

Algoritmos e Estruturas de Dados III

Aula 2.1 - Dispositivos de Armazenamento

2024



Roteiro do Conteúdo



2.1 Dispositivos de Armazenamento

- Memória primária x Memória secundária
- Disco Rígido x SSD
- Estrutura dos discos rígidos
- Estrutura dos SSD
- Tempo de operações

2.2 Manipulando a Memória secundária

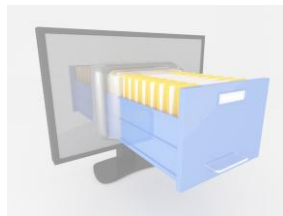
- Arquivos
- Fluxos de entrada e saída
 - Arquivos como vetores de bytes
 - CRUD
 - Implementando em JAVA

Roteiro do Conteúdo



2.1 Dispositivos de Armazenamento

- Memória primária x Memória secundária
- Disco Rígido x SSD
- Estrutura dos discos rígidos
- Estrutura dos SSD
- Tempo de operações



2.2 Manipulando a Memória secundária

- Arquivos
- Fluxos de entrada e saída
 - Arquivos como vetores de bytes
 - CRUD
 - Implementando em JAVA

Roteiro da Aula

- Dispositivos de Armazenamento
 - **Memória primária x Memória secundária**
 - Disco Rígido x SSD
 - Estrutura dos discos rígidos
 - Estrutura dos SSD
 - Tempo de operações

Hierarquia de Memória

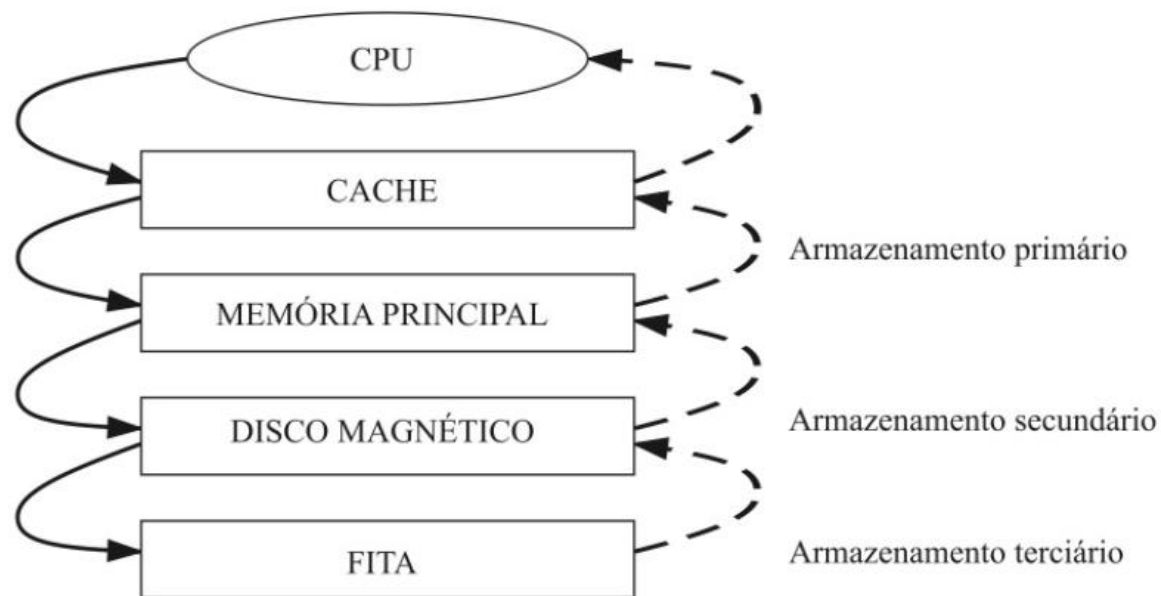


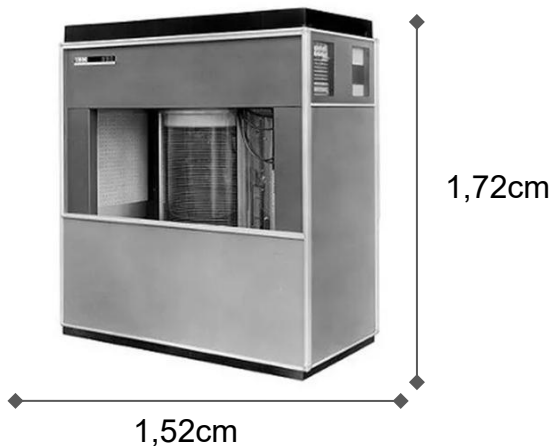
Figura 9.1 A hierarquia de memória.

Memória Secundária

A contínua evolução do hardware tem permitido que as memórias sejam cada vez:

- menores, mais rápidas, de maior capacidade e mais baratas.

RAMAC 305 - 1º HD - 1956
5 MB



Dispositivos atuais



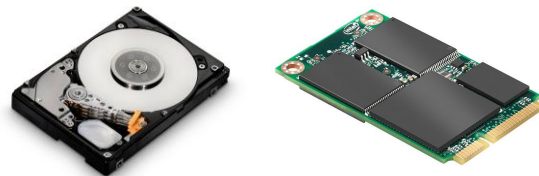
Memória Primária x Memória Secundária

Memória primária ou principal



- memória de alta velocidade
- tempo de acesso muito baixo
- custo por byte alto
- São memórias voláteis

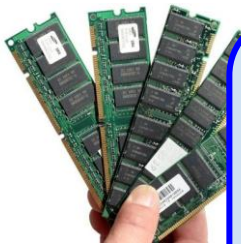
Memória secundária



- mais lenta que a primária
- tempo de acesso mais alto
- custo por byte mais baixo
- São memórias não voláteis

Memória Primária x Memória Secundária

Memória primária ou principal



Memória secundária



O custo do GB em memória RAM é aproximadamente 140 vezes superior ao custo do GB em um HDD ou SSD

Vamos calcular?

16 GB

- Preço aproximado: R\$ 450,00

HD - 2 TB

- Preço aproximado: R\$ 350,00

Memória Primária x Memória Secundária

Memória primária ou principal



Memória secundária



O custo do GB em memória RAM é aproximadamente 140 vezes superior ao custo do GB em um HDD ou SSD

Vamos calcular?

RAM - 16 GB

- Custo por GB = Preço / Capacidade GB
- Custo por GB = 450 / 16
- Custo por GB = R\$ 28,13

HD - 2 TB = 2X1024GB

- Custo por GB = Preço / Capacidade GB
- Custo por GB = 350 / 1048
- Custo por GB = R\$ 0,171

Memória Primária x Memória Secundária

Memória primária ou principal



16 GB

- Preço aproximado: R\$ 450,00

Memória secundária



SSD - 480 GB

- Preço aproximado: R\$ 260,00

Memória Primária x Memória Secundária

Memória primária ou principal



Memória secundária



O custo do GB em memória RAM é aproximadamente 140 vezes superior ao custo do GB em um HDD ou SSD

Vamos calcular?

RAM - 16 GB

- Custo por GB = Preço / Capacidade GB
- Custo por GB = 450 / 16
- Custo por GB = R\$ 28,13

SSD – 480GB

- Custo por GB = Preço / Capacidade GB
- Custo por GB = 260 / 480
- Custo por GB = R\$ 0,542

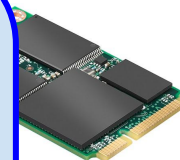
Memória Primária x Memória Secundária

Memória primária ou principal



- memória de acesso rápido
- tempo de acesso muito baixo
- custo por byte muito alto
- São memórias voláteis

Memória secundária



Quando um determinado sistema requer o **acesso e/ou a manipulação de um grande volume de dados**, que não cabem na memória primária, ele deve usar uma memória secundária para armazenamento desses dados.

- Memória de acesso mais lento que a primária
- tempo de acesso mais alto
- custo por byte muito mais baixo
- São memórias não voláteis

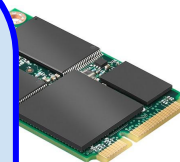
Memória Primária x Memória Secundária

Memória primária ou principal



- memória de acesso rápido
- tempo de acesso muito baixo
- custo por byte muito alto
- São memórias voláteis

Memória secundária



Além de serem dispositivos mais lentos, os discos rígidos não são acessados diretamente pela CPU, mas por meio de algum tipo de interface.

Assim, precisamos escrever **algoritmos específicos para armazenamento**.

- Memória de acesso lento
- tempo de acesso muito alto
- custo por byte muito baixo
- São memórias não voláteis

Roteiro da Aula

- Dispositivos de Armazenamento
 - Memória primária x Memória secundária
 - **Disco Rígido x SSD**
 - Estrutura dos discos rígidos
 - Estrutura dos SSD
 - Tempo de operações

Disco Rígido



Possuem partes mecânicas. Essas peças, que precisam se mover com o apoio de motores, tornam o dispositivo bem mais lento do que as placas de memória.

Não há contato entre os cabeçotes e as superfícies do disco, para evitar problemas de choque entre eles. Uma fina camada de ar os separa.

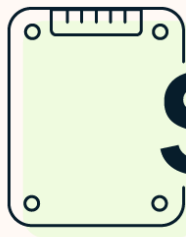
SSD

Os SSDs mais comuns no mercado possuem dois componentes fundamentais:

Memória flash: guarda todos os dados e todas as operações são feitas eletricamente.

Controlador: gerencia a troca de dados entre o computador e a memória flash. Formado por um processador que executa diversas tarefas no drive, é um dos principais responsáveis pela performance de um SSD.





SSD

vs

HDD



mais rápido	✓	✗	mais lento
menor duração	✗	✓	maior duração
mais caro	✗	✓	mais econômico
não mecânico (flash)	✓	✗	mecânico (partes móveis)
resistente a impactos	✓	✗	frágil
indicado para o armazenamento de sistemas operacionais, jogos e arquivos de uso frequente			indicado para armazenar dados adicionais, como filmes, fotos e documentos

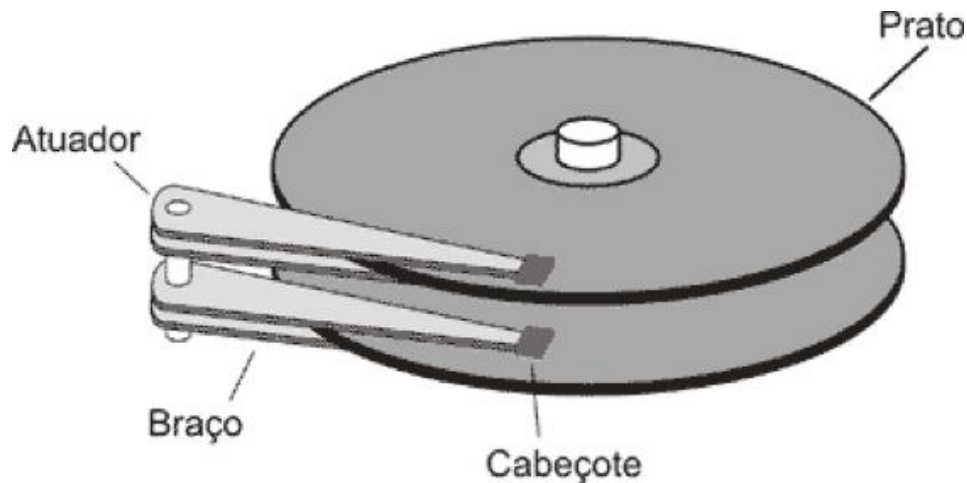
Roteiro da Aula

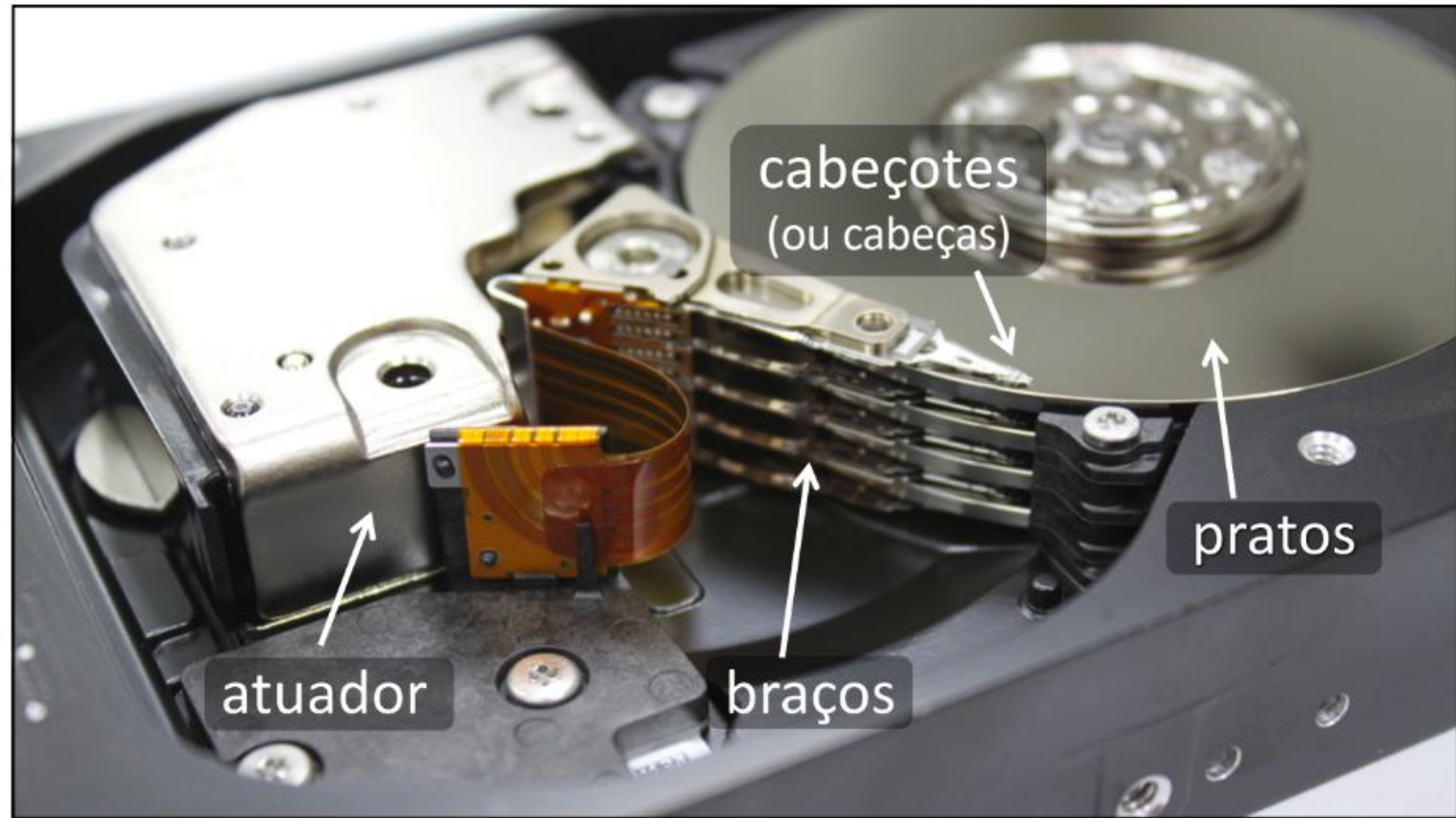
- Dispositivos de Armazenamento
 - Memória primária x Memória secundária
 - Disco Rígido x SSD
 - **Estrutura dos discos rígidos**
 - Estrutura dos SSD
 - Tempo de operações

Disco Rígido

O disco rígido é composto por:

- Pratos
- Cabeçotes
- Braços
- Atuador





Geometria do Disco Rígido

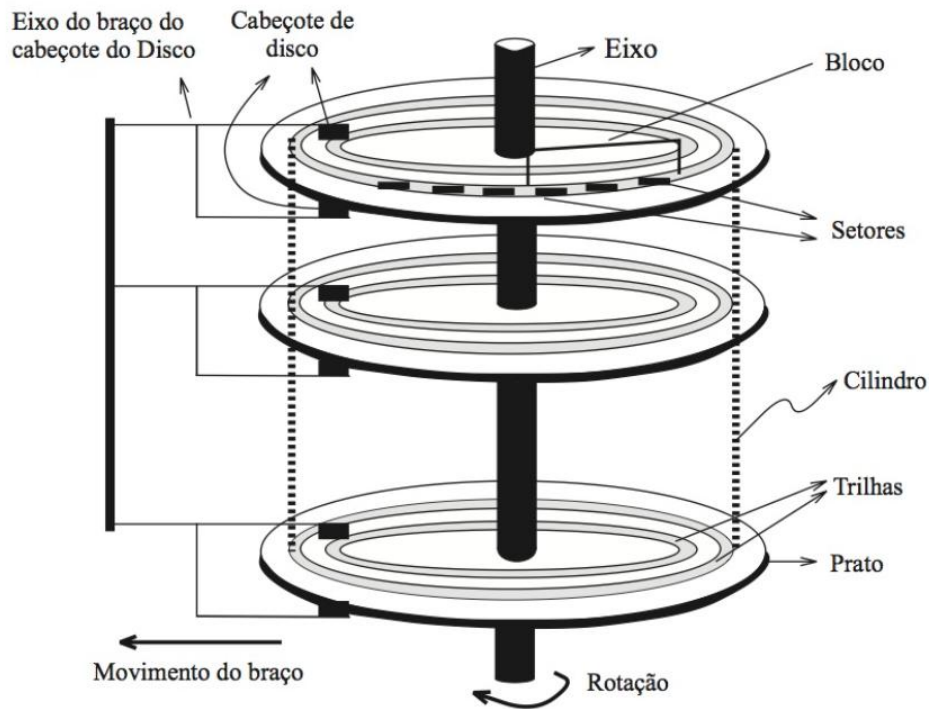
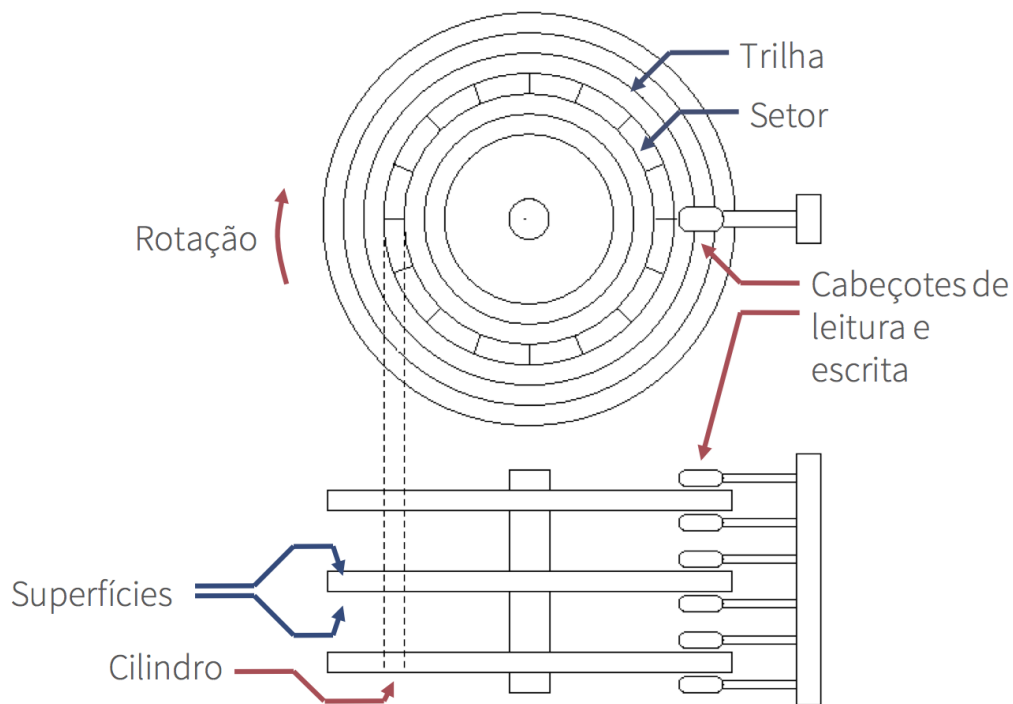


Figura 9.2 Estrutura de um disco.

Geometria do Disco Rígido

Cada prato de um disco rígido é dividido em anéis concêntricos chamados de trilhas. Cada trilha é composta por vários setores, nos quais as informações são gravadas.

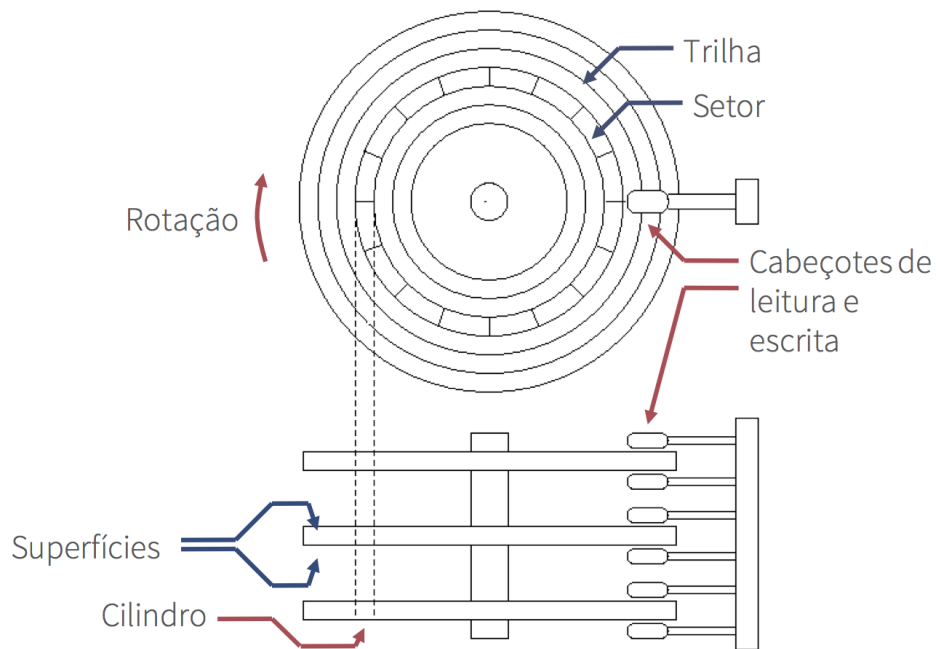


Cilindros na Geometria do Disco Rígido

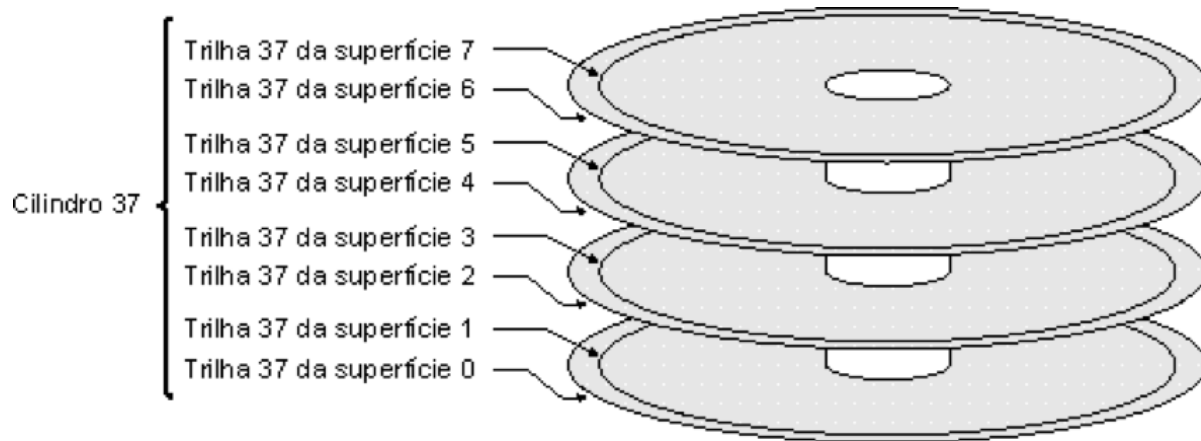
Os cabeçotes são movimentados juntos.

Quando o cabeçote da primeira superfície estiver posicionado em uma trilha, todos os outros cabeçotes também estarão nesse mesma trilha

Por causa dessa forma de operação, o conjunto de trilhas de mesma posição é chamado de cilindro.



Cilindros na Geometria do Disco Rígido



<https://animagraffs.com/hard-disk-drive/>

Organização do Setor no Disco Rígido

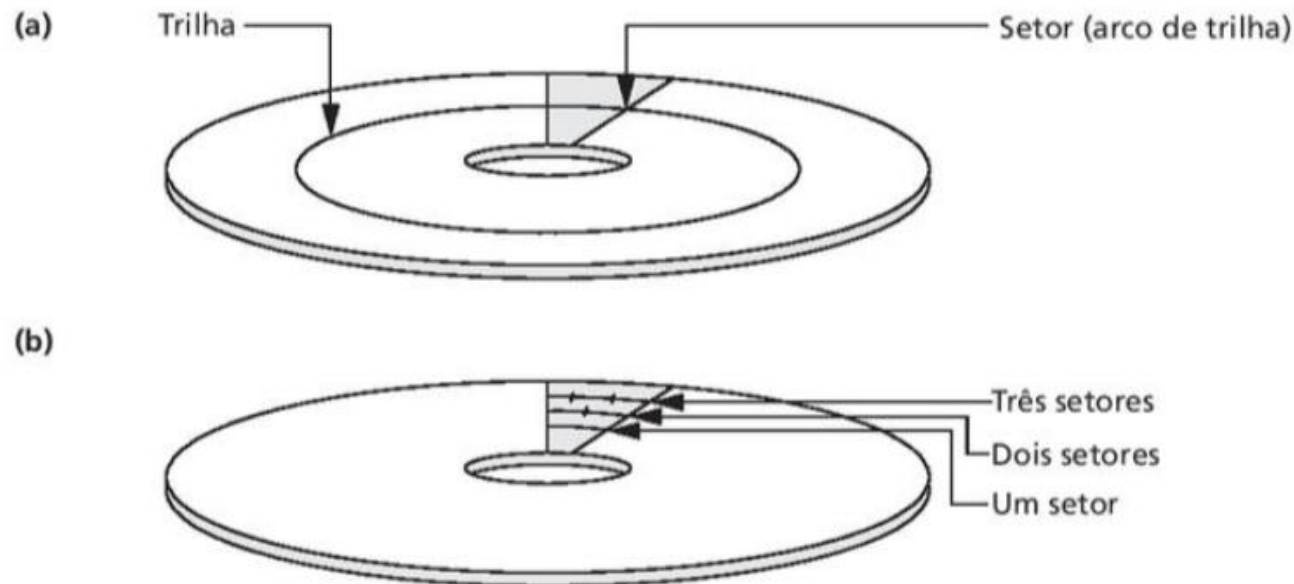
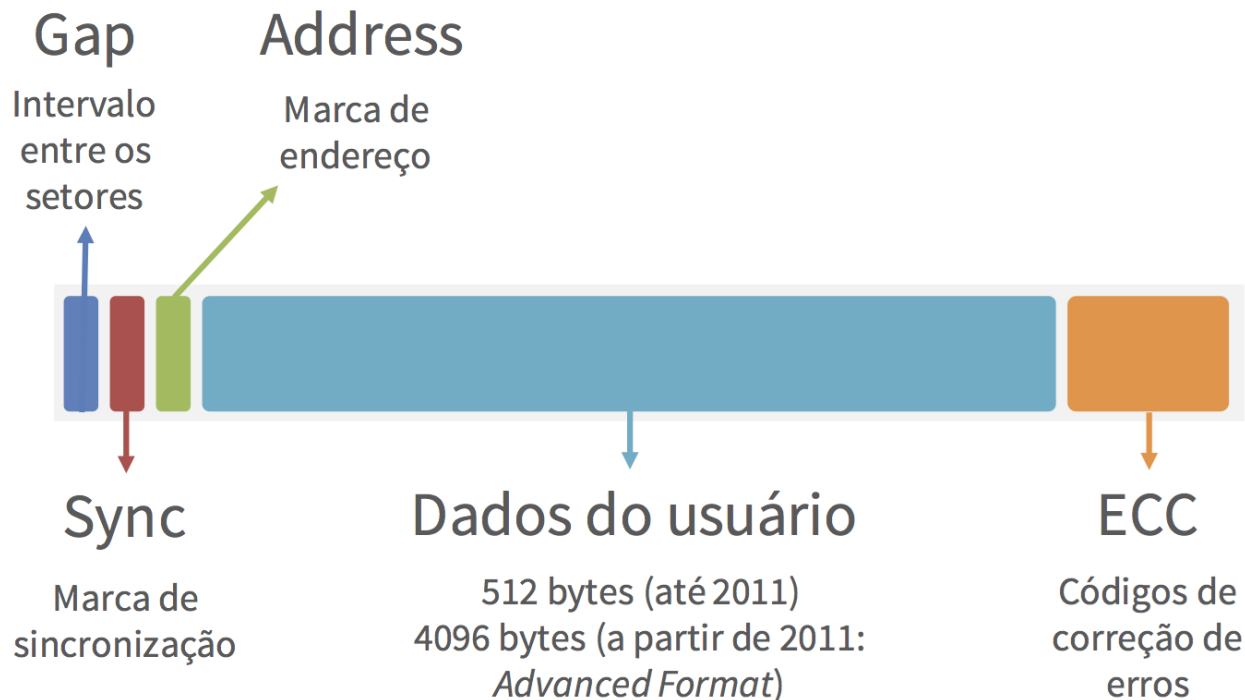


Figura 16.2 Diferentes organizações de setor no disco. (a) Setores se estendendo por um ângulo fixo. (b) Setores mantendo uma densidade de gravação uniforme.

Estrutura do Setor no Disco Rígido

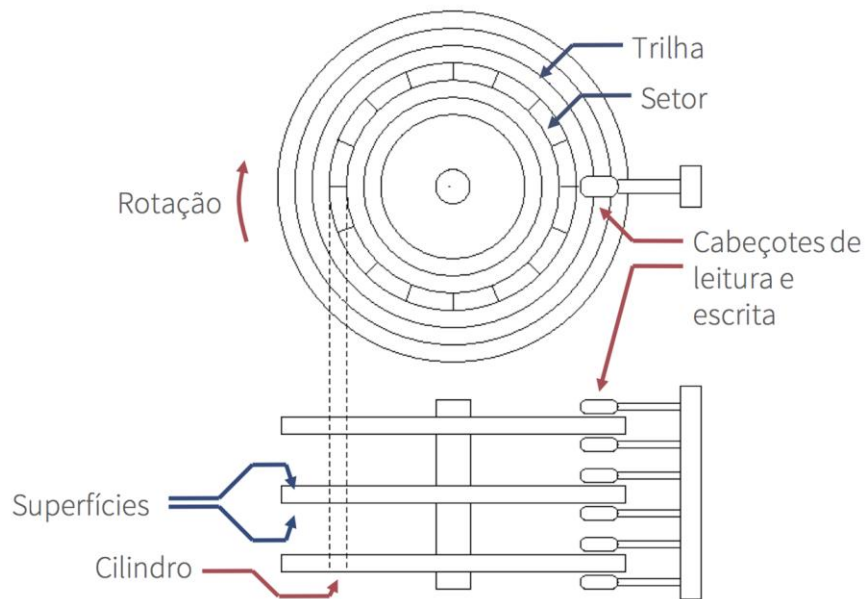


Capacidade de um disco rígido

Na antiga forma de endereçamento por CHS (Cylinders, Heads and Sectors), calculamos a capacidade do disco rígido como:

- Tamanho do setor = 512 bytes
- Tamanho da trilha = tamanho do setor * número de setores por trilha
- Tamanho do cilindro = tamanho da trilha * número de trilhas por cilindro
- Tamanho do disco = tamanho do cilindro * número de cilindros

E se considerarmos, por exemplo, um disco cuja geometria seja 63 setores por trilha, 16 cabeçotes e 1060 cilindros, teríamos?

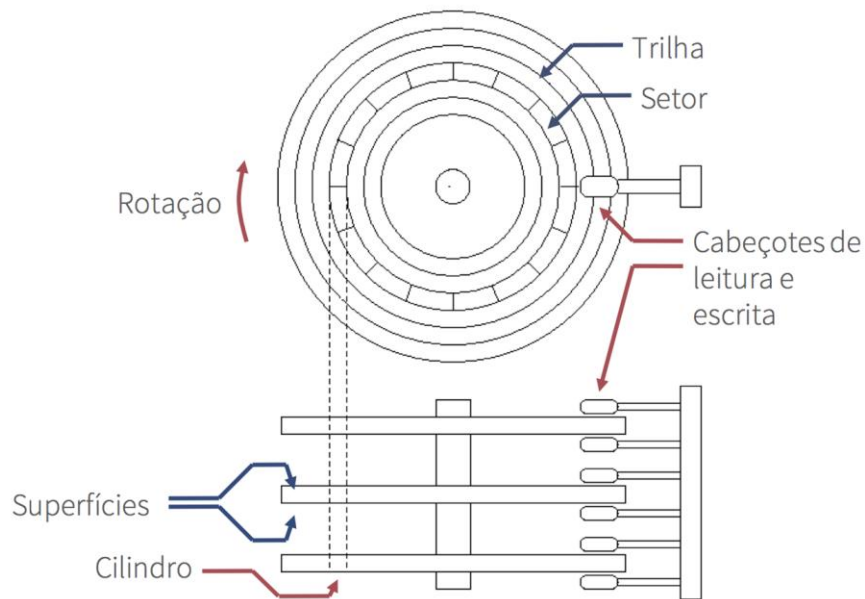


Capacidade de um disco rígido

Na antiga forma de endereçamento por CHS (Cylinders, Heads and Sectors), calculamos a capacidade do disco rígido como:

- Tamanho do setor = 512 bytes
- Tamanho da trilha = tamanho do setor * número de setores por trilha = **32.256 B**
- Tamanho do cilindro = tamanho da trilha * número de trilhas por cilindro = **516.096 B**
- Tamanho do disco = tamanho do cilindro * número de cilindros = **547.061.760 B**

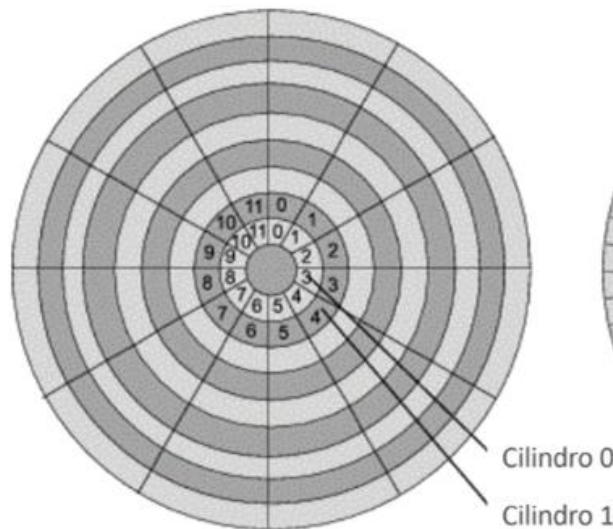
E se considerarmos, por exemplo, um disco cuja geometria seja 63 setores por trilha, 16 cabeçotes e 1060 cilindros, teríamos?



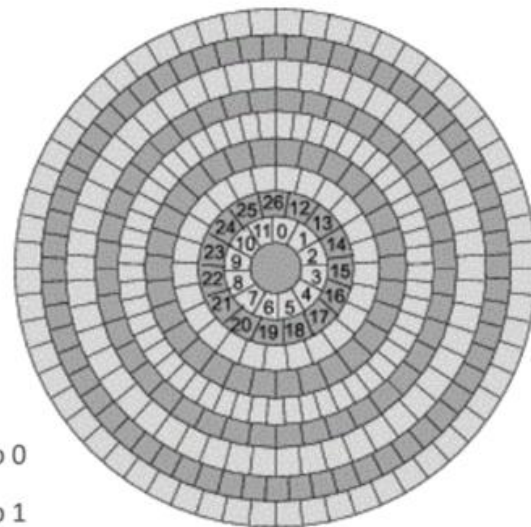
Endereçamento no Disco Rígido

Um cilindro não existe fisicamente, é usado na forma de endereçamento de setores conhecida como CHS (Cylinders, Heads and Sectors).

Essa forma de endereçamento deixou de ser usada passando apenas por um número sequencial.



Endereçamento CHS



Endereçamento LBA

Endereçamento de Blocos Lógicos

O modo de endereçamento chamado de LBA (Logical Block Addressing) se tornou o padrão utilizado por fabricantes de discos há vários anos. O LBA endereça os setores através de um número sequencial, iniciado em zero. Assim, cada setor possui um número único, independente do cilindro, da superfície ou da posição na trilha em que esteja.

É possível fazer um mapeamento entre os modos de endereçamento CHS e LBA, por meio da seguinte fórmula:

$$\text{LBA} = (C \times \text{MAX_H} + H) \times \text{MAX_S} + (S - 1)$$

C, H e S são, respectivamente, cilindros (C), cabeçotes (H) e setores (S),

MAX_H é o número máximo de cabeçotes por cilindro e

MAX_S é o número máximo de setores por trilha.

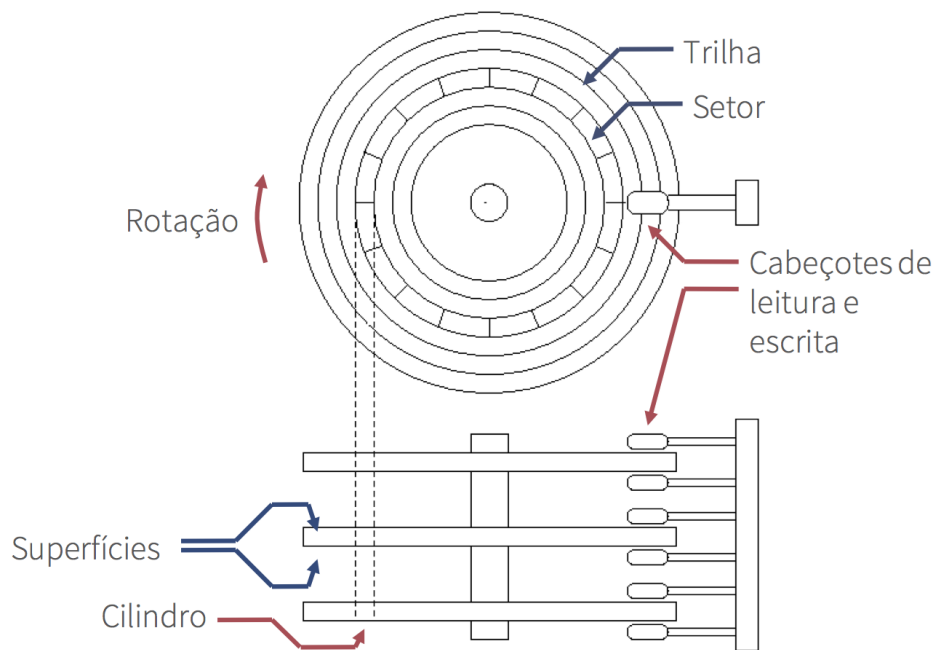
Endereçamento de Blocos Lógicos

O disco rígido é um gargalo do computador e é o seu desempenho que define, de uma forma geral, o desempenho geral dos sistemas (já que programas e dados estão armazenados em disco).

Obviamente, esse impacto é maior nos programas que acessam mais arquivos em disco, pois a CPU executa mais de um milhão de instruções enquanto o disco rígido executa um único acesso aleatório.

Leitura e escrita no Disco Rígido

A leitura ou escrita são feitos através da transferência dos dados armazenados nas trilhas já acessíveis em todas as superfícies, antes de qualquer movimento mecânico.





Tempo da operação em disco



Tempo de acesso

Tempo necessário para o cabeçote ser posicionado no setor desejado.



Tempo de busca

Tempo para posicionamento no cilindro correto. Em média, corresponde a $\frac{2}{3}$ do tempo máximo.



Latência rotacional

Tempo para posicionamento no setor correto. Em média, corresponde a $\frac{1}{2}$ rotação.



Tempo de transferência

Tempo de leitura ou escrita dos dados em disco. Depende da velocidade de rotação do disco e da densidade de dados da mídia.

taxa transferência =

$$\frac{\text{nº setores por trilha} * \text{tamanho do setor}}{60 / \text{velocidade em RPM}}$$

Eventualmente é necessário considerar o tempo de mudança de cabeçote e o tempo de mudança de cilindro.

Reforçando

- **Latência rotacional:** é o tempo gasto para localizar o setor ao qual se quer ter acesso.
- **Tempo de busca:** é o tempo gasto para a cabeça de leitura/gravação se posicionar na trilha correta.
- **Tempo de transferência:** é o tempo gasto para a migração dos dados da memória secundária para a memória principal.

Tempo de acesso: busca + latência + transferência

Casos

- 1) O que ocorre quando um arquivo é acessado sequencialmente, e o arquivo está armazenado em vários cilindros consecutivos?

o tempo do seek é reduzido

- 1) O que ocorre quando dois arquivos, localizados em extremos opostos do disco (um no cilindro mais externo, e outro no mais interno), são acessados alternadamente?

o tempo do seek é alto. Isso se torna mais crítico ainda em ambientes multiusuário.

Exemplo

Considere um disco cuja geometria seja de 1060 cilindros, 16 cabeçotes e 63 setores por trilha, sendo cada setor de 512 bytes.

Considere também:

- tempo médio de busca do disco rígido = **13,5 ms**
- latência rotacional média = **6,7 ms**
- velocidade rotacional = **4.500 RPM**
- tempo de mudança de cabeçote = **1 ms**
- tempo de mudança de cilindro = **2,5 ms**
- Qual o tempo de leitura de um arquivo de 10 MB (20.480 setores)?

Exemplo 1 - Setores separados

Exemplo 1 - Setores separados

- Tempo médio de busca por setor (seek): 13,5 ms
- Latência rotacional média: 6,7 ms
- Taxa de transferência:

$$\frac{\text{nº setores por trilha} \times \text{tamanho do setor}}{60/\text{RPM}} = \frac{63 \times 512}{60/4500} = 2.419.200 \text{ bytes/s}$$

- Tempo para transferir 1 setor:

$$\frac{512 \text{ bytes}}{2.419.200 \text{ bytes/s}} = 0,0002116 \text{ s} = 0,2116 \text{ ms (arredondado para 0,2 ms)}$$

- Tempo total por setor:

$$13,5 \text{ ms} + 6,7 \text{ ms} + 0,2 \text{ ms} = 20,4 \text{ ms}$$

- Tempo total para 20.480 setores:

$$20.480 \times 20,4 \text{ ms} = 417,8 \text{ s}$$

Exemplo 2 – Blocos de 8 setores

Exemplo 2 – Blocos de 8 setores

- Tempo médio de busca por bloco (seek): 13,5 ms
- Latência rotacional média: 6,7 ms
- Taxa de transferência (mesma do exemplo anterior):

$$\frac{\text{nº setores por trilha} \times \text{tamanho do setor}}{60/\text{RPM}} = \frac{63 \times 512}{60/4500} = 2.419.200 \text{ bytes/s}$$

- Tempo para transferir 8 setores (1 bloco):

$$\frac{8 \times 512 \text{ bytes}}{2.419.200 \text{ bytes/s}} = 0,001692928 \text{ s} = 1,693 \text{ ms (arredondado para } 1,7 \text{ ms)}$$

- Tempo total por bloco:

$$13,5 \text{ ms} + 6,7 \text{ ms} + 1,7 \text{ ms} = 21,9 \text{ ms}$$

- Tempo total para 2.560 blocos (20.480 / 8 setores):

$$2.560 \times 21,9 \text{ ms} = 56,064 \text{ s (arredondado para } 56,1 \text{ s)}$$

Exemplo 3 – Todos setores contíguos

Exemplo 3 – Todos setores contíguos

- Taxa de transferência:

$$\frac{\text{nº setores por trilha} \times \text{tamanho do setor}}{60/\text{RPM}} = \frac{63 \times 512}{60/4500} = 2.419.200 \text{ bytes/s}$$

- Tempo para transferir todos os 20.480 setores:

$$\frac{20.480 \times 512 \text{ bytes}}{2.419.200 \text{ bytes/s}} = 4,3344 \text{ s} = 4334,4 \text{ ms}$$

- Tempo para mudanças de cabeçote:

- Setores por cilindro:

$$16 \text{ cabeçotes} \times 63 \text{ setores} = 1008 \text{ setores por cilindro}$$

- Número de cilindros lidos:

$$\frac{20.480}{1008} \approx 20,32 \text{ cilindros}$$

- Mudanças de cabeçote:

$$16 \text{ trilhas por cilindro} \times 20,32 \approx 325 \text{ mudanças}$$

- Tempo total de mudanças de cabeçote:

$$325 \times 1 \text{ ms} = 325,0 \text{ ms}$$

- Tempo de mudança de 20 cilindros:

$$20 \times 2,5 \text{ ms} = 50 \text{ ms}$$

- Tempo total:

$$4334,4 \text{ ms} + 325,0 \text{ ms} + 50 \text{ ms} = 4709,4 \text{ ms} \approx 4,7 \text{ s}$$

Resumo Exemplos

Exemplo 1: Setores Separados: 417.8 segundos – alta fragmentação

Exemplo 2: Blocos de 8 setores: 56.1 segundos - agrupamento

Exemplo 3: Setores Contíguos: 4.7 segundos - sequencial