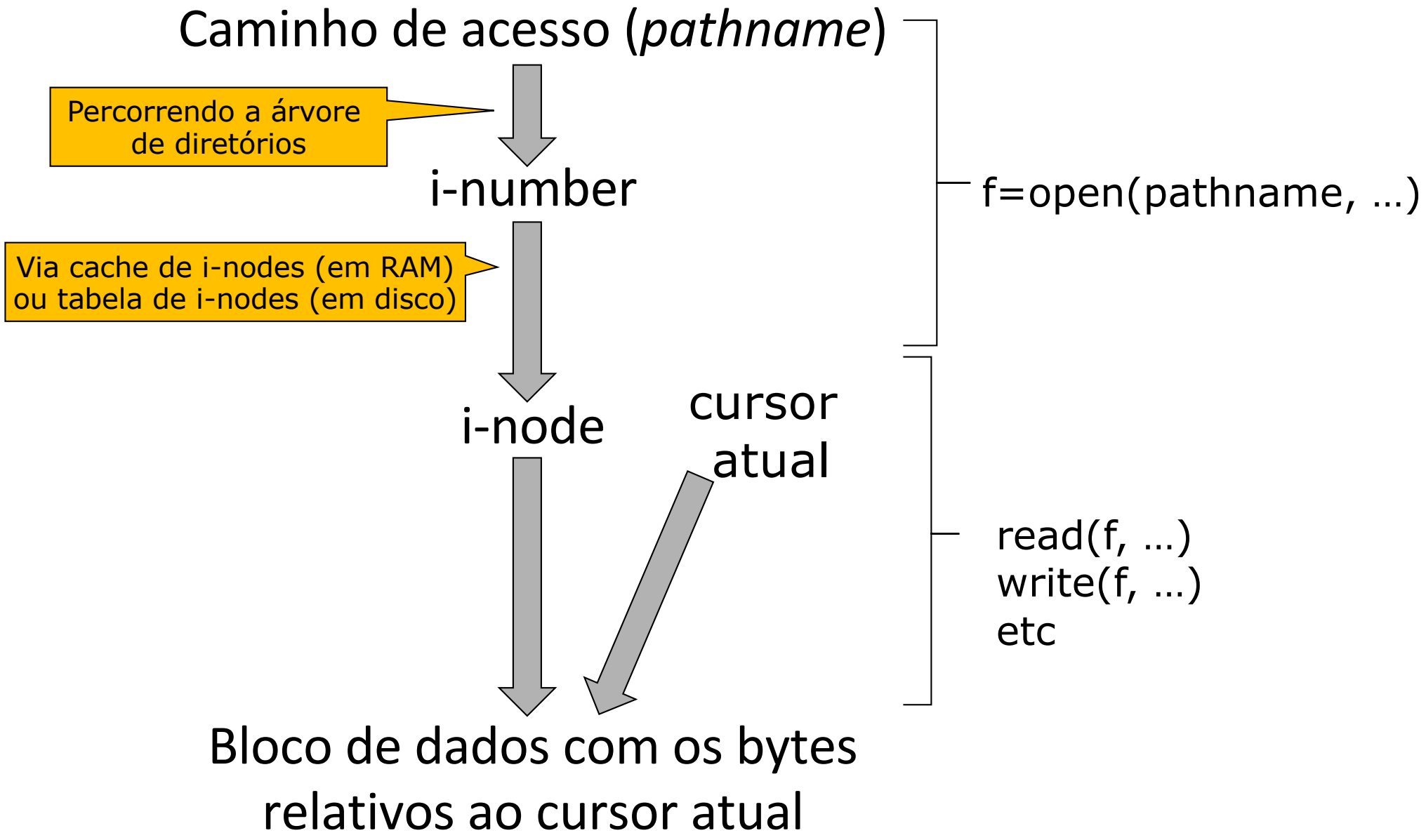
Organização com Descritores Individuais de Ficheiros (i-nodes)

- Os i-nodes 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 i-nodes nessa tabela

A sequência de passos para aceder ao conteúdo de um ficheiro



Organização com Descritores Individuais de Ficheiros (i-nodes)

- Um ficheiro é univocamente identificado, dentro de cada partição, pelo número de i-node (muitas vezes chamado i-number)
- Os directórios só têm que efetuar a ligação entre um 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

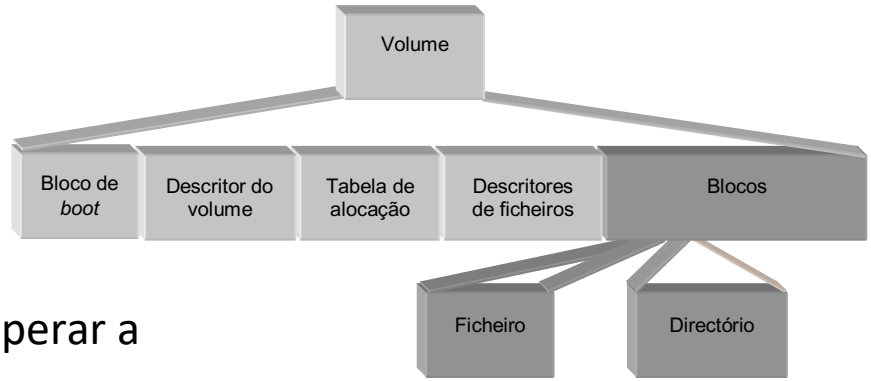
Percorrer a árvore de diretórios

1. Começar pelo diretório raíz
   - i-number tem valor pré-conhecido (e.g., i-num=2)
2. Dado o i-number, obter o i-node do diretório
   - Na cache de i-nodes (em RAM) ou na tabela de i-nodes (em disco)
3. A partir do i-node, descobrir os índices dos blocos de dados com o conteúdo do diretório
4. Ler cada bloco do diretório e pesquisar nele uma entrada com o próximo nome do *pathname*
5. Assim que seja encontrada, a entrada indica o i-num do próximo nome
6. Repetir a partir do passo 2 para este novo nome

Recursivamente para cada elemento do *pathname*

Organização com Descritores Individuais de Ficheiros (i-nodes)

- Descritor do Volume:
  - possui a informação geral de descrição do sistema de ficheiros
  - 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

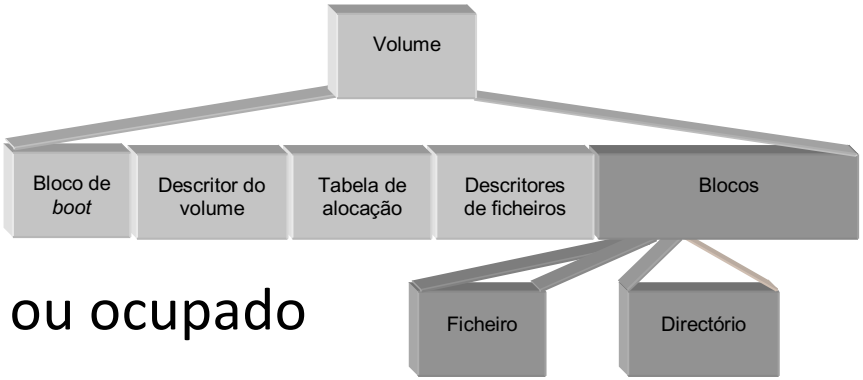


- Implementação do descritor de volume:
  - Unix - bloco especial denominado superbloco
  - NTFS - ficheiro especial
  - FAT – a informação em causa é descrita directamente no setor de boot

- Existem ainda duas outras estruturas:
  - tabela de blocos livres (ou tabela de alocação)
  - tabela com descritores de ficheiros

Tabela de Blocos Livres (ou Tabela de Alocação)

- 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 respetivo bloco está livre ou ocupado

- Tabela de blocos livres desacoplada dos i-nodes 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

Sistema de ficheiros Ext

Principal Sistema de ficheiros do Linux

Sistema referência para outros sistemas de ficheiros atuais

i-node (*index node*)

- Meta-dados do ficheiro
- Localização dos dados do ficheiro
  - Índices do 1º bloco, do 2º bloco, etc.

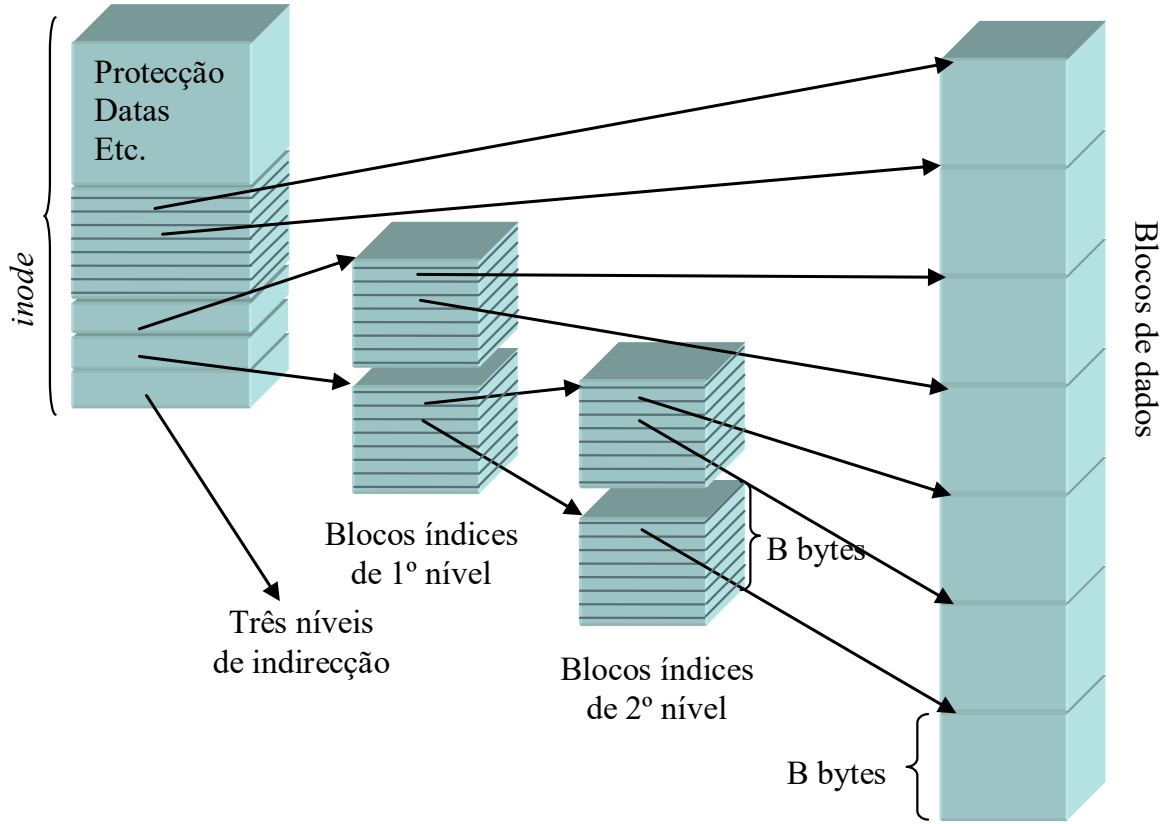
Campo	Descrição
i_mode	Tipo de ficheiro e direitos de acesso
i_uid	Identificador do utilizador
i_size	Dimensão do ficheiro
i_atime	Tempo do último acesso
i_ctime	Tempo da última alteração do inode
i_mtime	Tempo da última alteração do ficheiro
i_dtime	Tempo da remoção do ficheiro
i_gid	Identificador do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

Exemplo de FS que usa i-nodes: ext3

- Índice dos blocos do ficheiro é mantido num vetor *i_block* do i-node, com 15 posições
  - 12 entradas diretas
  - Caso dimensão > 12 blocos, 3 últimas posições do vector contêm referências para blocos com índices para outros blocos
    - Primeira entrada é indireção de 1 nível
    - Segunda é indireção de 2 níveis
    - Terceira é indireção de 3 níveis

- Só se usam as entradas (e blocos de índices) necessários

Exemplo de FS que usa i-nodes: ext3

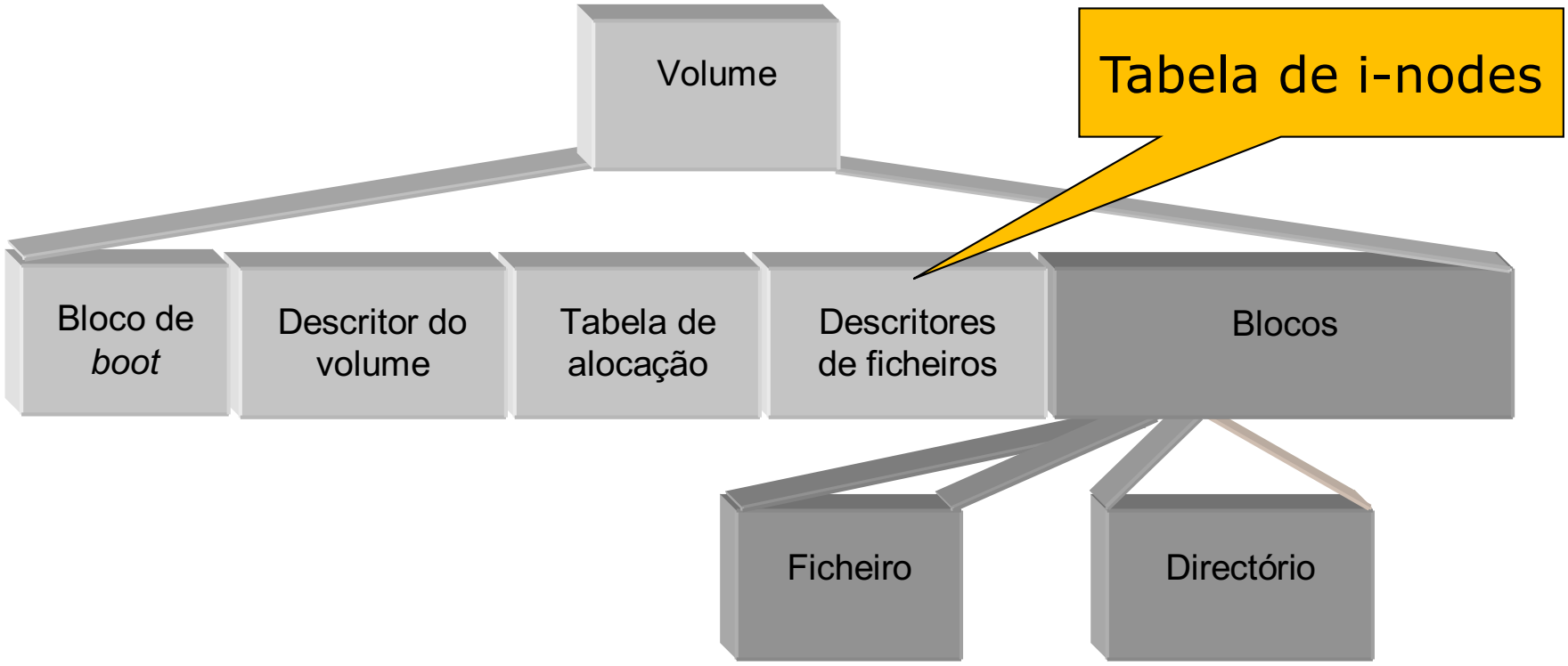


dimensão máxima de um ficheiro = $B \times (12 + B/R + (B/R)^2 + (B/R)^3)$

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

Tabela de i-nodes no volume

- Mantidos em tabela em zona propria no volume
- Dentro de um volume, cada i-node é identificado por um i-number
  - Índice do i-node na tabela de i-nodes no volume



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 *i-nodes*:
  - que servem para armazenar os *i-nodes* de todos os ficheiros da partição.
  - logo, existe um número máximo de ficheiros, correspondente à dimensão máxima da tabela de *i-nodes*

- Dentro de uma partição:
  - um *i-node* 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 *i-nodes* – posições dos i-nodes livres
  - o *bitmap* de blocos, – posições dos blocos livres

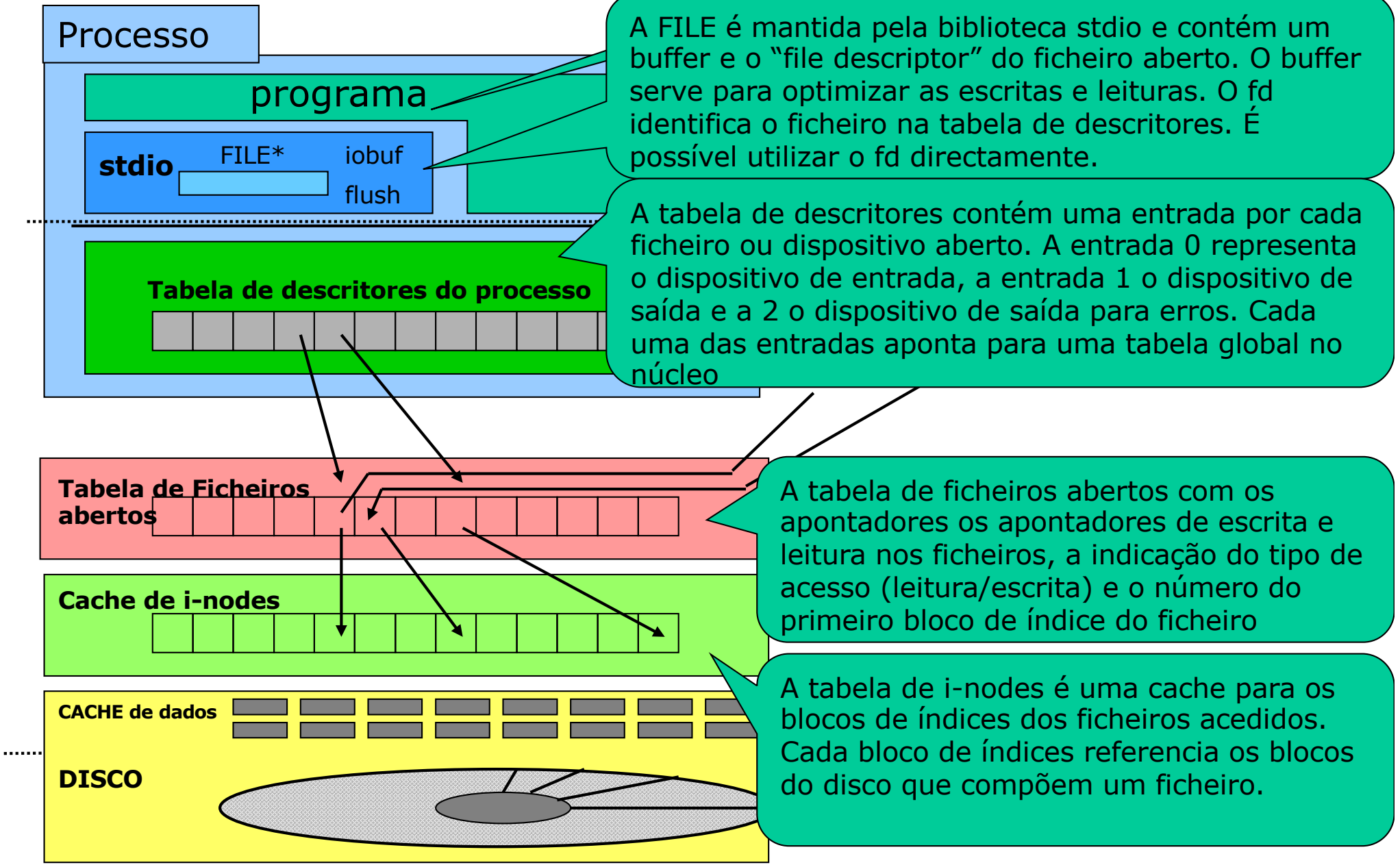
Estruturas em RAM de suporte ao FS

Estruturas de Suporte à Utilização dos Ficheiros

- Todos os sistemas de ficheiros definem um conjunto de estruturas em memória volátil 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
  - Possibilitar a gestão de várias organizações de estruturas de ficheiros em simultâneo

Visão Global



O programa contém um ponteiro para uma estrutura do tipo FILE.

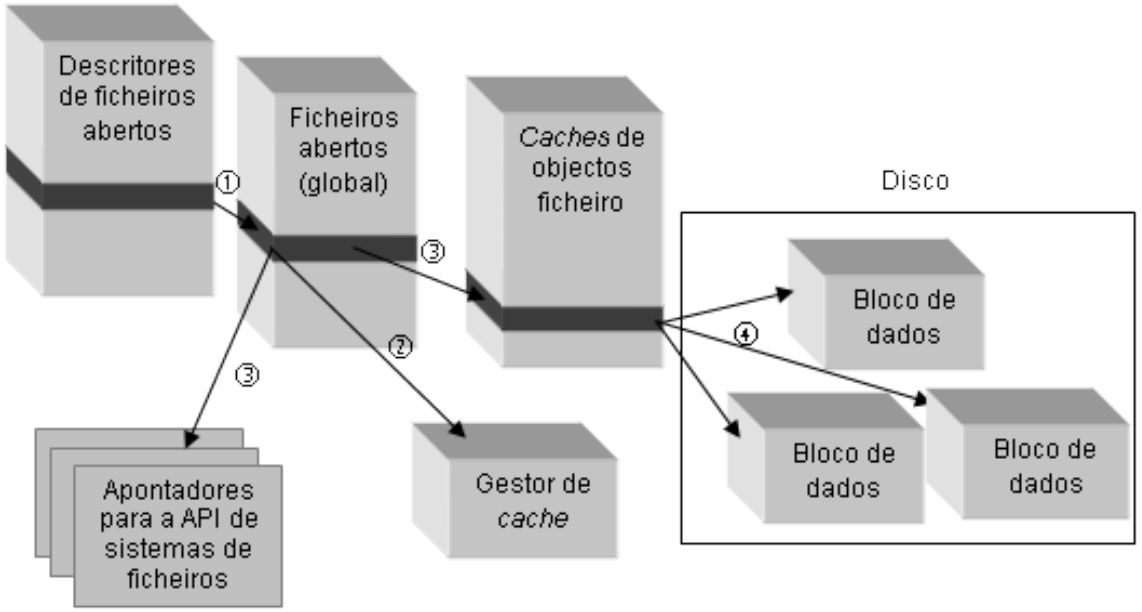
A FILE é mantida pela biblioteca stdio e contém um buffer e o "file descriptor" do ficheiro aberto. O buffer serve para optimizar as escritas e leituras. O fd identifica o ficheiro na tabela de descritores. É possível utilizar o fd directamente.

A tabela de descritores contém uma entrada por cada ficheiro ou dispositivo aberto. A entrada 0 representa o dispositivo de entrada, a entrada 1 o dispositivo de saída e a 2 o dispositivo de saída para erros. Cada uma das entradas aponta para uma tabela global no núcleo

A tabela de ficheiros abertos com os apontadores os apontadores de escrita e leitura nos ficheiros, a indicação do tipo de acesso (leitura/escrita) e o número do primeiro bloco de índice do ficheiro

A tabela de i-nodes é uma cache para os blocos de índices dos ficheiros acedidos. Cada bloco de índices referencia os blocos do disco que compõem um ficheiro.

Estruturas de Suporte à Utilização dos Ficheiros



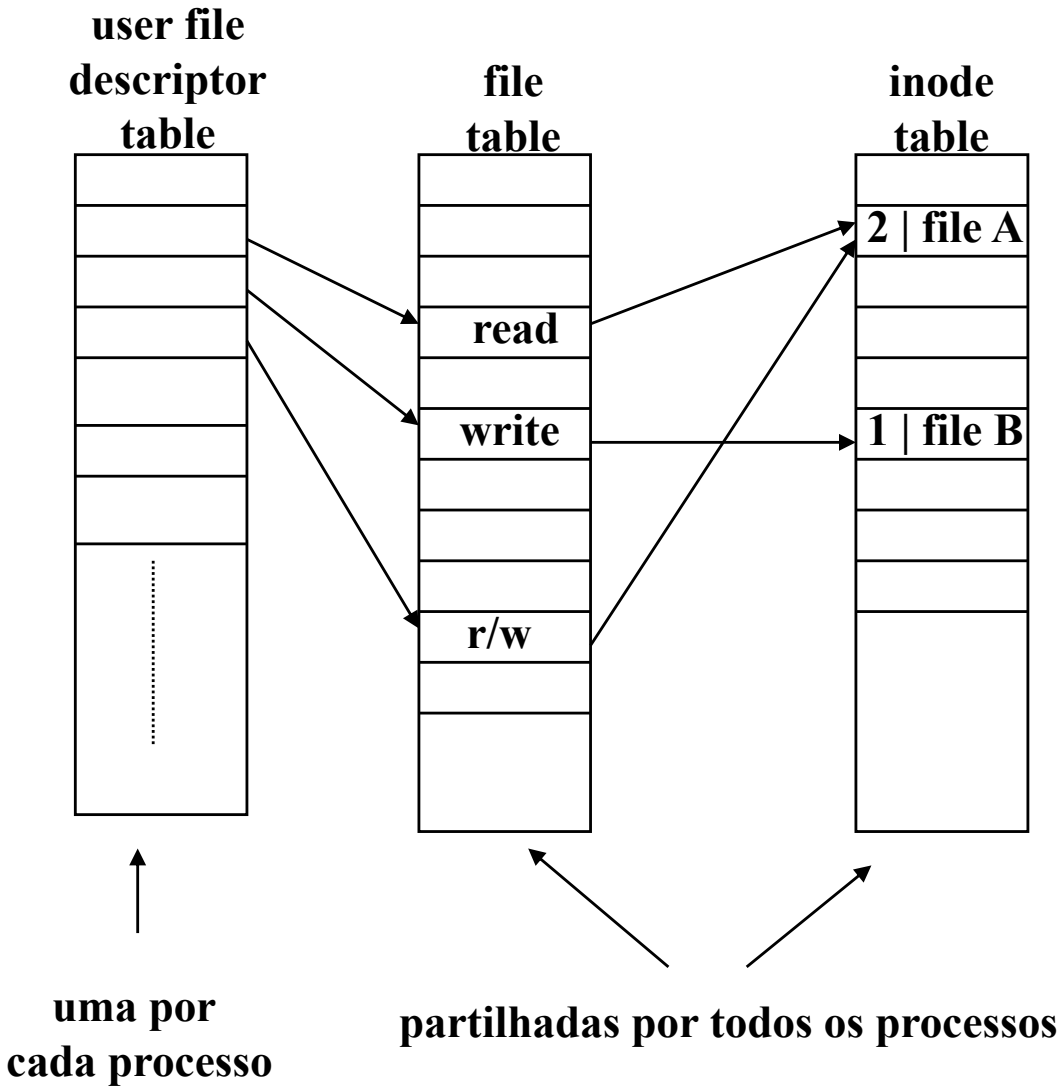
- Quando existe uma operação sobre um ficheiro já aberto, o identificador do ficheiro permite identificar na estrutura de descritores de ficheiros abertos do processo o ponteiro para o objecto que descreve o ficheiro na estrutura de ficheiros abertos global (passo ①).

- 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).

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

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 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 processos)

- Note-se que:
  - os identificadores para a tabela global estão na tabela privada que está em memória protegida, pelo que não podem ser alterados