

Armazenamento e Indexação

Banco de Dados: Teoria e Prática

André Santanchè

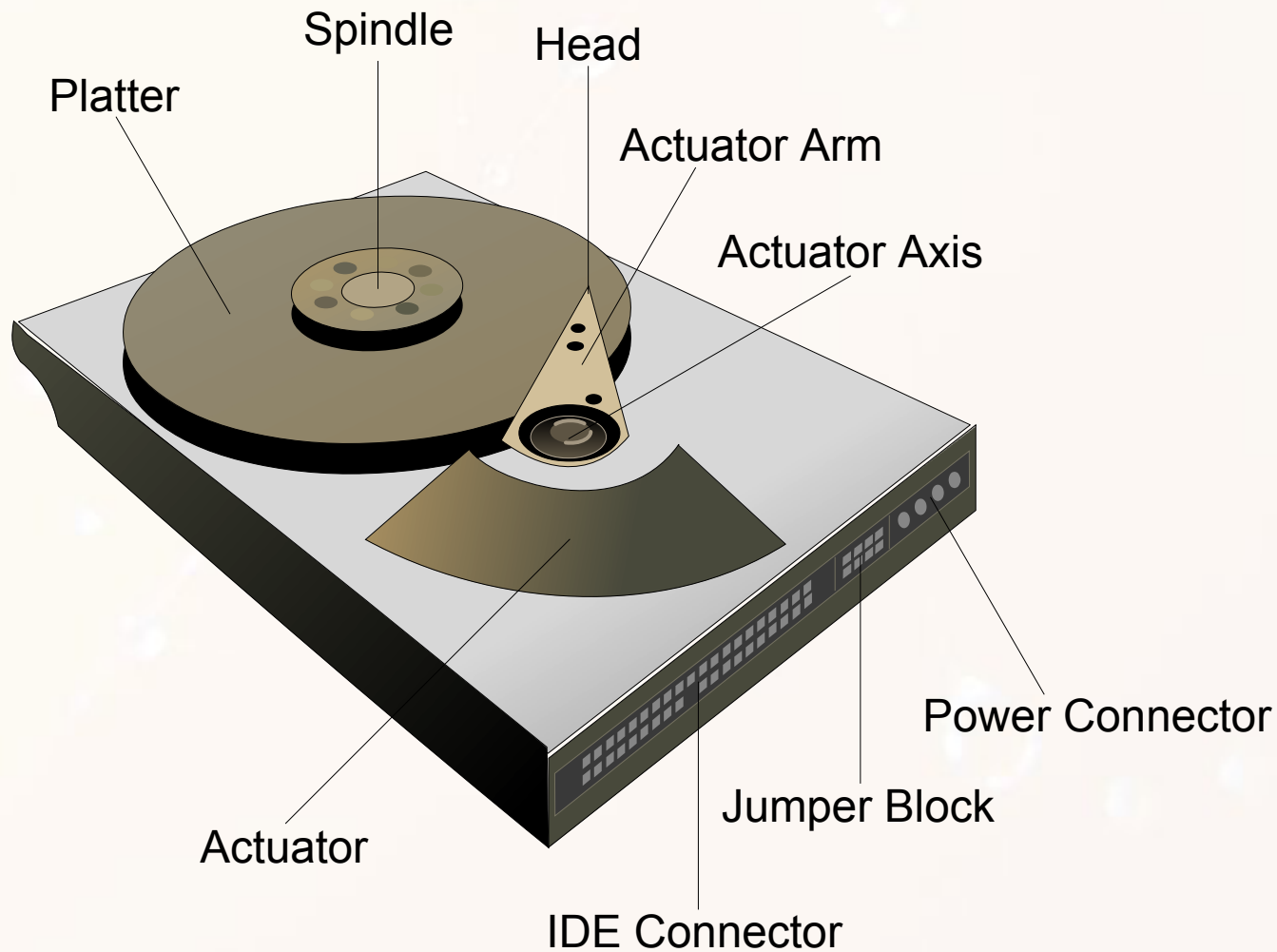
Instituto de Computação - UNICAMP

Outubro 2012

Recomendações de Leitura

- (Silberschatz, 2006, cap. 11)
- (Ramakrishnan, 2003, cap. 8)
- (Elmasri, 2011, cap. 11 e 12)

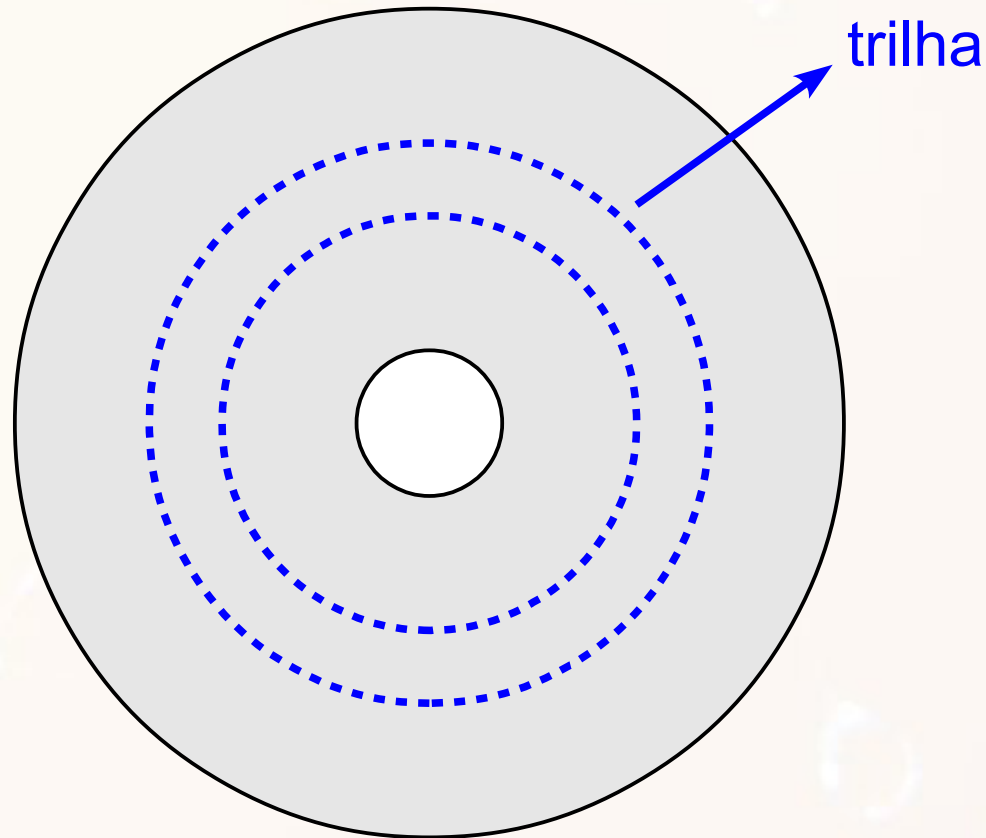
Estrutura do Disco



By Surachit [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=File:Hard_drive-en.svg]

Estrutura do Disco

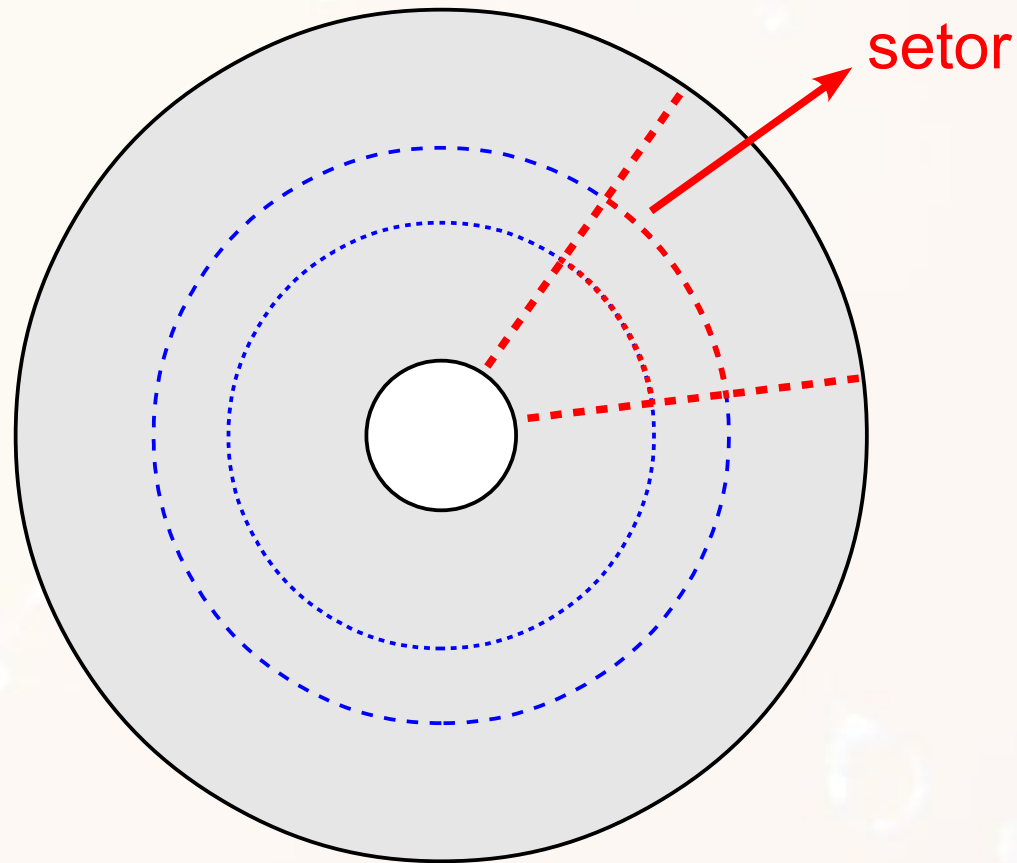
Trilha



- Círculos magnéticos sobre a superfície
- Local onde são armazenados os dados

Estrutura do Disco

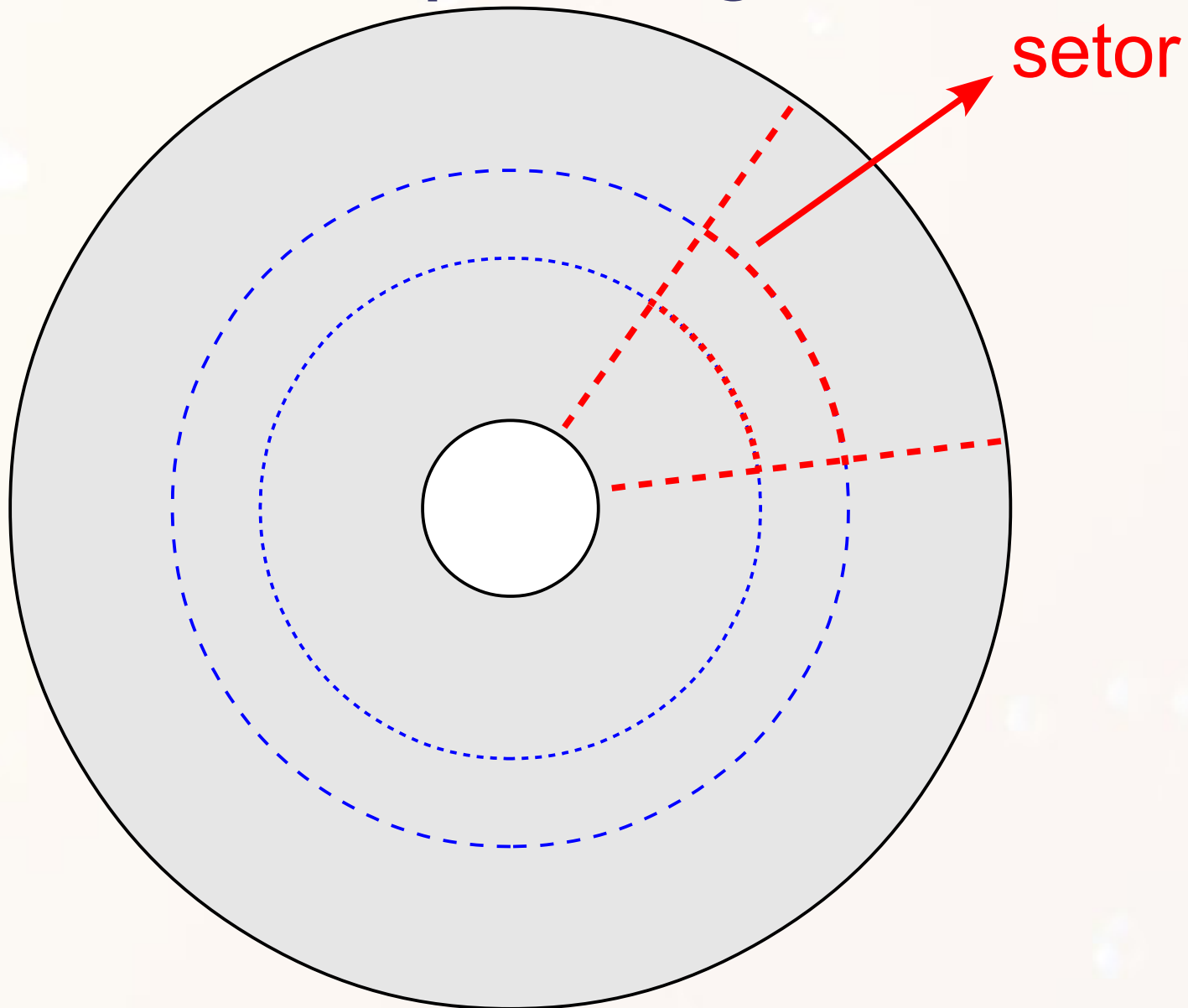
Setor



- Unidades de divisão da trilha
- Menor unidade de leitura/gravação

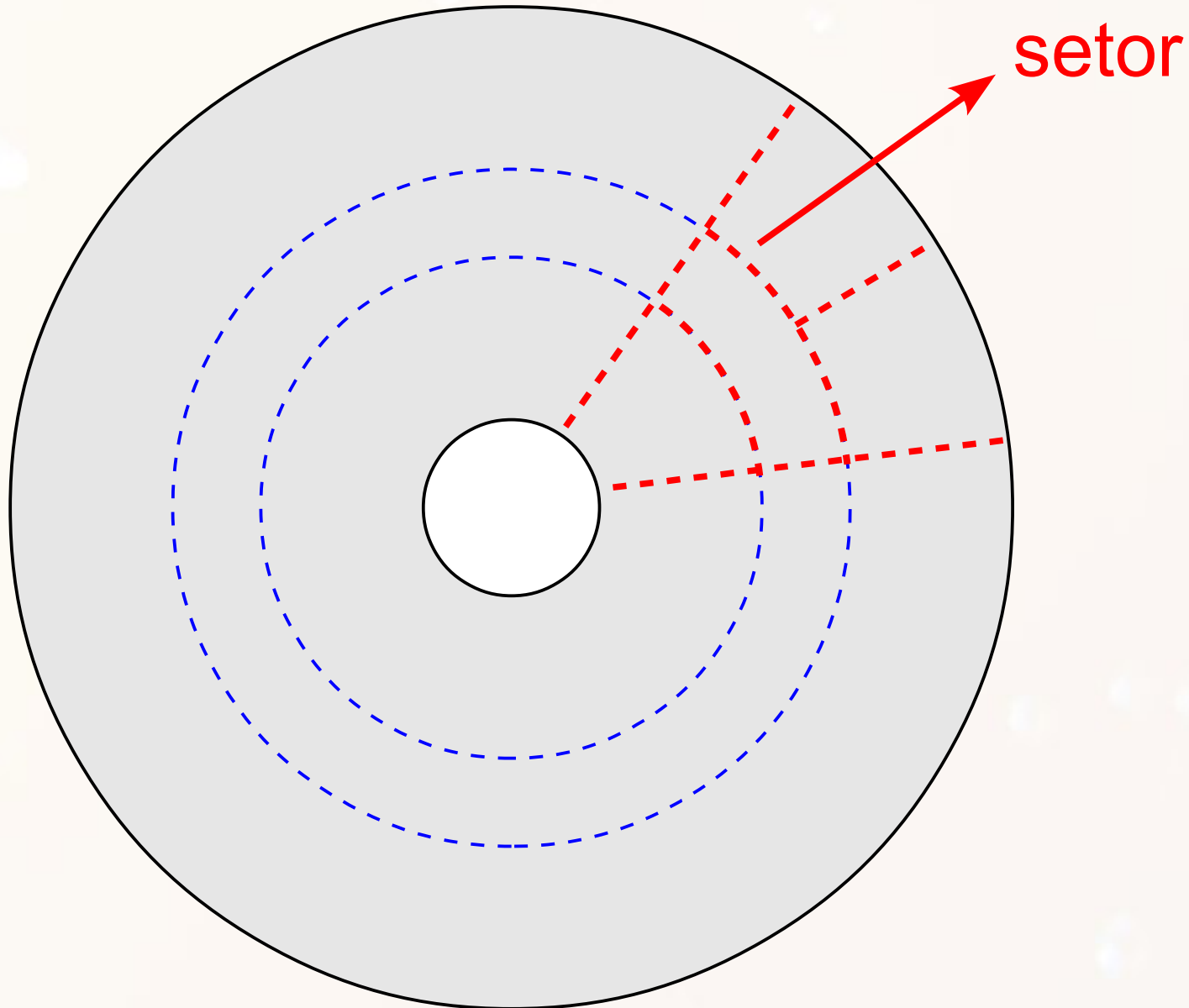
Setor

Divisão por Ângulo Fixo



Setor

Divisão por Densidade Constante



Organização de Arquivos

- Heap
 - sem ordenação
 - gravação em qualquer posição
- Sequencial
 - gravação em ordem sequencial
- Hash
 - uso de função de hash

(Silberschatz, 2006)

Hashing

função
hash

buckets

1234 Quincas

9876 Doriana

6543 Asdrúbal

1

...

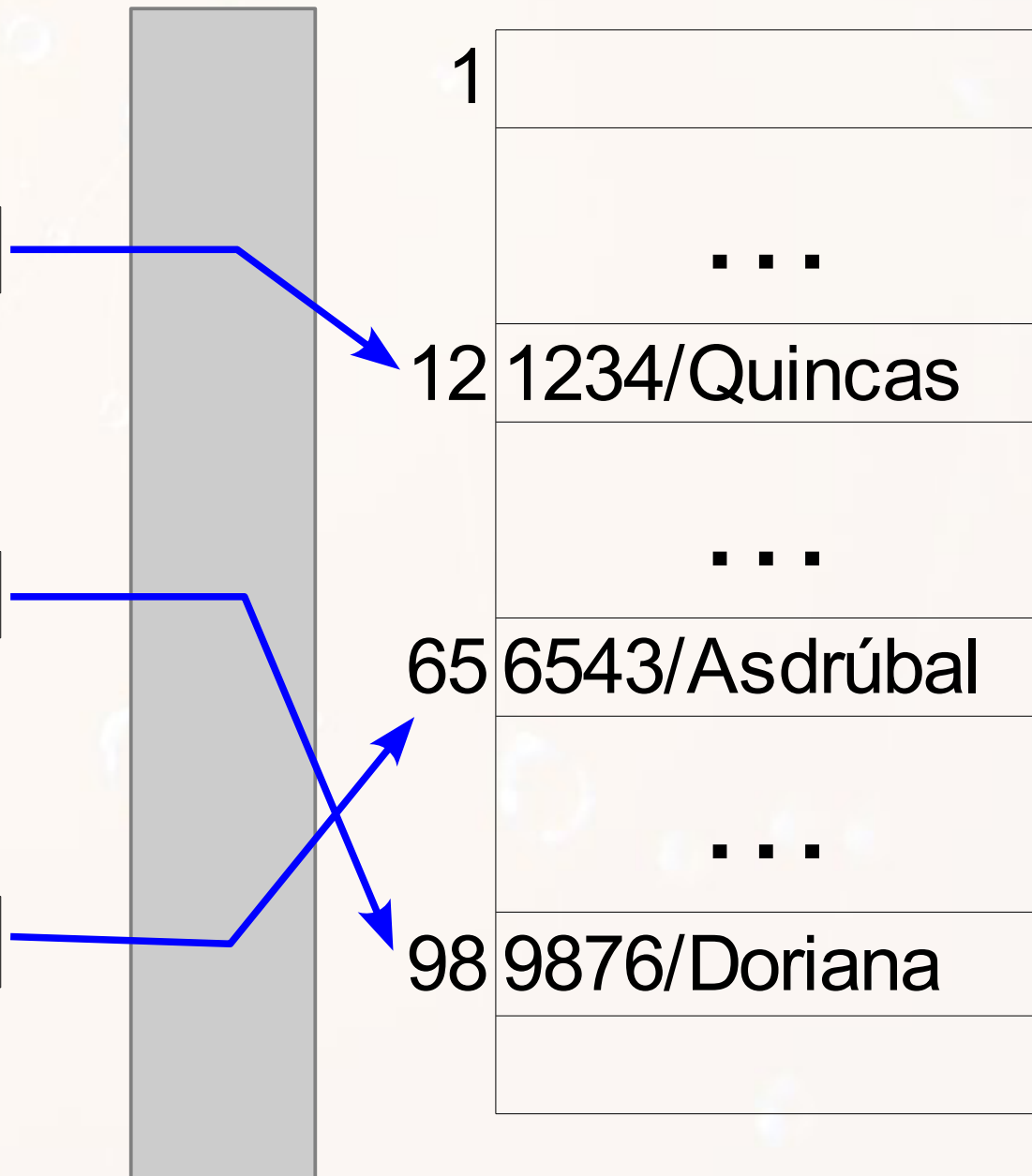
12 1234/Quincas

...

65 6543/Asdrúbal

...

98 9876/Doriana



função
hash

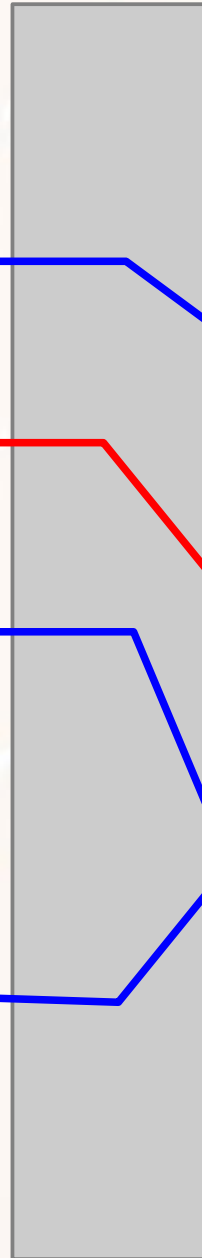
buckets

1234 Quincas

6500 Lucinda

9876 Doriana

6543 Asdrúbal



1

...

12 1234/Quincas

...

65 6543/Asdrúbal

...

98 9876/Doriana

função
hash

buckets

1234 Quincas

6500 Lucinda

9876 Dorianana

6543 Asdrúbal

1

...

12 1234/Quincas

...

65 6543/Asdrúbal 6500/Lucinda

...

98 9876/Dorianana

função hash

buckets

1234 Quincas

6500 Lucinda

9876 Doriana

6543 Asdrúbal

000

001

010

011

100

101

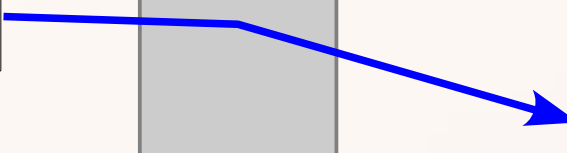
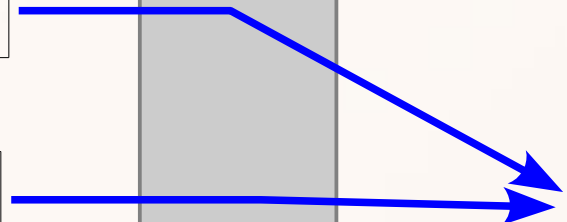
110

111

1234/Quincas

9876/Doriana 6500/Lucinda

6543/Asdrúbal



Hashing Extensível

função hash

buckets

1234 Quincas

6500 Lucinda

9876 Dorianana

6543 Asdrúbal

000	
001	
010	
011	
100	
101	
110	
111	

d'=2

d'=2

d'=2

d'=2

1234/Quincas

9876/Dorianana 6500/Lucinda

6543/Asdrúbal

função hash

buckets

1234 Quincas

6500 Lucinda

9876 Doriana

8500 Dóris

6543 Asdrúbal

000	
001	
010	
011	
100	
101	
110	
111	

d'=2

d'=2

d'=2

d'=2

1234/Quincas

9876/Doriana	6500/Lucinda
----/Zandor	----/Alcebíades
----/Melissa	----/Bonerges

6543/Asdrúbal

função hash

buckets

1234 Quincas

6500 Lucinda

9876 Doriana

8500 Dóris

6543 Asdrúbal

000

001

010

011

100

101

110

111

d'=2

d'=2

d'=3

d'=3

d'=2

1234/Quincas

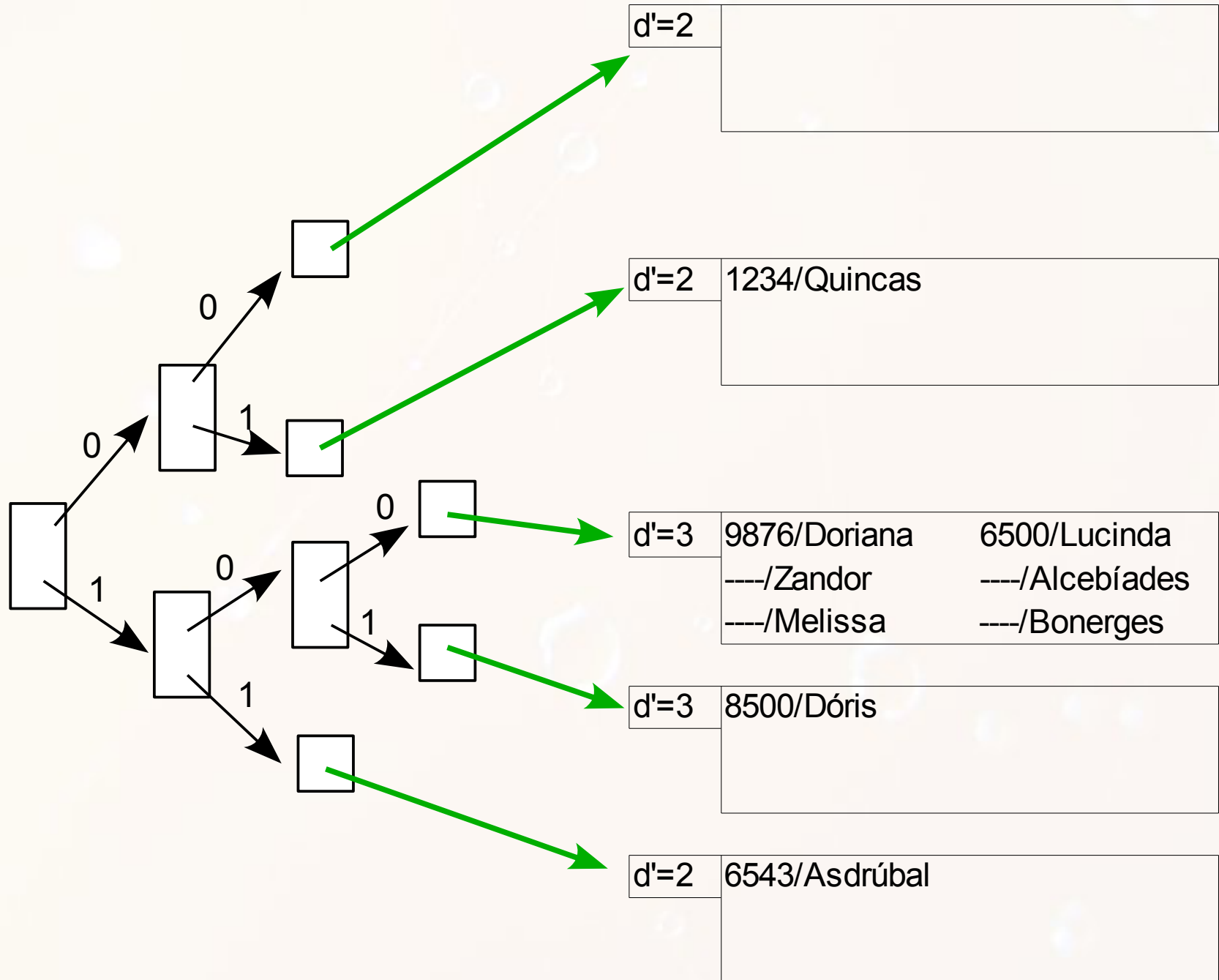
9876/Doriana 6500/Lucinda
----/Zandor ----/Alcebíades
----/Melissa ----/Bonerges

8500/Dóris

6543/Asdrúbal

Hashing Dinâmico

buckets



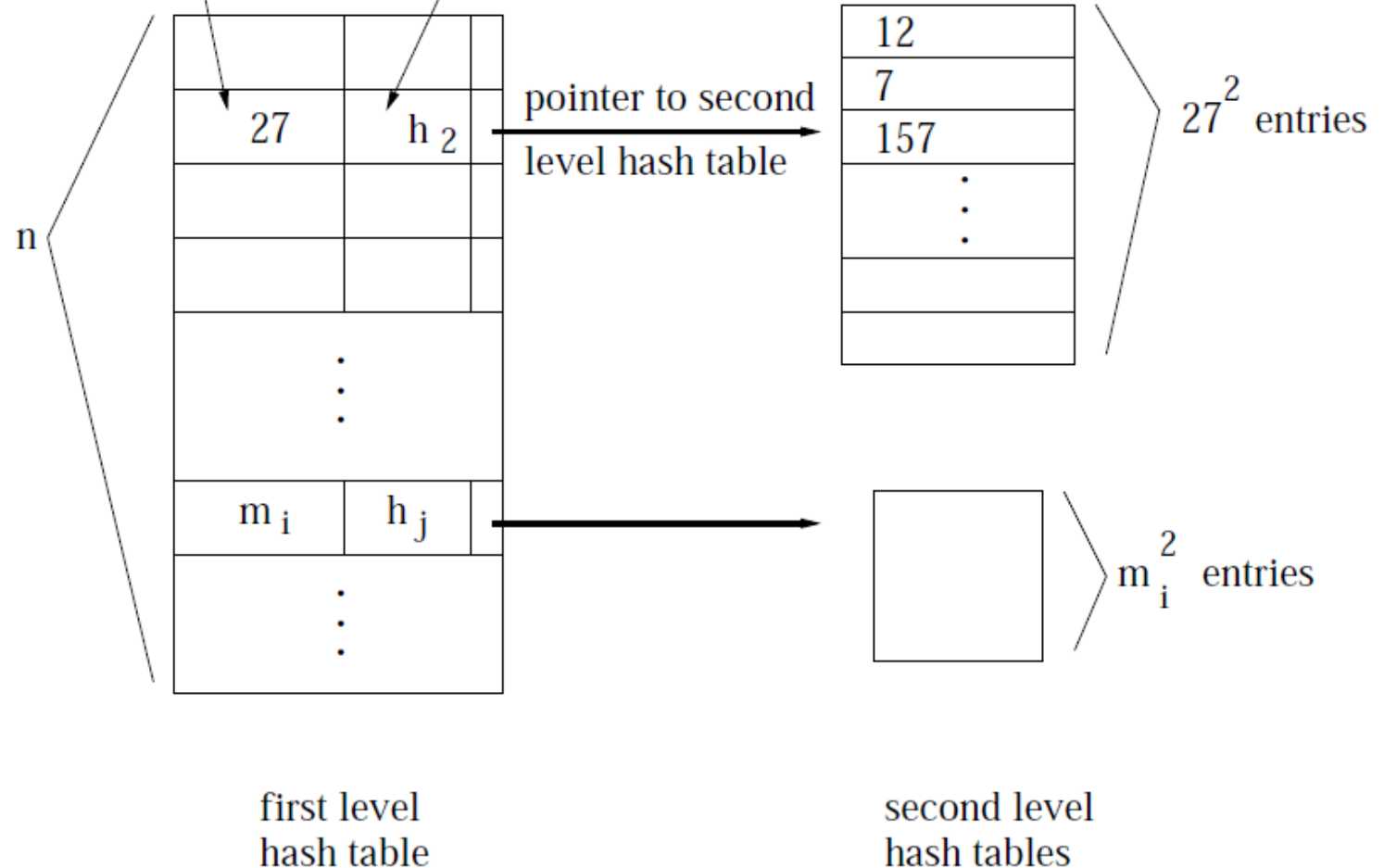
Índice de Hash

Índice Mapa de Bits

Perfect Hashing

how many elements hash to this slot

a hash function from family H



(Demaine, 2003)

Arquivos e Indexação

- Entrada de índice (*data entry*) → registros armazenados em um índice
 - entrada de índice: k^*
 - chave: k
 - Alternativas para k^*
 - (1) registro completo de chave k
 - (2) $(k, \text{rid}) \rightarrow \text{rid} = \text{id do registro de chave } k$
 - (3) $(k, \text{rid-list}) \rightarrow \text{rid-list} = \text{lista de registros de chave } k$
- (Ramakrishnan, 2003)

Índice Único

- Índice cujas chaves não tem duplicatas

Índices de Agrupamento (Clustering)

- chave de busca (índice) => ordem dos registros (arquivo)
- modelo (1): k^* é o registro de dados

Índices Primários e Secundários

- Índice primário
 - índice de agrupamento com chave primária
 - índice único
- Índice secundário
 - índice de não agrupamento
 - índice não necessariamente único

Índices Densos e Esparsos

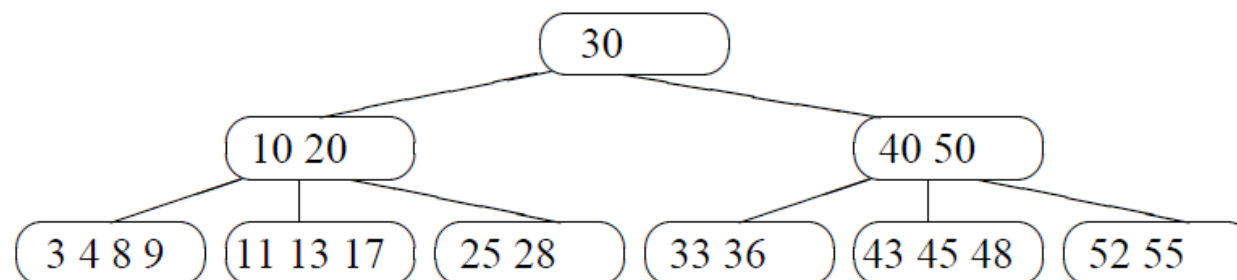
- Denso
 - um registro associado a cada entrada do índice
- Esparso
 - mais de um registro associado a cada entrada do índice

Índices Multiníveis

Árvores B

Árvores B

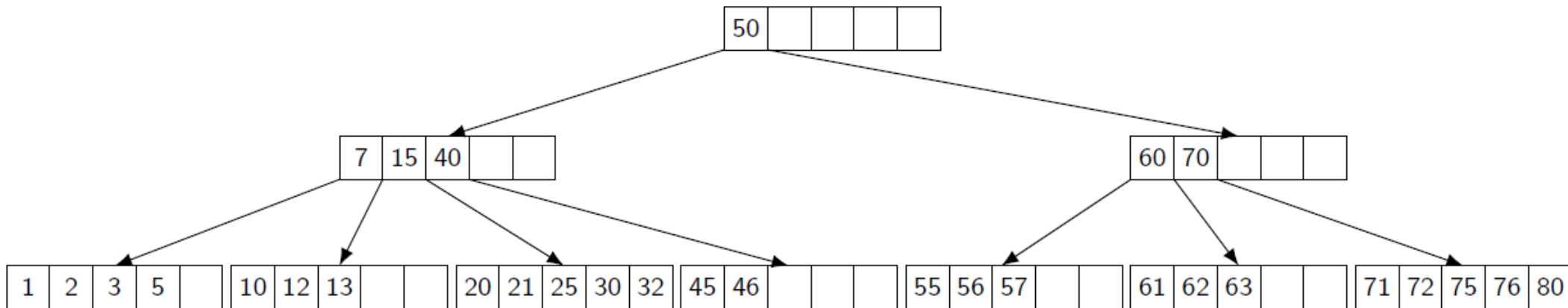
- Árvores n -árias: mais de um registro por nodo.
- Em uma árvore B de ordem m :
 - página raiz: 1 e $2m$ registros.
 - demais páginas: no mínimo m registros e $m + 1$ descendentes e no máximo $2m$ registros e $2m + 1$ descendentes.
 - páginas folhas: aparecem todas no mesmo nível.
- Registros em ordem crescente da esquerda para a direita.
- Extensão natural da árvore binária de pesquisa.
- Árvore B de ordem $m = 2$ com três níveis:



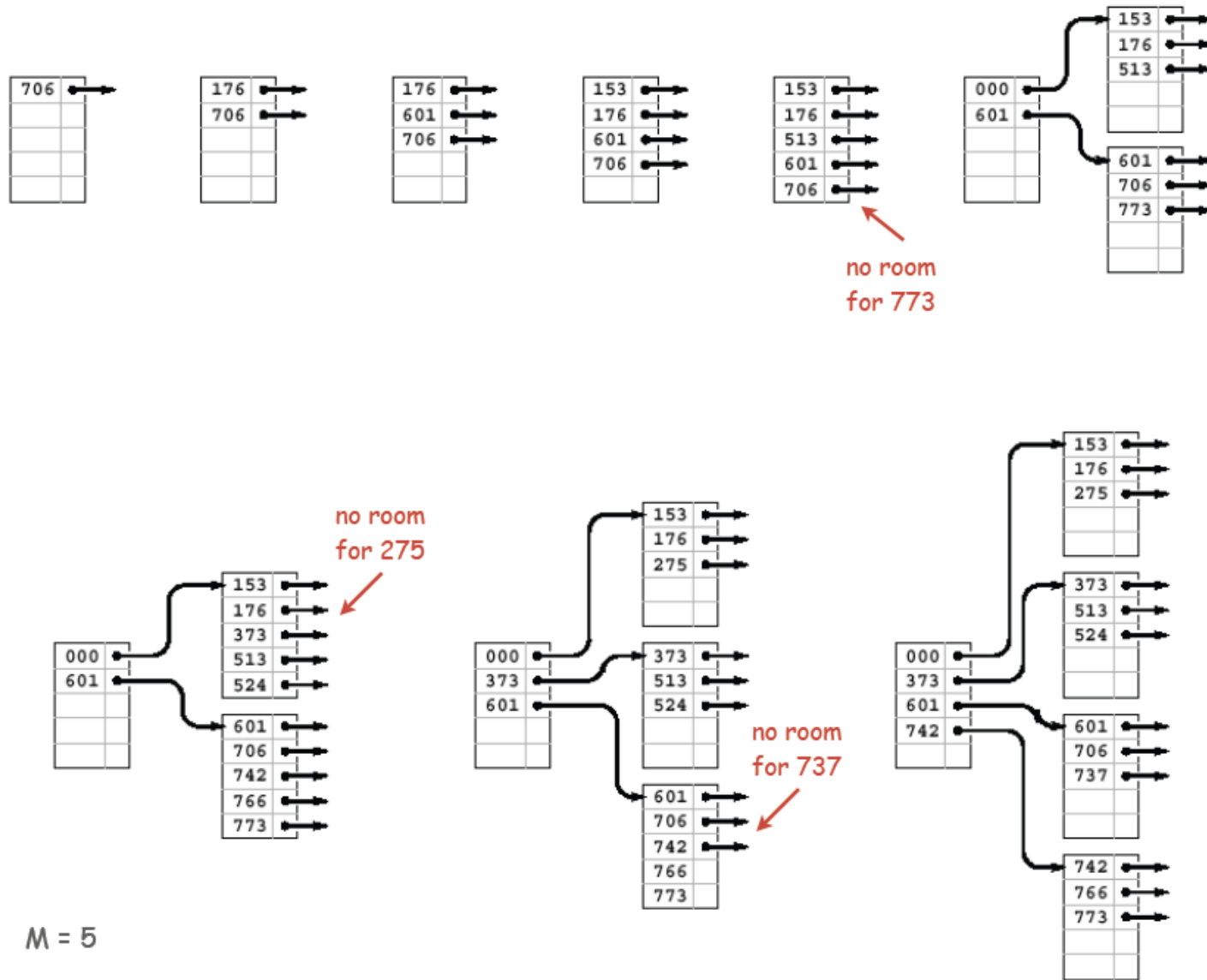
(Almeida, 2010)

Exemplo de árvore B de ordem 5

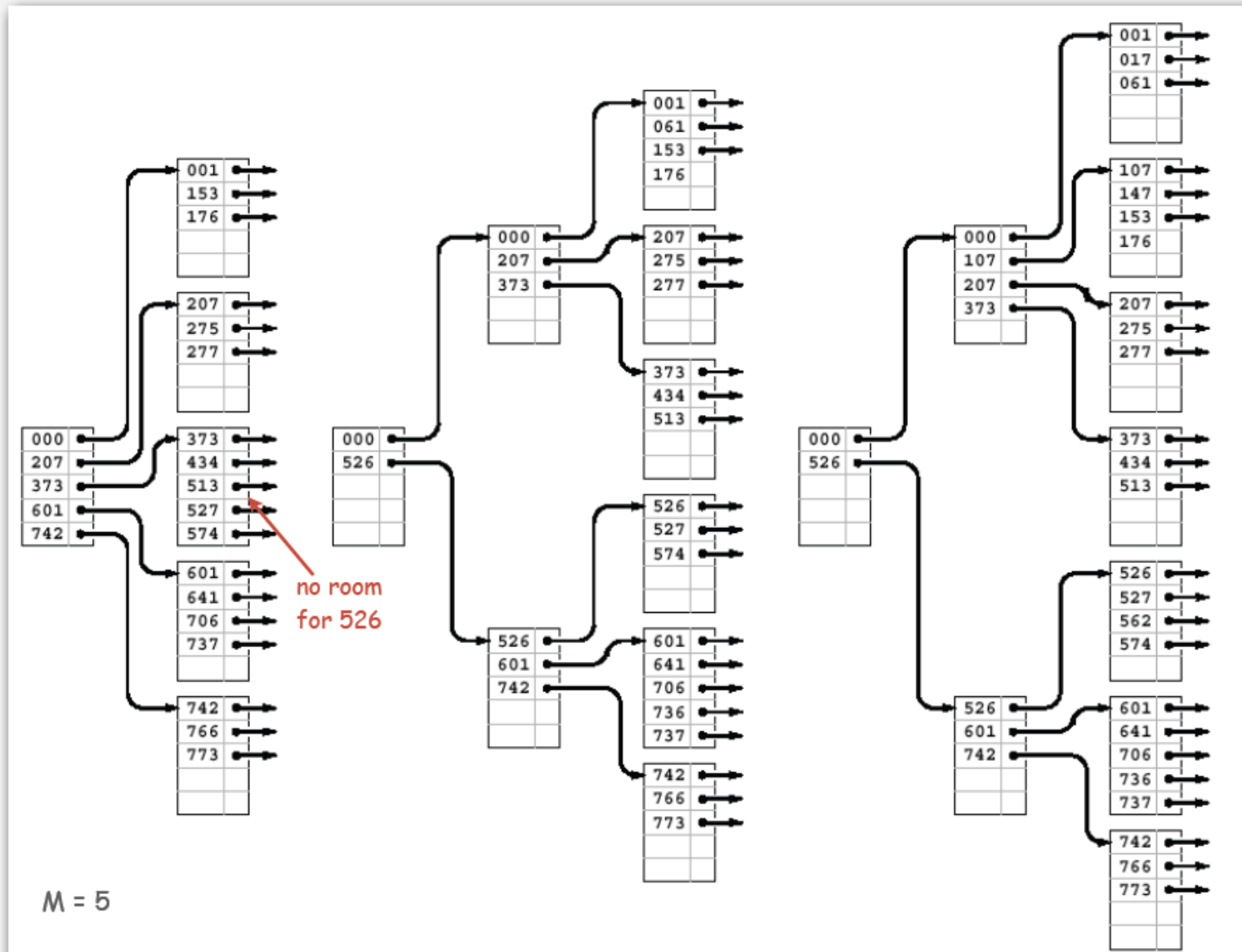
Neste caso, cada nó tem no mínimo dois e no máximo cinco registros de informação.



B-Tree Example



B-Tree Example (cont)



Números mínimos e máximos de registros

Árvore B de ordem 255:

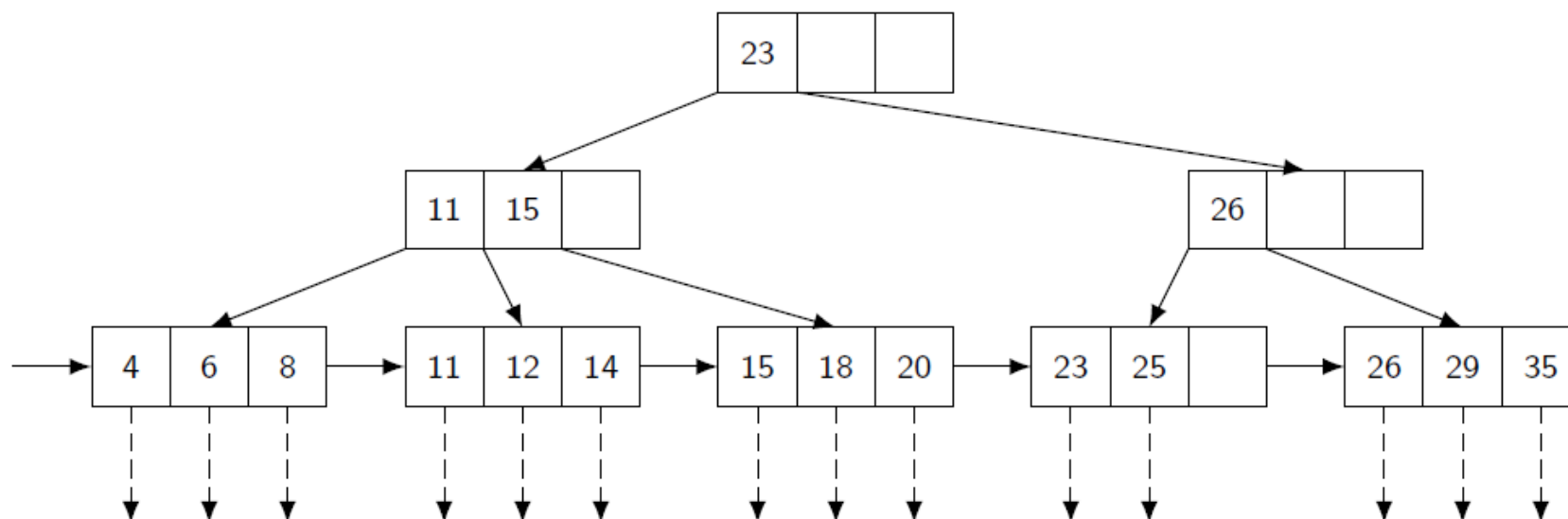
nível	mínimo		máximo	
	nós	registros	nós	registros
1	1	1	1	1×255
2	2	2×127	256^1	$256^1 \times 255$
3	2×128^1	$2 \times 128^1 \times 127$	256^2	$256^2 \times 255$
4	2×128^2	$2 \times 128^2 \times 127$	256^3	$256^3 \times 255$
5	2×128^3	$2 \times 128^3 \times 127$	256^4	$256^4 \times 255$
Total	4.227.331	536.870.911	4.311.810.305	1.099.511.627.775

Variantes de árvores B

- ▶ Árvores B*: o número de registros ocupados de um nó é no mínimo $\frac{2}{3}$ da sua capacidade.
- ▶ Árvores B⁺:
 - ▶ nós internos com chaves apenas para orientar o percurso
 - ▶ pares (*chave, valor*) apenas nas folhas
 - ▶ regra de descida:
 - ▶ subárvore esquerda: menor
 - ▶ subárvore direita: maior ou igual
 - ▶ apontadores em lugar de valores tornando mais eficiente a movimentação dos registros durante inserções e remoções
 - ▶ ligações facilitando percurso em ordem de chaves

Variantes de árvores B (cont.)

Exemplo de árvore B^+ de ordem 3:



Setas tracejadas indicam apontadores para os valores da informação. A lista ligada das folhas permite percurso simples e eficiente em ordem de chaves.

Referências

- Almeida, Charles Ornelas , Guerra, Israel; Ziviani, Nivio (2010) **Projeto de Algoritmos** (transparências aula).
- Demaine, Erik. 6.897: Advanced Data Structures - Lecture 2 (notas de aula). Fevereiro, 2003.
- Elmasri, Ramez; Navathe, Shamkant B. (2005) **Sistemas de Bancos de Dados**. Addison-Wesley, 4ª edição em português.
- Elmasri, Ramez; Navathe, Shamkant B. (2011) **Sistemas de Bancos de Dados**. Addison-Wesley, 6ª edição em português.

Referências

- Ramakrishnan, Raghu; Gehrke, Johannes (2003) **Database Management Systems**. McGraw-Hill, 3rd edition.
- Sedgewick, Robert; Wayne, Kevin (2008) Princeton University: **Algorithms**. Maio, 2008.
- Silberschatz, Abraham; Korth, Henry F.; Sudarshan, S. (2006) **Sistema de Banco de Dados**. Elsevier, Tradução da 5a edição.

André Santanchè

<http://www.ic.unicamp.br/~santanche>

Licença

- Estes slides são concedidos sob uma Licença Creative Commons. Sob as seguintes condições: Atribuição, Uso Não-Comercial e Compartilhamento pela mesma Licença.
- Mais detalhes sobre a referida licença Creative Commons veja no link:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Fotografia da capa e fundo por
<http://www.flickr.com/photos/fdecomite/>
Ver licença específica em
<http://www.flickr.com/photos/fdecomite/1457493536/>

Armazenamento e Indexação

Banco de Dados: Teoria e Prática

André Santanchè

Instituto de Computação - UNICAMP

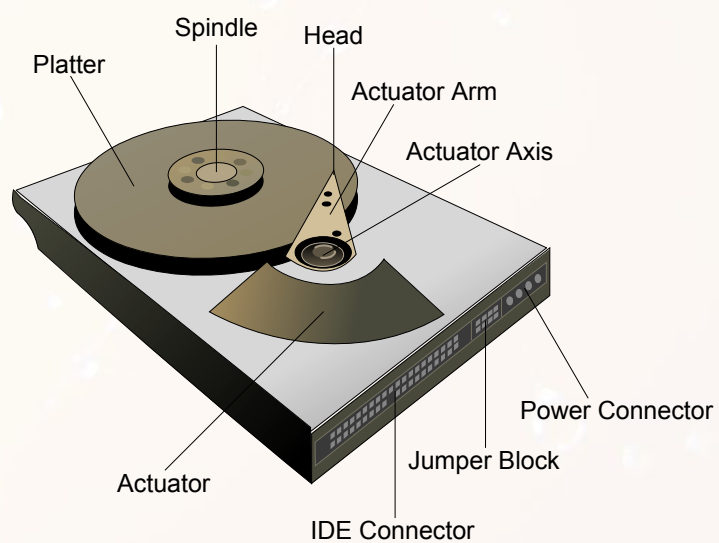
Outubro 2012

Picture by <http://www.flickr.com/photos/fdecomite/1457493536/>

Recomendações de Leitura

- (Silberschatz, 2006, cap. 11)
- (Ramakrishnan, 2003, cap. 8)
- (Elmasri, 2011, cap. 11 e 12)

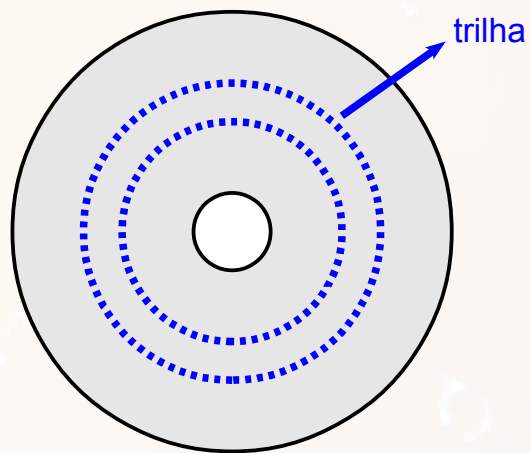
Estrutura do Disco



By Surachit [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=File:Hard_drive-en.svg]

Estrutura do Disco

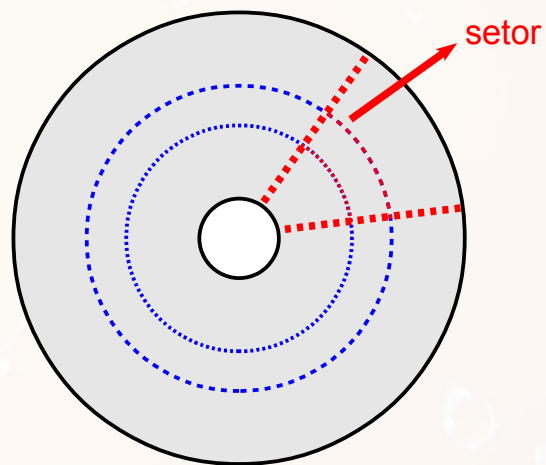
Trilha



- Círculos magnéticos sobre a superfície
- Local onde são armazenados os dados

Estrutura do Disco

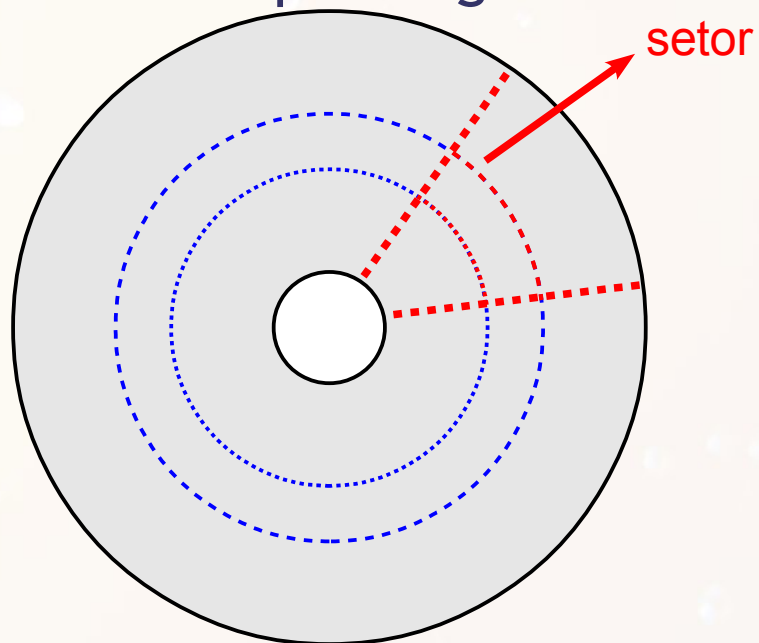
Setor



- Unidades de divisão da trilha
- Menor unidade de leitura/gravação

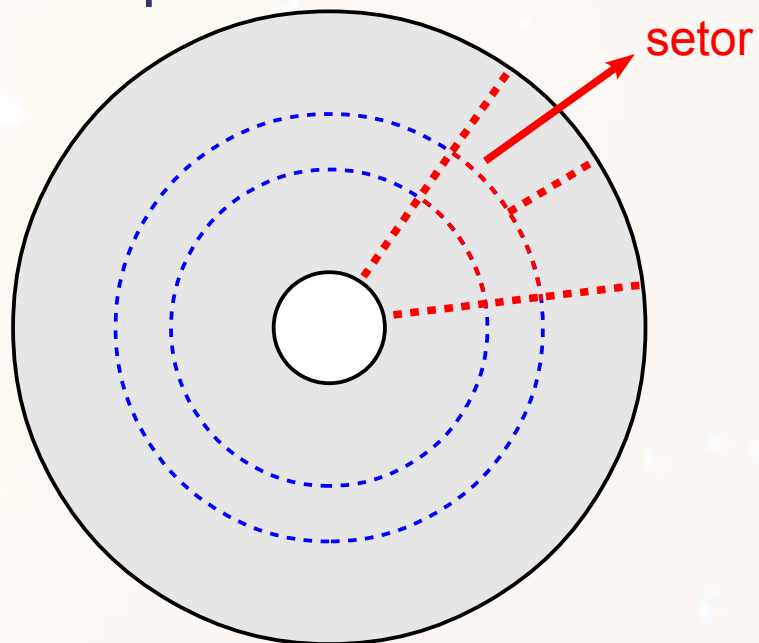
Setor

Divisão por Ângulo Fixo



Setor

Divisão por Densidade Constante

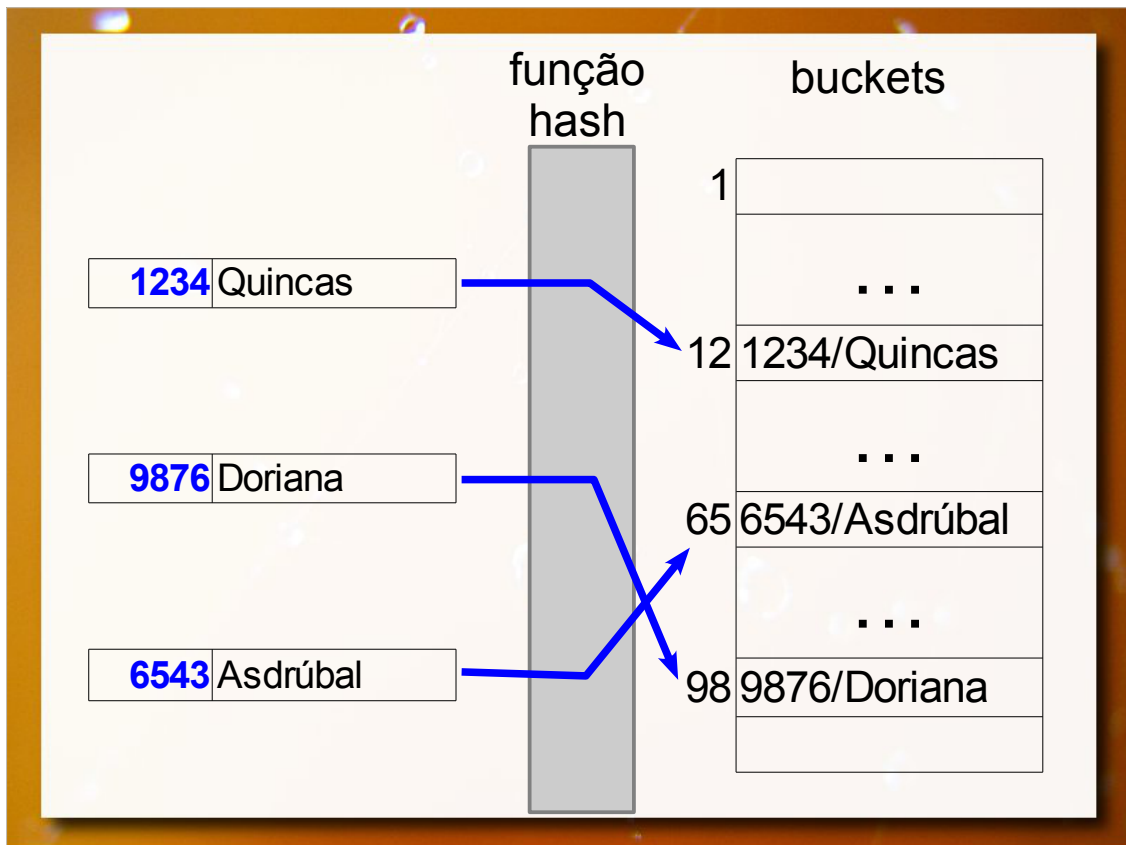


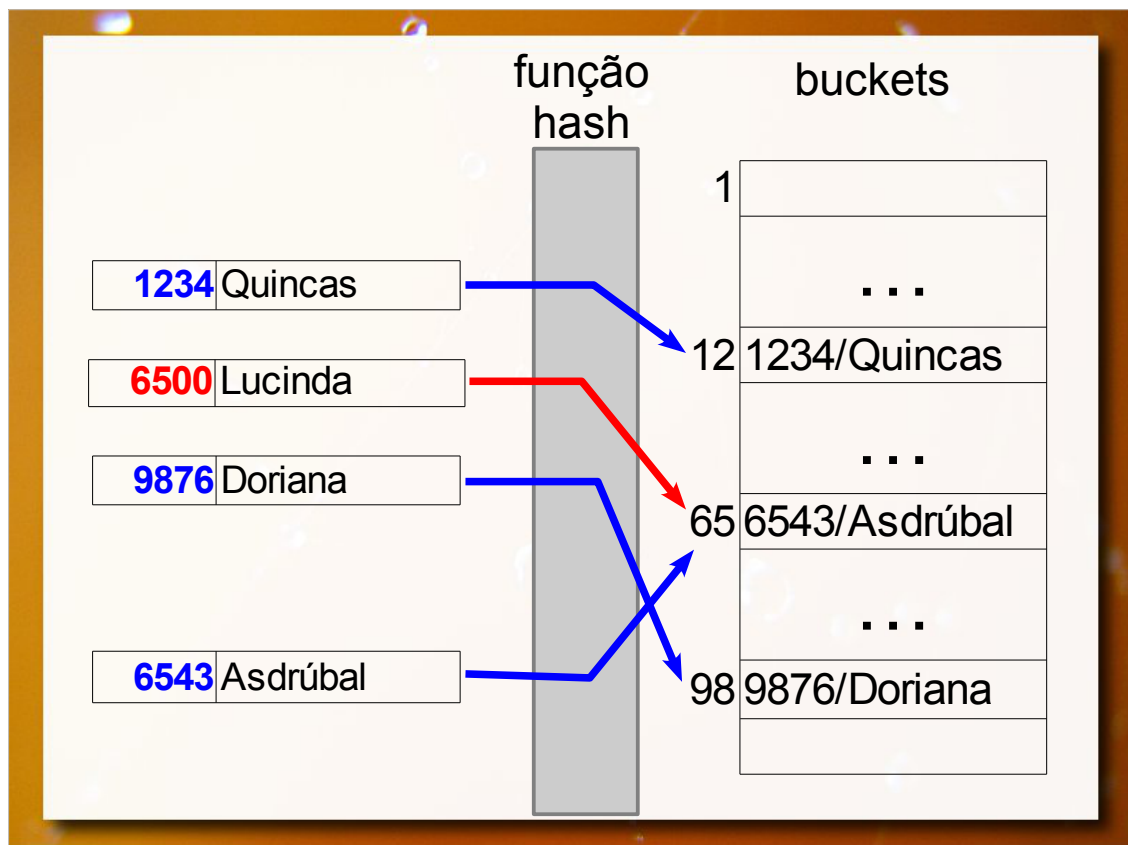
Organização de Arquivos

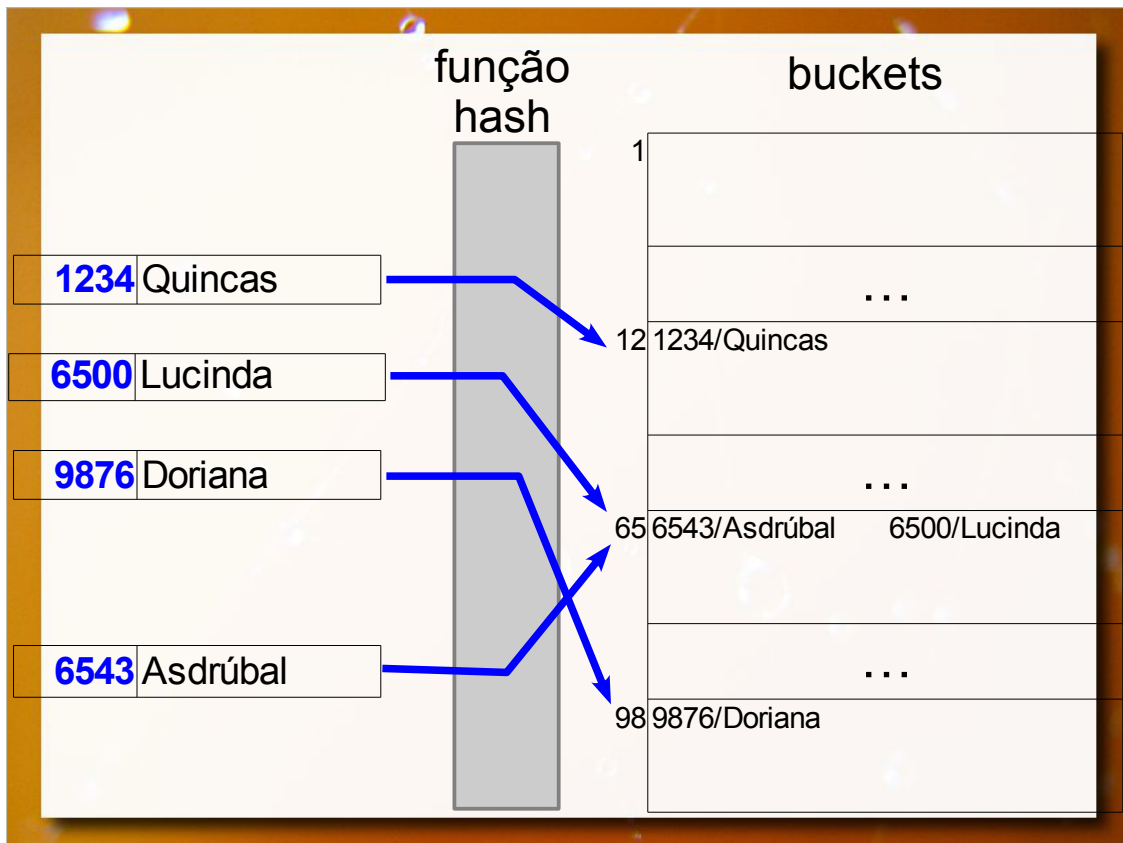
- Heap
 - sem ordenação
 - gravação em qualquer posição
- Sequencial
 - gravação em ordem sequencial
- Hash
 - uso de função de hash

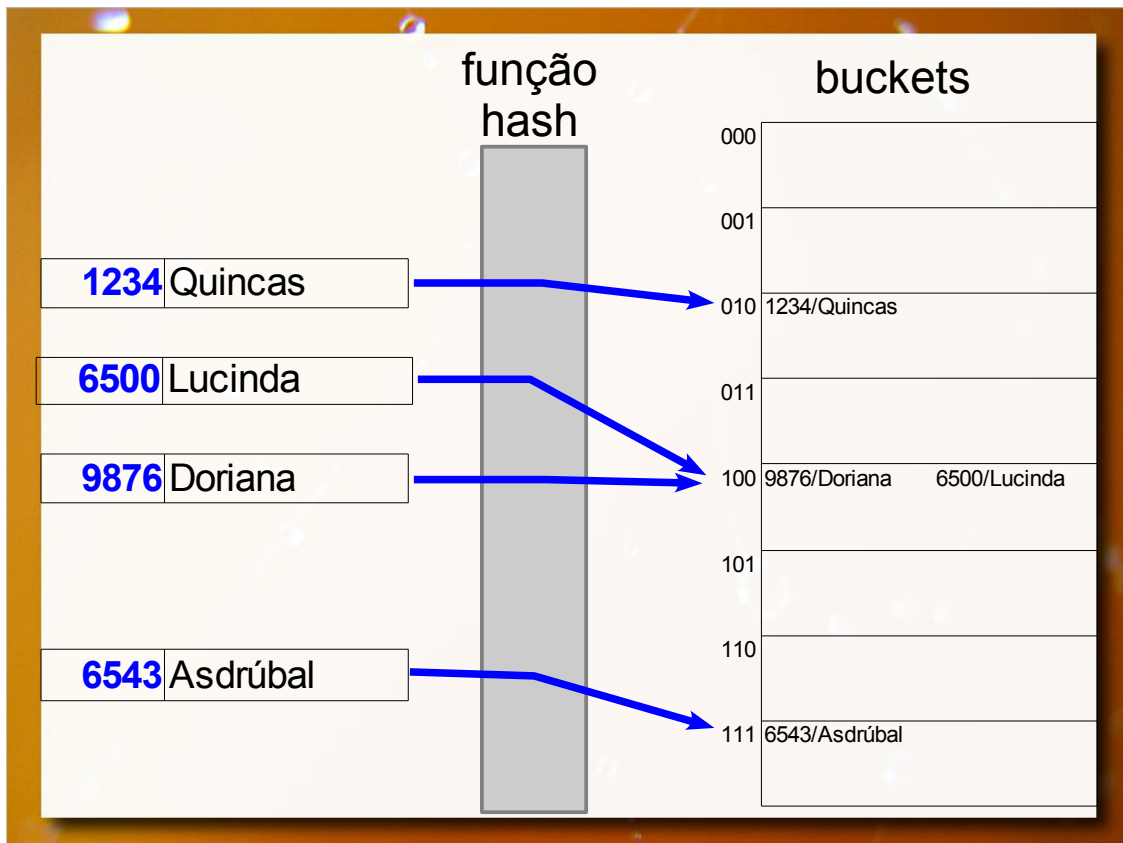
(Silberschatz, 2006)

Hashing

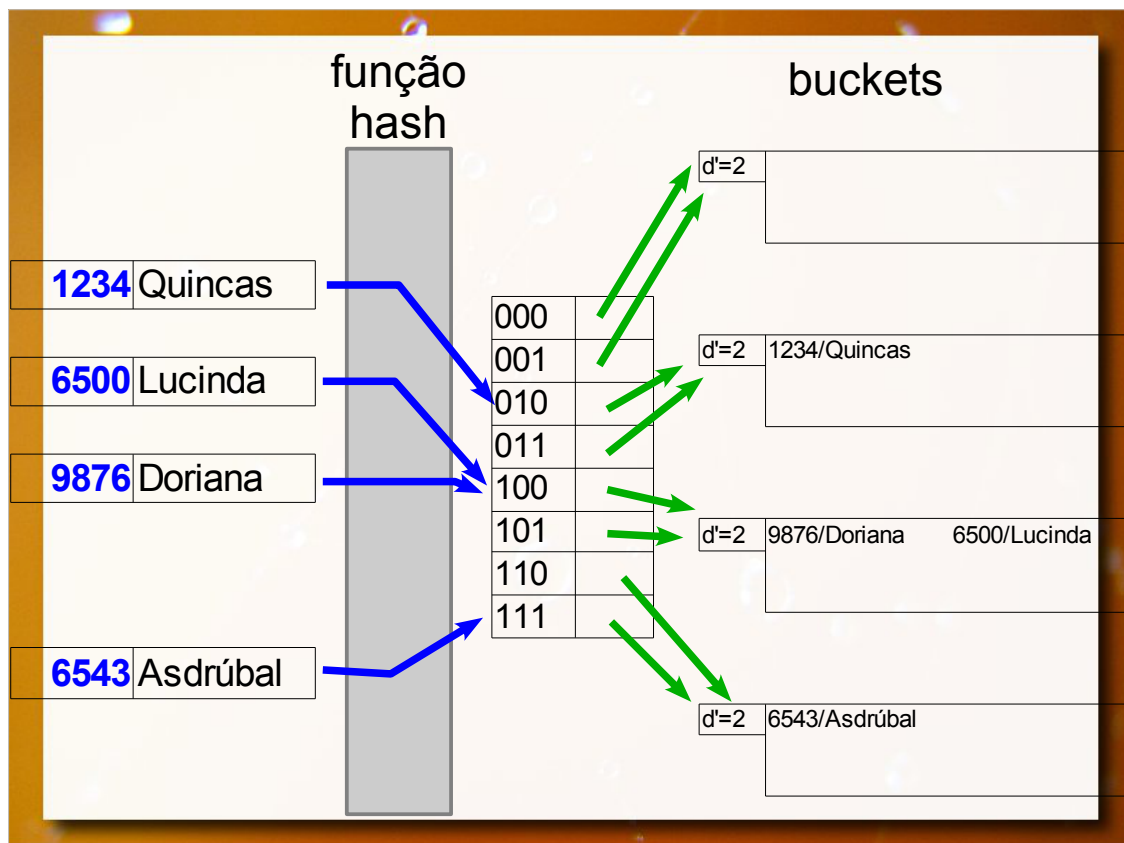


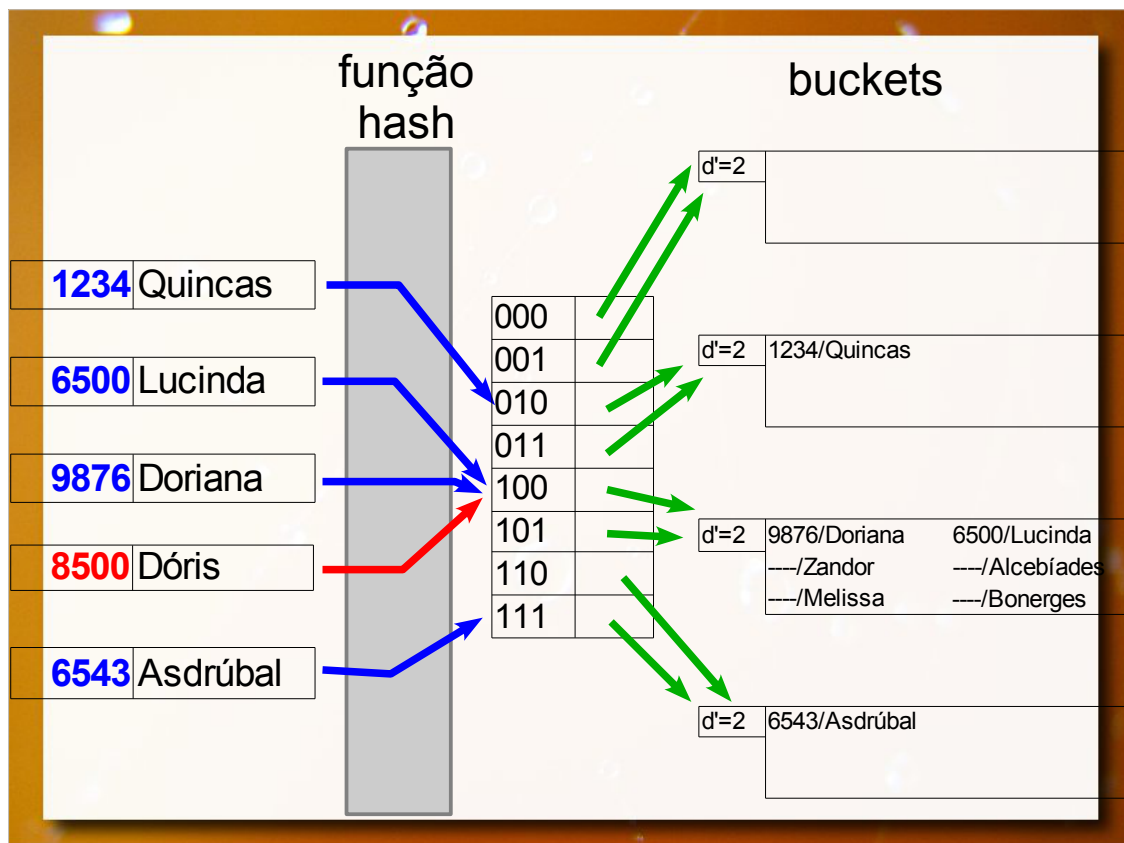


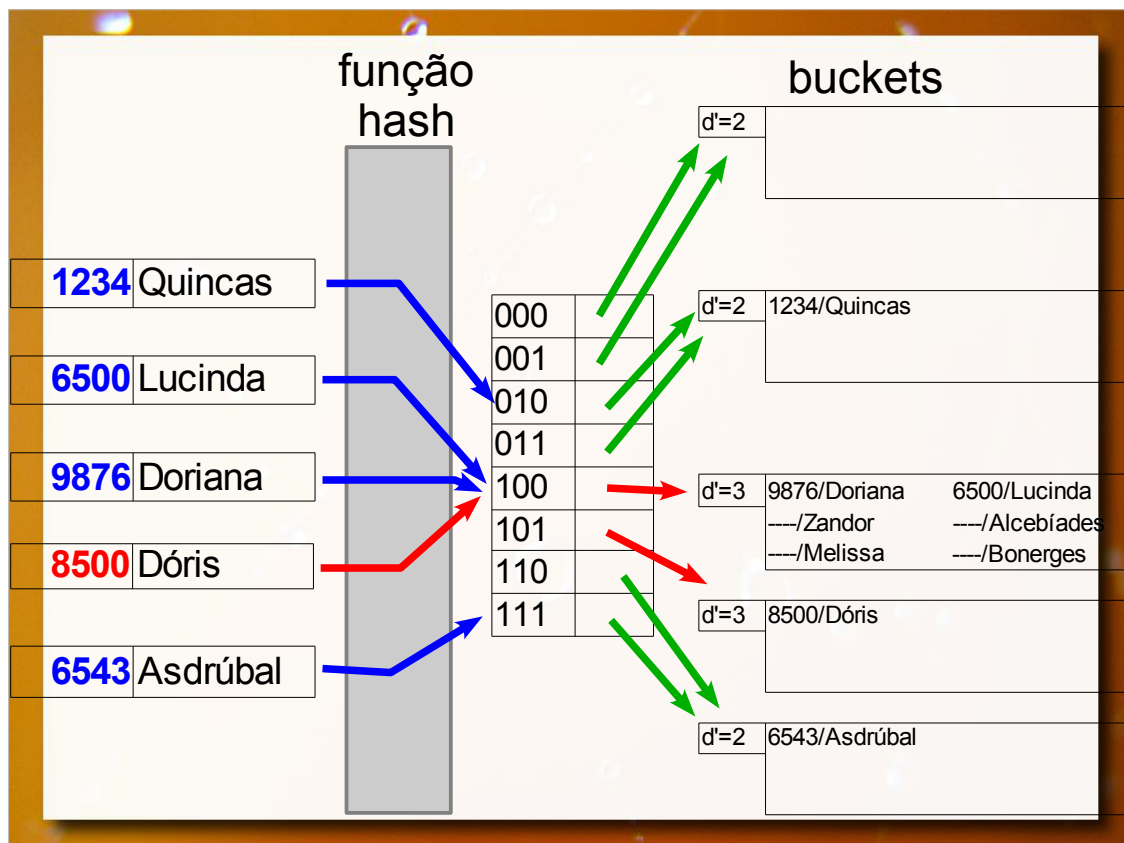




Hashing Extensível

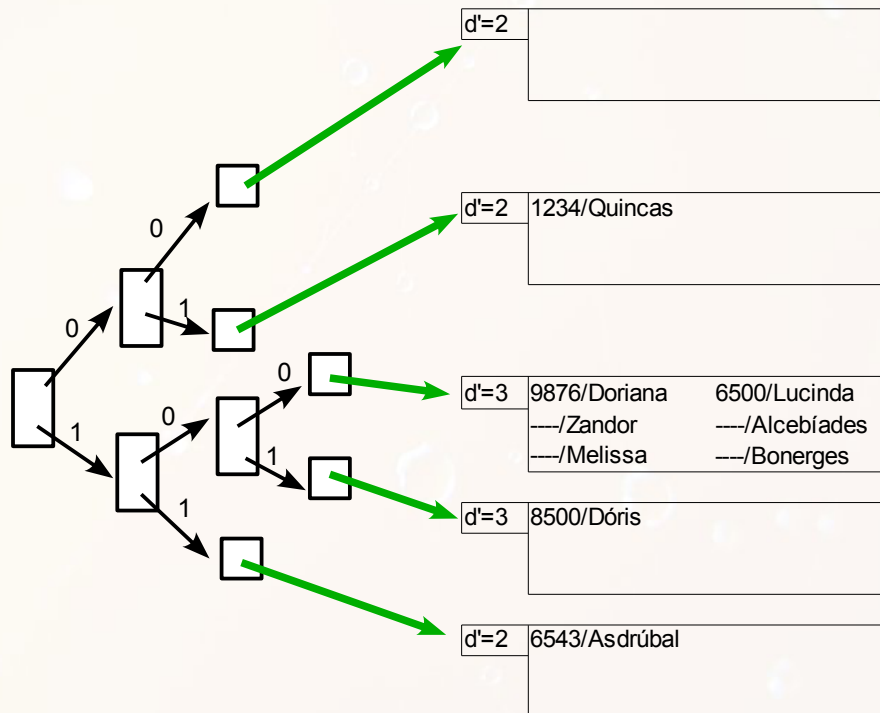






Hashing Dinâmico

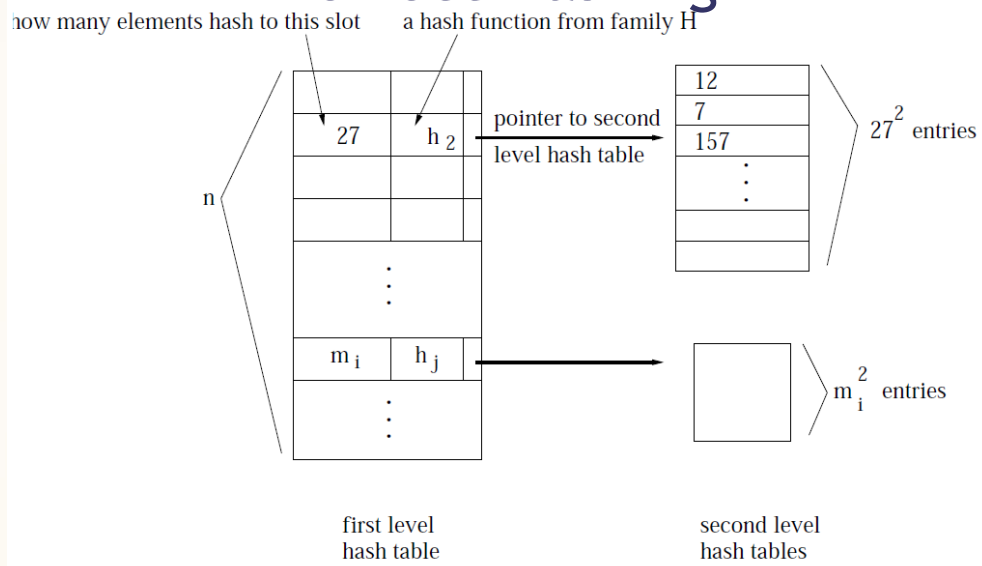
buckets



Índice de Hash

Índice Mapa de Bits

Perfect Hashing



(Demaine, 2003)

Arquivos e Indexação

- Entrada de índice (*data entry*) → registros armazenados em um índice
 - entrada de índice: k^*
 - chave: k
 - Alternativas para k^*
 - (1) registro completo de chave k
 - (2) $(k, \text{rid}) \rightarrow \text{rid} = \text{id do registro de chave } k$
 - (3) $(k, \text{rid-list}) \rightarrow \text{rid-list} = \text{lista de registros de chave } k$
- (Ramakrishnan, 2003)

Índice Único

- Índice cujas chaves não tem duplicatas

Índices de Agrupamento (Clustering)

- chave de busca (índice) => ordem dos registros (arquivo)
- modelo (1): k^* é o registro de dados

(Elmasri, 2011, pg. 425) diferencia:

- índice primário → campos do arquivo são ordenados conforme a chave primária e há um índice (primário) para ele
- índice agrupamento → campos do arquivo são ordenados conforme um campo não chave (sem valor distinto para cada campo) e há um índice (de agrupamento) para ele
- índice secundário → meio secundário de acesso (ao primário); e.g., chave candidata

(Silberschatz, 2006, pg. 322):

- índice primário e de agrupamento são a mesma coisa; a chave de ordenação é preferencialmente a primário, embora isso não seja obrigatório
- índice secundário → índice de não agrupamento

(Ramakrishnan, 2003, pg. 277):

- clustered (agrupamento) index → campos do arquivo são ordenados conforme (ou próximas a) entradas do índice
- índice primário → índice que contém chave primária
- índice secundário → outros índices

Índices Primários e Secundários

- Índice primário
 - índice de agrupamento com chave primária
 - índice único
- Índice secundário
 - índice de não agrupamento
 - índice não necessariamente único

Índices Densos e Esparsos

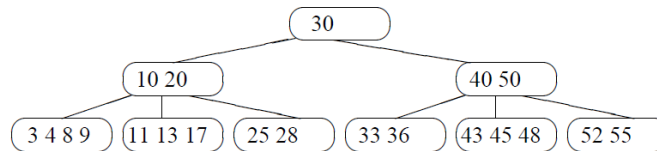
- Denso
 - um registro associado a cada entrada do índice
- Esparso
 - mais de um registro associado a cada entrada do índice

Índices Multiníveis

Árvores B

Árvores B

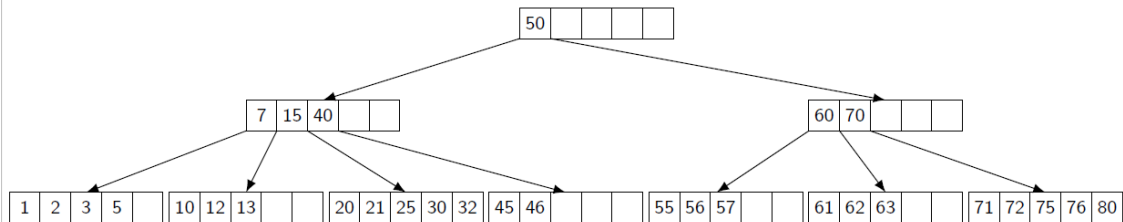
- Árvores n -árias: mais de um registro por nodo.
- Em uma árvore B de ordem m :
 - página raiz: 1 e $2m$ registros.
 - demais páginas: no mínimo m registros e $m + 1$ descendentes e no máximo $2m$ registros e $2m + 1$ descendentes.
 - páginas folhas: aparecem todas no mesmo nível.
- Registros em ordem crescente da esquerda para a direita.
- Extensão natural da árvore binária de pesquisa.
- Árvore B de ordem $m = 2$ com três níveis:



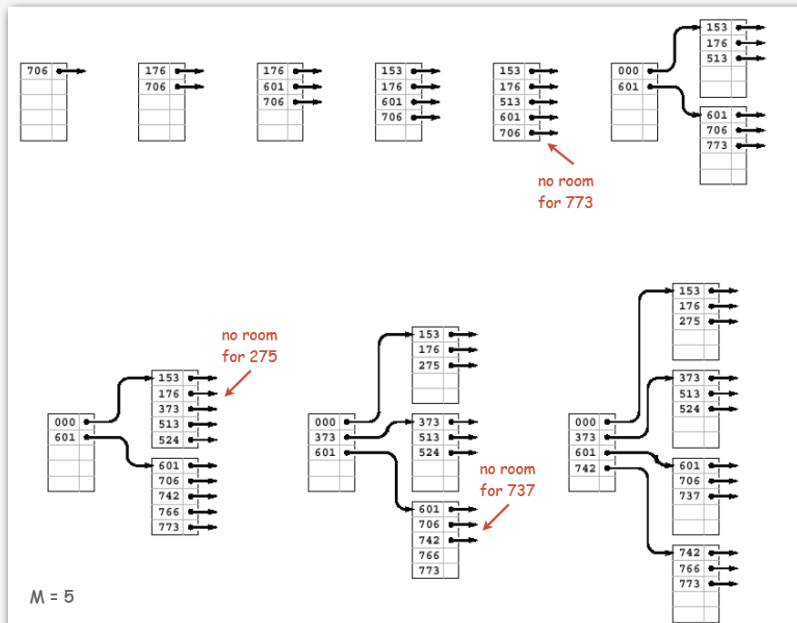
(Almeida, 2010)

Exemplo de árvore B de ordem 5

Neste caso, cada nó tem no mínimo dois e no máximo cinco registros de informação.



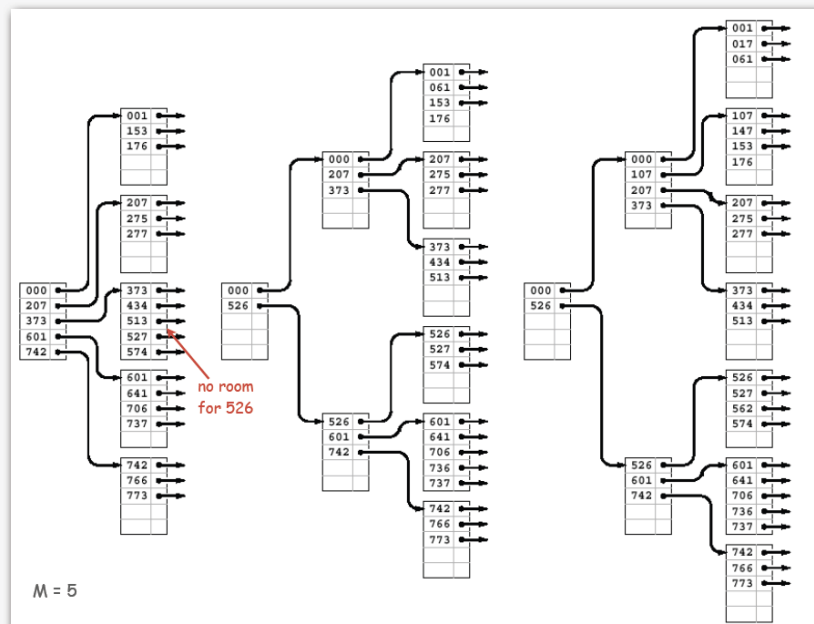
B-Tree Example



50

(Sedgewick, 2008)

B-Tree Example (cont)



51

(Sedgewick, 2008)

Números mínimos e máximos de registros

Árvore B de ordem 255:

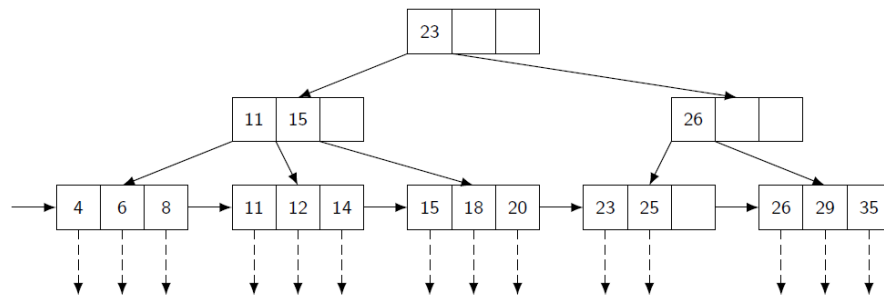
nível	mínimo		máximo	
	nós	registros	nós	registros
1	1	1	1	1×255
2	2	2×127	256^1	$256^1 \times 255$
3	2×128^1	$2 \times 128^1 \times 127$	256^2	$256^2 \times 255$
4	2×128^2	$2 \times 128^2 \times 127$	256^3	$256^3 \times 255$
5	2×128^3	$2 \times 128^3 \times 127$	256^4	$256^4 \times 255$
Total	4.227.331	536.870.911	4.311.810.305	1.099.511.627.775

Variantes de árvores B

- ▶ Árvores B*: o número de registros ocupados de um nó é no mínimo $\frac{2}{3}$ da sua capacidade.
- ▶ Árvores B⁺:
 - ▶ nós internos com chaves apenas para orientar o percurso
 - ▶ pares (*chave, valor*) apenas nas folhas
 - ▶ regra de descida:
 - ▶ subárvore esquerda: menor
 - ▶ subárvore direita: maior ou igual
 - ▶ apontadores em lugar de valores tornando mais eficiente a movimentação dos registros durante inserções e remoções
 - ▶ ligações facilitando percurso em ordem de chaves

Variantes de árvores B (cont.)

Exemplo de árvore B⁺ de ordem 3:



Setas tracejadas indicam apontadores para os valores da informação. A lista ligada das folhas permite percurso simples e eficiente em ordem de chaves.

Referências

- Almeida, Charles Ornelas , Guerra, Israel; Ziviani, Nivio (2010) **Projeto de Algoritmos** (transparências aula).
- Demaine, Erik. 6.897: Advanced Data Structures - Lecture 2 (notas de aula). Fevereiro, 2003.
- Elmasri, Ramez; Navathe, Shamkant B. (2005) **Sistemas de Bancos de Dados**. Addison-Wesley, 4ª edição em português.
- Elmasri, Ramez; Navathe, Shamkant B. (2011) **Sistemas de Bancos de Dados**. Addison-Wesley, 6ª edição em português.

Referências

- Ramakrishnan, Raghu; Gehrke, Johannes (2003) **Database Management Systems**. McGraw-Hill, 3rd edition.
- Sedgewick, Robert; Wayne, Kevin (2008) Princeton University: **Algorithms**. Maio, 2008.
- Silberschatz, Abraham; Korth, Henry F.; Sudarshan, S. (2006) **Sistema de Banco de Dados**. Elsevier, Tradução da 5a edição.

André Santanchè

<http://www.ic.unicamp.br/~santanche>

Licença

- Estes slides são concedidos sob uma Licença Creative Commons. Sob as seguintes condições: Atribuição, Uso Não-Comercial e Compartilhamento pela mesma Licença.
- Mais detalhes sobre a referida licença Creative Commons veja no link:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Fotografia da capa e fundo por
<http://www.flickr.com/photos/fdecomite/>
Ver licença específica em
<http://www.flickr.com/photos/fdecomite/1457493536/>