[MAC0426] Sistemas de Bancos de Dados
[IBI5013] Bancos de Dados para Bioinformática

# Aula 21
# **Índices**

## Acelerando o acesso aos dados (Parte 2)

Profa. Kelly Rosa Braghetto

20/05/2016

# Estruturas de Dados Usadas como Índices

- Várias tipos de estruturas de dados podem ser usadas como índices
- Veremos neste curso:
  - Índices simples, sobre arquivos de dados ordenados (índices primários)
  - Índices secundários, sobre arquivos de dados não ordenados
  - Árvores B+
  - **Tabelas *Hash***

# Tabelas *Hash*

**Recordando *hashs* em memória principal:**

- Função *hash* ***h*** que pega uma chave de busca como parâmetro e computa a partir dela um inteiro entre 0 e *B-1*, onde *B* é o número de *buckets*
- Um vetor de *buckets*, indexado de 0 a *B-1*, armazena a “cabeça” de *B* listas ligadas, uma para cada *bucket* do vetor
- Se um registro tem uma chave ***k***, então ele é ligado à lista do *bucket* na posição ***h(k)***
- Para uma boa introdução sobre o assunto:

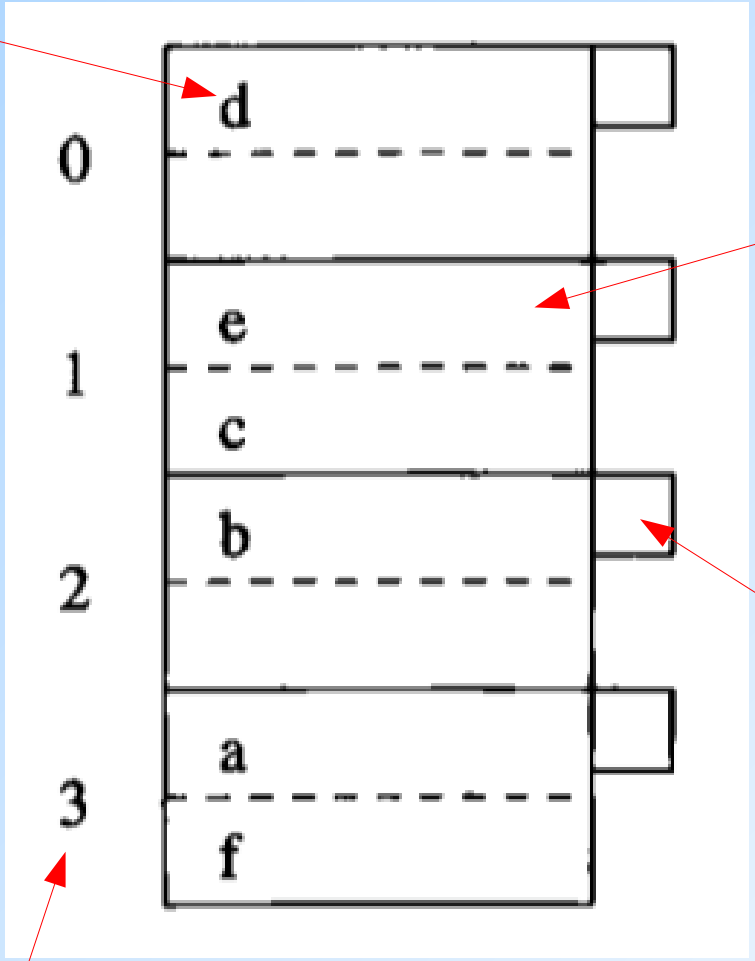
  **http://www.ime.usp.br/~pf/algoritmos/aulas/hash.html**

# Tabelas *Hash*

- Uma tabela *hash* que armazena um grande número de registros precisa ser mantida em **memória secundária**
- Neste caso, o vetor de *buckets* consiste em um **vetor de blocos**
- A função de *hash* ***h*** determina o *bucket* (= bloco) onde um registro será armazenado
- Quando um *bucket* estoura (ou seja, não tem mais espaço para armazenar todos os registros direcionados para ele), uma cadeia de blocos de *overflow* pode ser adicionada ao *bucket*, para armazenar mais registros

# Uma Tabela *Hash*

Chave do registro armazenado na posição




Neste exemplo, cada bloco tem espaço para 2 registros

h(d) = 0

h(c) = h(e) = 1

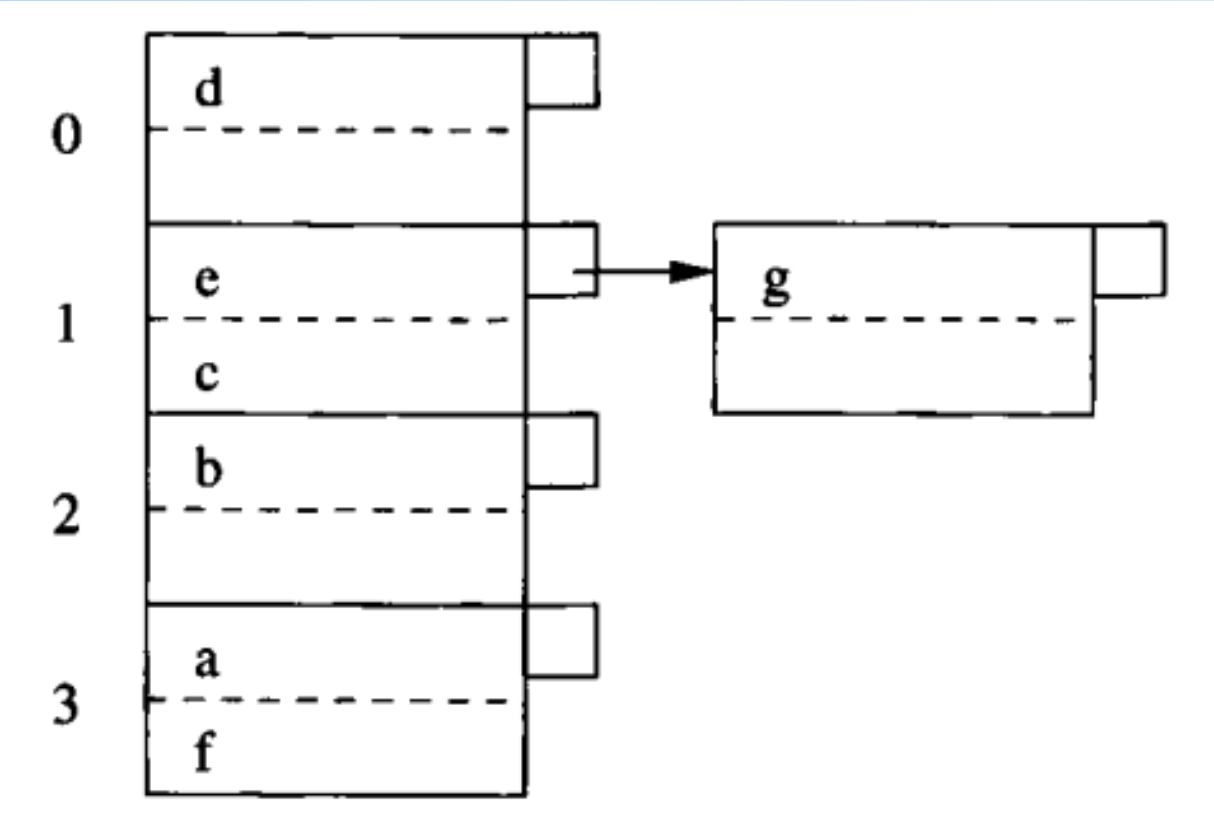
h(b) = 2

h(a) = h(f) = 3

Nó que pode ser usado para encadear blocos de *overflow*

Número do bucket

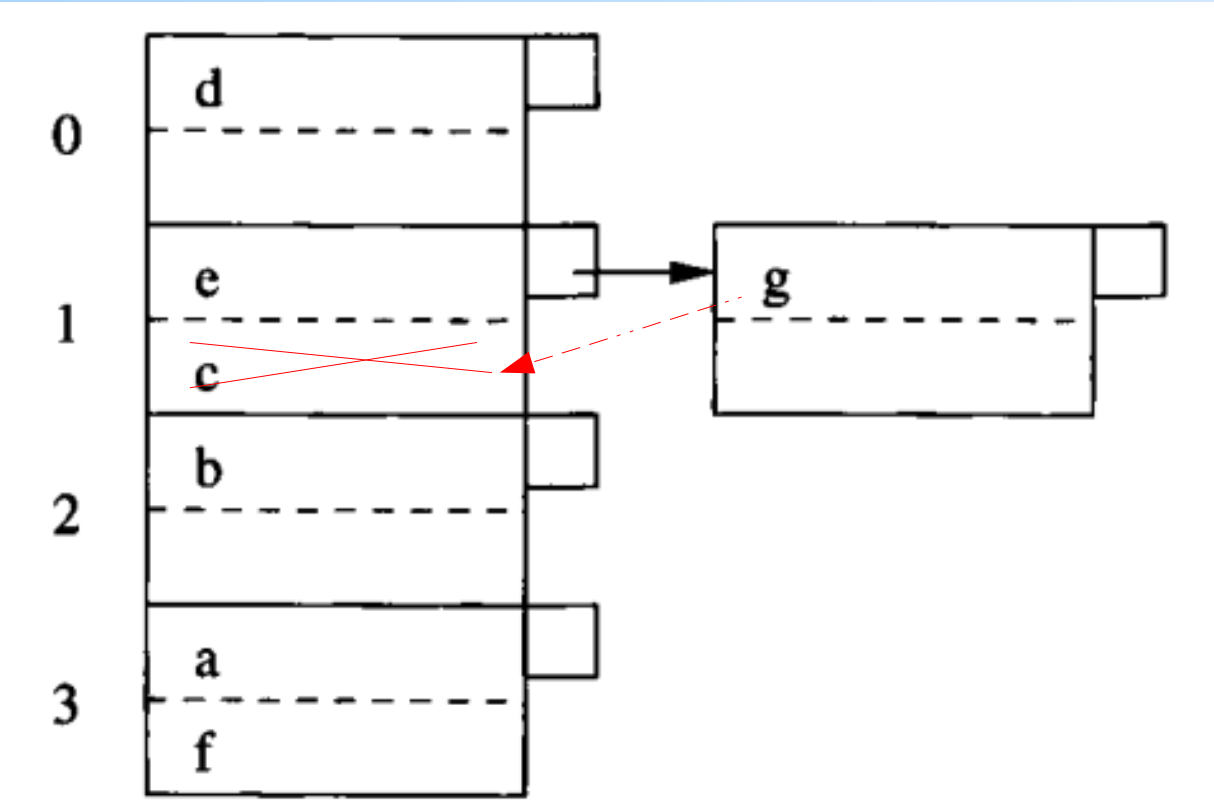
# Inserção em uma Tabela *Hash*




Exemplo: inserção de um novo registro com chave **g**, sendo que **h(g) = 1** .

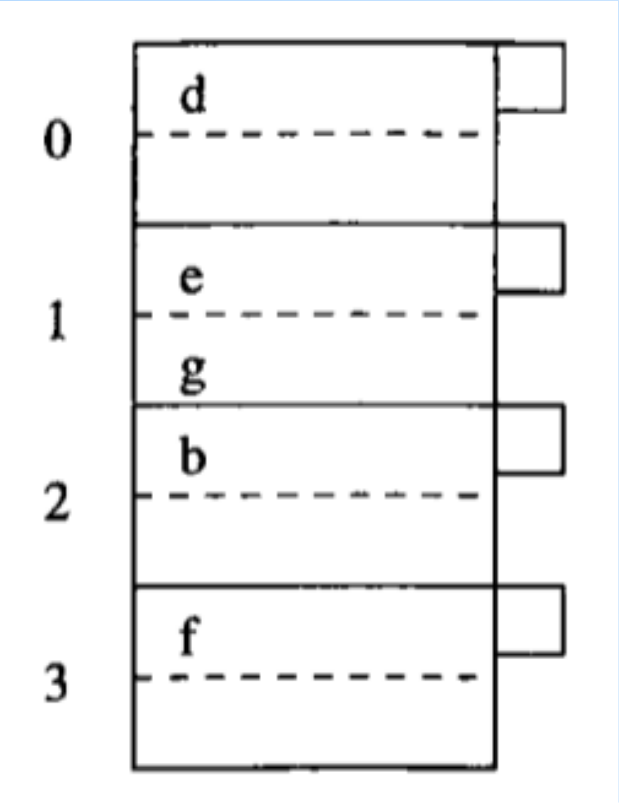
Como o bloco do *bucket* 1 já está cheio, é preciso incluir um novo bloco de dados para receber **g** e ligá-lo ao bloco original do *bucket* 1.

# Remoção em uma Tabela Hash




Para remover o registro com chave **c**, nós vamos ao *bucket* de número **h(c)** (lembrando que h(c) =1) e procuramos por registros que tenham a chave **c**. Qualquer registro com essa chave deve ser excluído. Após uma remoção, pode ser possível remanejar registros de um bloco para outro, a fim de reduzir o número de blocos de um *bucket* (como é o caso nesse exemplo).

# Remoção em uma Tabela Hash




Resultado após a remoção do registro com chave **c** e do remanejamento do registro com chave **g**.

**Obs:** nem sempre vale a pena remanejar registros com a intenção de reduzir o número de blocos depois de uma remoção. Isso pode causar um efeito "sanfona", onde cada remoção/inserção de registro gera uma remoção/inserção de bloco.

# Um Parênteses sobre a Escolha da Função de *Hash*

- Uma função de *hash* deve espalhar bem uma chave pelo conjunto de índices de buckets 0..*B-1*
  - É desejável que os *buckets* tenham +/- a mesma quantidade de registros
- Uma função de *hash* precisa ser rápida de se computar
  - Ela será computada muitas vezes!
- Escolha comum para chaves que são números inteiros:
  - ***K mod B*** (resto da divisão inteira de *K* por *B*)
  - Frequentemente escolhe-se como valor de *B* um número primo grande → reduz o número de colisões

# Eficiência de Índices em Tabelas *Hash*

- Idealmente, há *buckets* o suficiente para que cada *bucket* caiba em apenas um bloco
  - Neste caso, uma busca por um registro requer apenas um acesso ao disco, enquanto que uma operação de inserção ou remoção dos dados requer 2 acessos
  - Esse desempenho é melhor que o das árvores B+ e dos outros tipos de índices
  - Problema: diferentemente das árvores B+, tabelas *hash* não ajudam nas buscas por faixas de valores de chave.

# Eficiência de Índices em Tabelas *Hash*

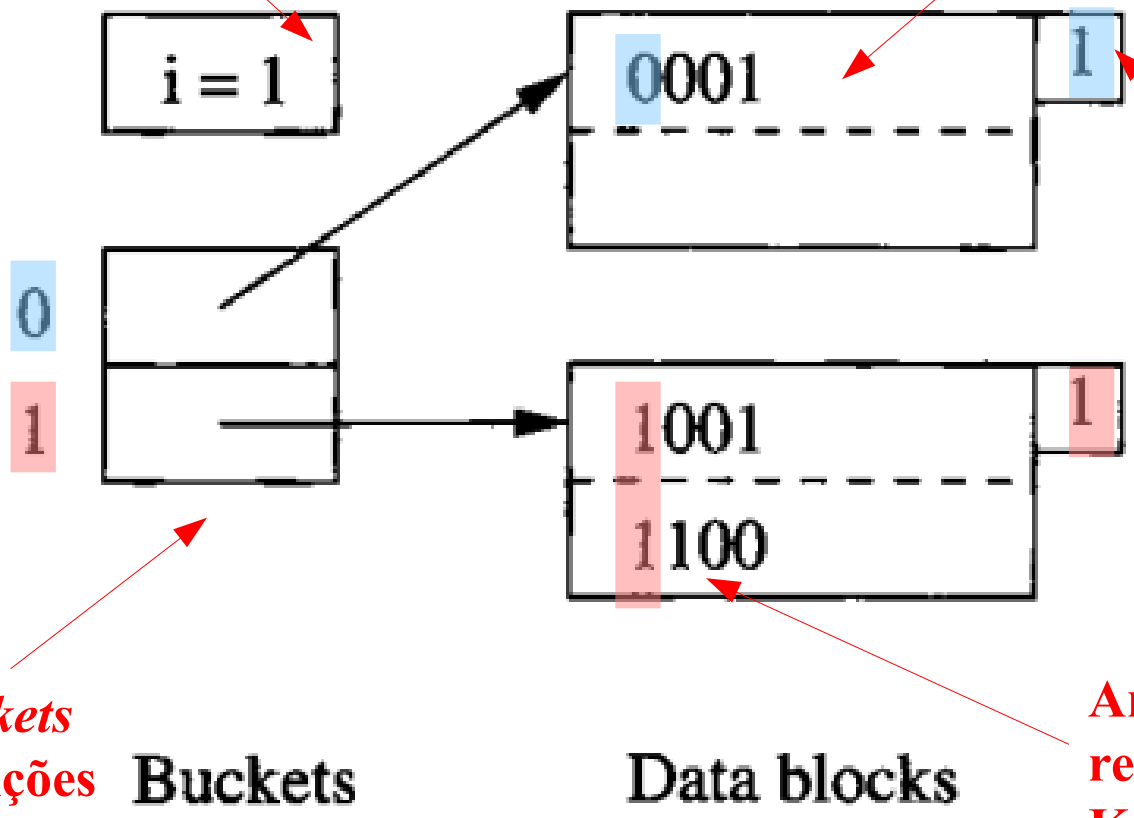
- Em índices de arquivos de dados grandes, pode haver muitos blocos associados a um mesmo *bucket*
  - Nesse caso, as buscas podem requerer o percorrimento de longas listas de blocos (com um acesso a disco para cada bloco)
  - Por isso, é muito importante manter o número de blocos por *bucket* pequeno

# Tabelas de Hash Estáticas X Tabelas de Hash Dinâmicas

- As tabelas de *hash* que vimos até agora são **estáticas** porque *B*, o número de *buckets*, nunca muda.
- Existem também tabelas ***hash* dinâmicas**, onde *B* varia de modo a ficar sempre próximo do número de registros dividido pelo número de registros que cabem em um bloco (~ 1 bloco por *bucket*)
- Veremos dois métodos para *hash* dinâmico:
  - ***Hashing* Extensível**
  - ***Hashing* Linear**

# Tabela de *Hash* Extensível

**k = 4, ou seja, a função de *hash* produz uma sequência de 4 bits.**
**No momento, apenas 1 bit está sendo usado para definir a localização do registro, como indicado aqui.**



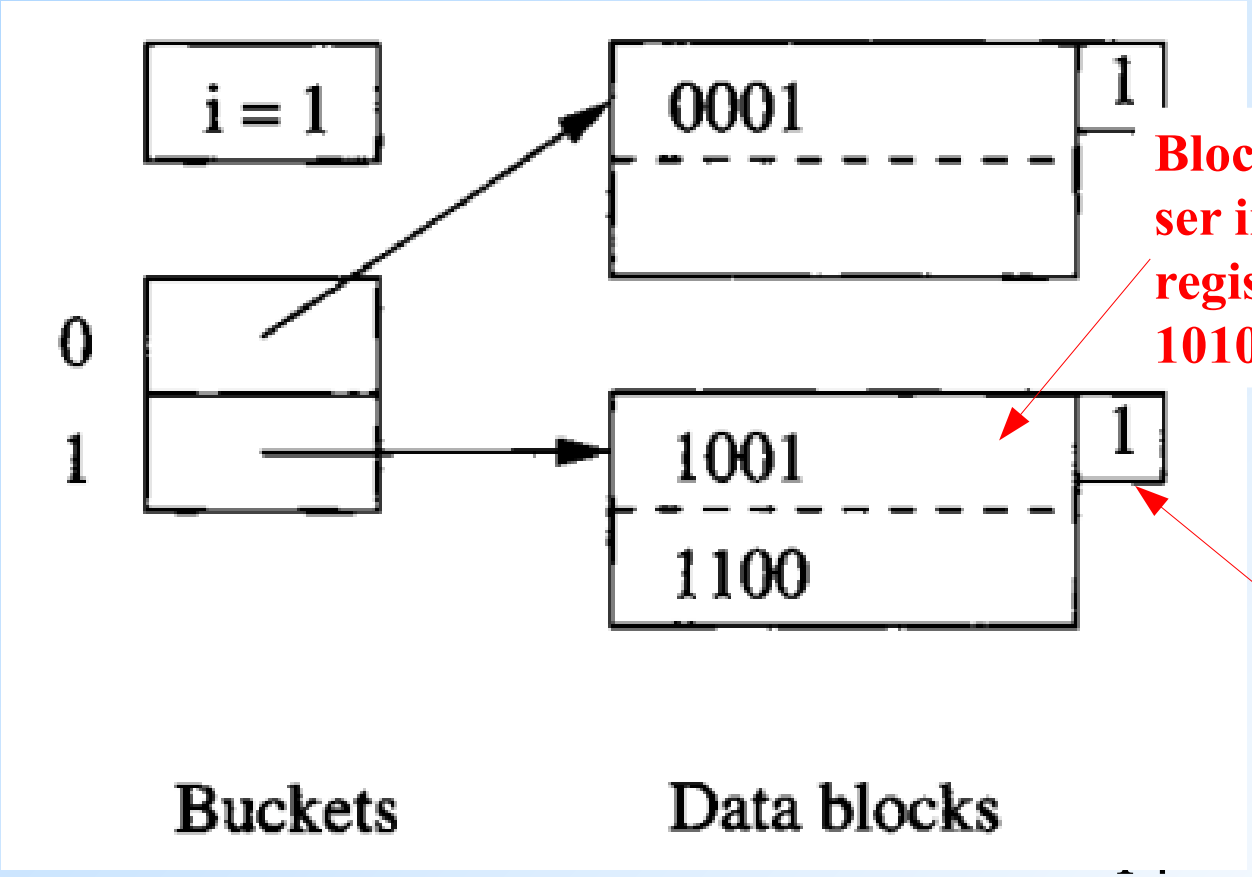

**j; indica o número de bits usado para definir a pertinência no *bucket***

**Vetor de *buckets* com 2^i posições (ponteiros para blocos)**

**Armazena todos os registros com chave K em que h(K) começa com o bit 1**

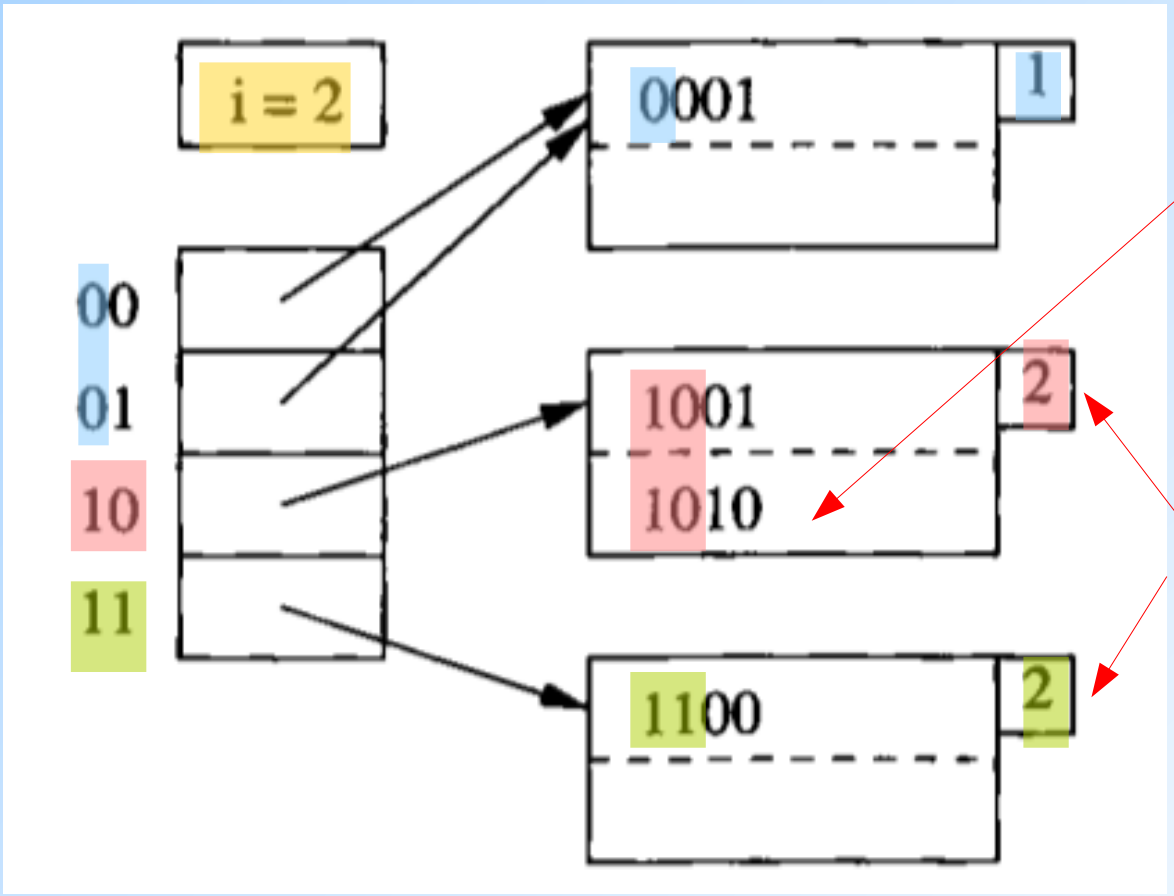
# *Hash* Extensível: Inserção

**Exemplo: inserção de um registro com chave K tal que h(K) = 1010.**
Como i = 1, o primeiro bit de h(K) é 1, o novo registro pertence ao segundo bloco (*bucket* 1). Como o bloco já está cheio, ele precisa ser dividido em 2. Mas como j = i = 1, é preciso antes dobrar o tamanho do vetor de *buckets*.



# *Hash* Extensível: Inserção

**Exemplo (cont.): inserção de um registro com chave K tal que h(K) = 1010.**
O vetor de *buckets* foi dobrado e i foi atualizado para 2.
O bloco 2 foi dividido em dois (e ambos tiveram o seu j atualizados para 2) e os registros foram redistribuídos

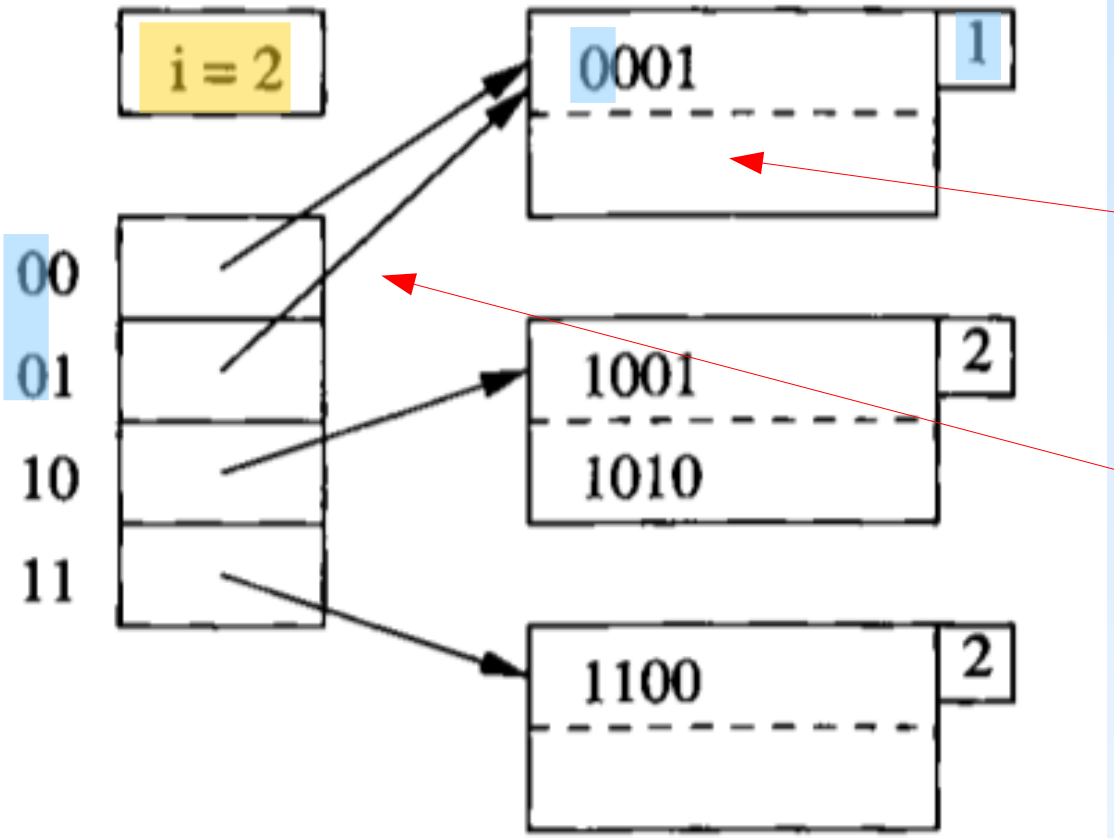



**Novo registro inserido**

**Indicam que é preciso olhar para 2 bits de h(K) para determinar se o registro pertence ao bloco**

# *Hash* Extensível: Inserção

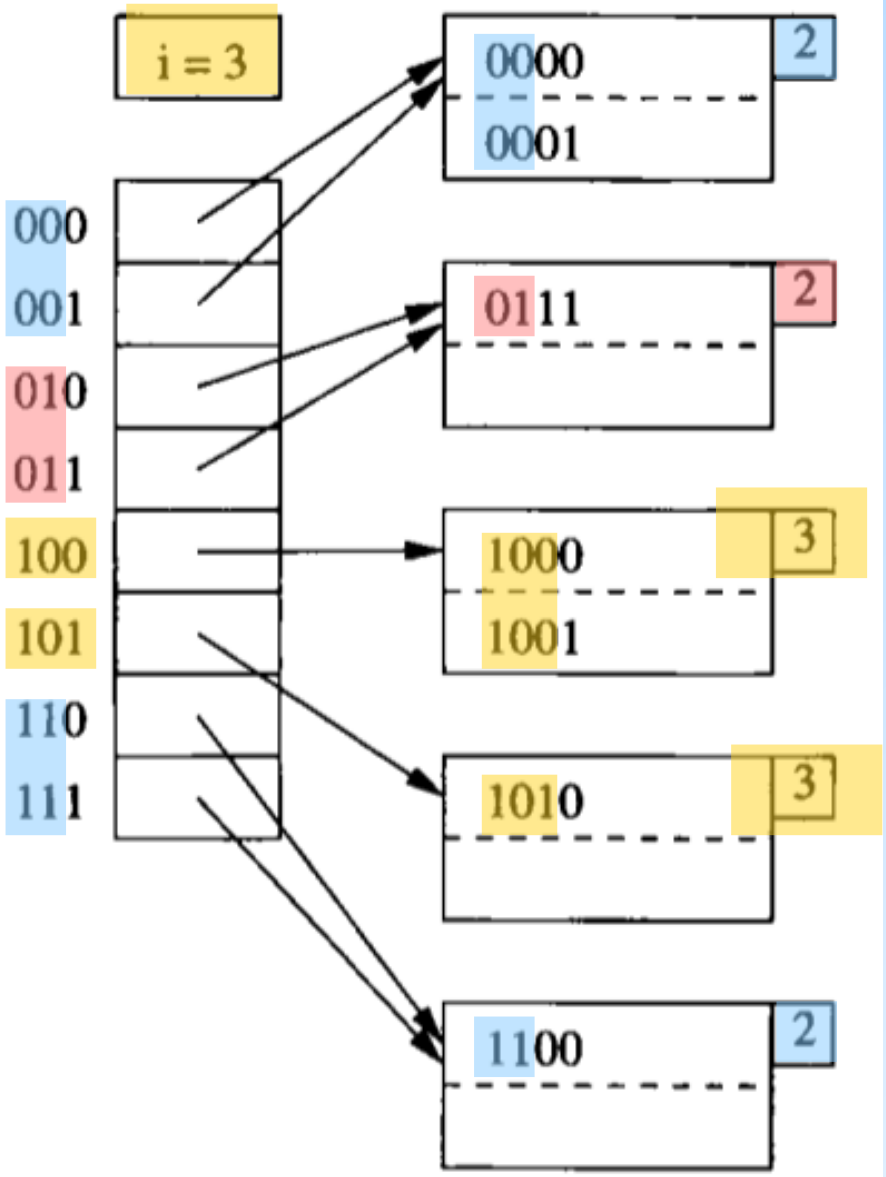
**Exemplo 2: inserção de registros com chaves K1 e K2 tais que h(K1) = 0000 and h(K2) = 0111.** Ambos os registros deveriam entrar no primeiro bloco da figura abaixo, o que causaria um estouro. Como o bloco usa apenas um 1 bit para determinar a pertinência no bloco (ou seja, j = 1) mas i = 2, então não é preciso mexer no tamanho do vetor de *buckets*.




***Bucket* que terá que ser dividido para acomodar os dois novos registros**

**Depois da divisão, cada um desses dois *buckets* passará a apontar para um bloco diferente.**

# *Hash* Extensível: Inserção




**Exemplo 3: inserção de um registro com chave K tal que h(K) = 1000.**
Tal registro deveria entrar no bloco para 10 do slide anterior, que já estava cheio. Como esse bloco tem j = 2 e como i = 2, é preciso duplicar novamente o vetor de *buckets* para que a inserção possa ser feita.
A figura ao lado mostra o resultado. Observe que i foi atualizado para 3, bem como o j dos blocos gerados pela divisão do bloco 10.

# Tabelas de *Hash* Extensíveis

- **Vantagens:** na busca por um registro, nunca é necessário fazer mais do que um acesso ao disco
  - Geralmente, o vetor de *buckets* é pequeno o suficiente para ser mantido em memória principal, por isso ele não requer nenhum acesso a disco adicional
- **Desvantagens:**
  - Dobrar o vetor de *buckets* consome tempo
  - Dobrar o vetor de *buckets* pode fazer com que ele não caiba mais na memória principal meio repentinamente, ou causar um gasto de memória repentino que pode prejudicar o desempenho de outros programas

# Tabelas de *Hash* Lineares

- Nessa técnica, o número ***n*** de *buckets* cresce mais lentamente
- O número ***n*** é sempre escolhido de forma que o número médio de registros por *bucket* seja uma fração fixa (por exemplo, 80%) do número de registros que cabem em um bloco
- Como os blocos não podem ser divididos a qualquer hora, blocos de *overflow* são permitidos
  - Mas o número médio de blocos de *overflow* por *bucket* será bem menor que 1
- O número de bits usado para numerar as entradas no vetor de buckets é $\lceil \log_2 n \rceil$, onde ***n*** é o número atual de *buckets*
  - Os bits usados são sempre os bits menos significativos no *hash* gerado

# Tabelas de *Hash* Lineares

- Suponha que ***i*** bits estão sendo usados para numerar os *buckets* no vetor, e um registro com chave **K** deve ser inserido no *bucket* $a_1 a_2 \ldots a_i$, onde $a_1 a_2 \ldots a_i$ são os ***i*** bits menos significativos de **h(K)**.
- Seja $m = (a_1 a_2 \ldots a_i)_{10}$
  - Se $m < n$, então o *bucket* de número ***m*** existe e o novo registro deve ir parar nele.
  - Se $n \leqslant m < 2^i$, então o *bucket* ***m*** ainda não existe e colocamos o registro no *bucket* $m - 2^{i-1}$, que é o *bucket* que obteríamos se mudássemos $a_1$ (que deve ser 1) para zero.

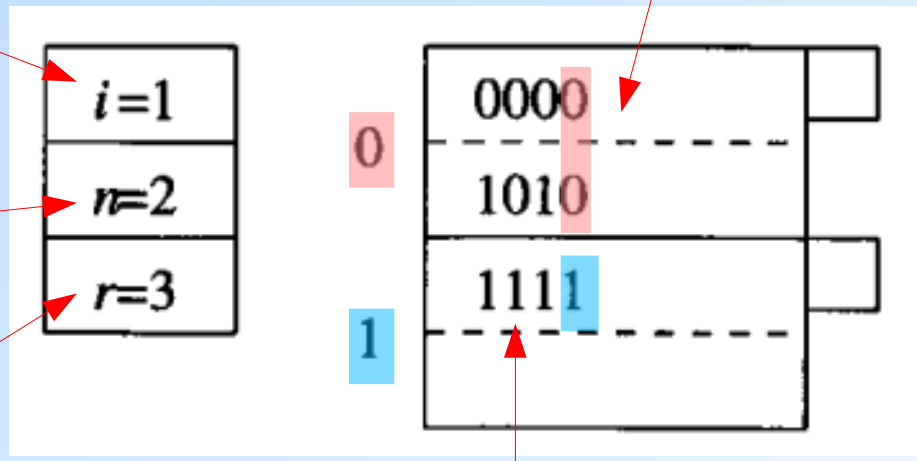
# Tabela de *Hash* Linear

Indica o número de bits do *hash* que estão sendo usados atualmente para determinar o *bucket* de uma chave

***n*** indica o número atual de *buckets* na tabela *hash*

***r*** indica o número atual de registros na tabela *hash*

Registro com chave K tal que ***h***(K) = 0000

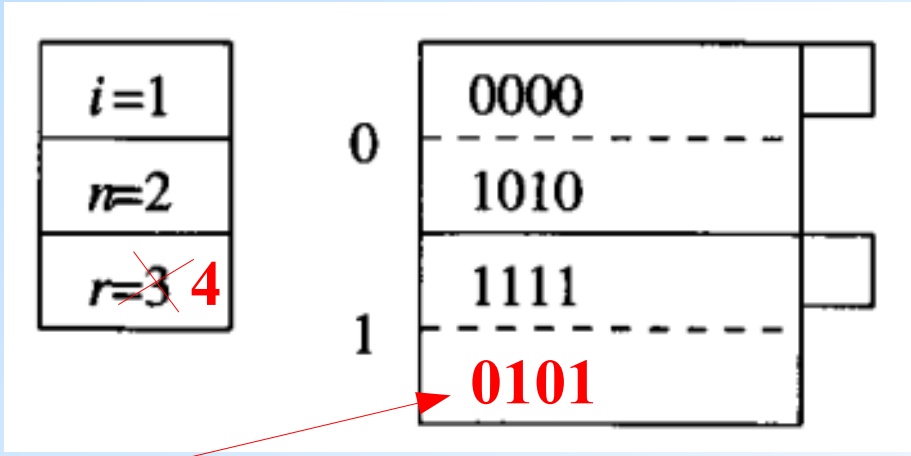



Neste exemplo, supõe-se:
- que a função de *hash* ***h*** produz 4 bits
- ***r*** <= **1.7*n*** , ou seja, a ocupação média de um *bucket* não ultrapassa a 85% da capacidade de um bloco.

# Inserção em uma Tabela de *Hash* Linear

**Exemplo 1: inserção de um registro com chave K tal que h(K) = 0101. (Passo 1)**

Como i = 1, então usamos apenas o último dígito de h(K) para determinar qual *bucket* deve conter o novo registro. Logo, o registro deve ficar no *bucket* de número 1.
Como ainda há uma posição vaga nesse *bucket*, basta inserir o registro com h(K) = 0101 nela.

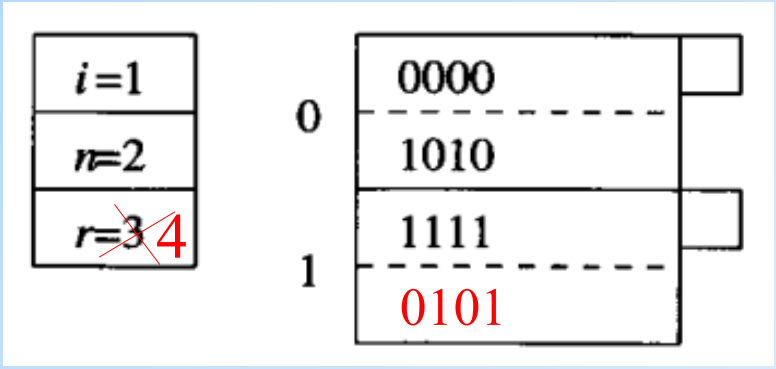


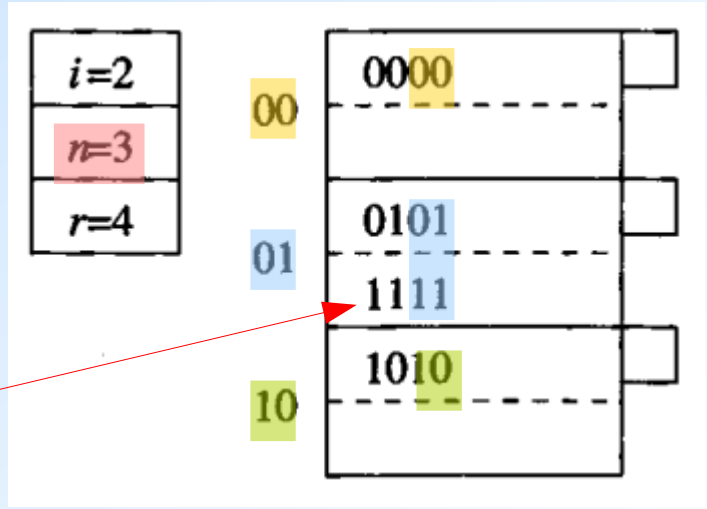

**Problema:** Ao inserir o novo registro no *bucket* 1, ficamos com uma taxa de ocupação média (**r**/**n**) de 100%.
**Solução:** aumentar **n** para 3

# Inserção em uma Tabela de *Hash* Linear

**Exemplo 1: inserção de um registro com chave K tal que h(K) = 0101. (Passo 2 – aumentando n para 3)**

Como $\lceil \log_2 3 \rceil = 2$, *i* passará a 2 e então passaremos a numerar os *buckets* 0 e 1 por 00 e 01. E o novo *bucket* receberá o número 10.
Depois, redistribuímos os registros nos *buckets* de acordo com os 2 dígitos menos significativos de seus *hashs*.



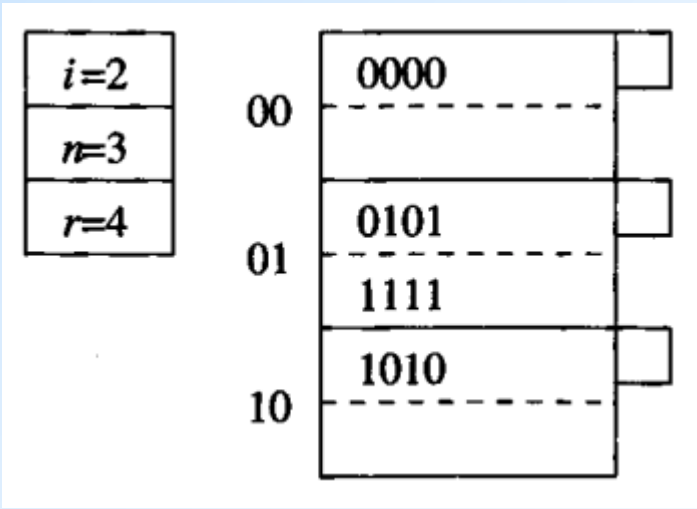

Mas por quê o 1111 foi parar no bucket 01?

# Busca em uma Tabela de *Hash* Linear

**Exemplo 1 de busca:** Busca por uma chave K tal que h(K) = 1010

1) Como i = 2, devemos olhar para os dois últimos dígitos de h(k), que são 10.
Como **m = (10)dec = 2 < n = 3**, então existe um *bucket* com número 10 na tabela.
2) Para cada registro no *bucket* 10 que possua *hash* 1010 faça:
3) Se a chave do registro for igual à chave buscada K, então devolva o registro e encerre a busca
4) Devolva vazio

**Importante:** observe que encontrar um registro com *hash* 1010 na tabela não é garantia de que a chave K esteja na tabela! Diferentes chaves podem gerar um mesmo *hash*.

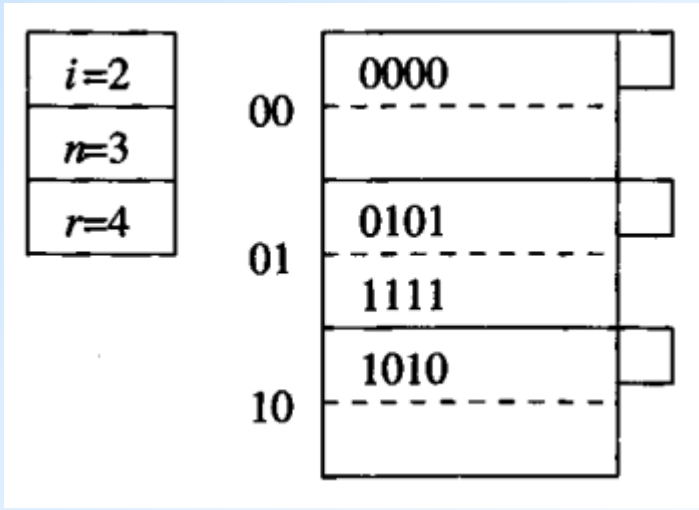


# Busca em uma Tabela de *Hash* Linear

**Exemplo 2 de busca:** Busca por uma chave K tal que h(K) = 1011

1) Como i = 2, devemos olhar para os dois últimos dígitos de h(k), que são 11.
Como **m = (11)dec = 3 >= n**, então **o *bucket* de número 11 não existe na tabela**. Portanto, **nós redirecionamos a busca para o *bucket* 01, trocando o primeiro dígito de 11 por 0.**
2) Para cada registro no *bucket* 01 que possua *hash* 1011 faça:
3) Se a chave do registro for igual à chave buscada K, então devolva o registro e encerre a busca
4) Devolva vazio

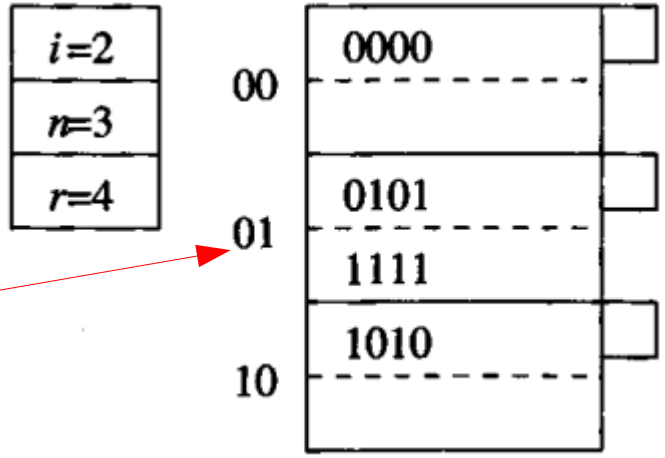
**Obs.:** O bucket 01 não possui nenhum registro com *hash* 1011, portanto o registro com chave K certamente não está na tabela.



# Inserção em uma Tabela de *Hash* Linear

**Exemplo 2: inserção de um registro com chave K tal que h(K) = 0001.**

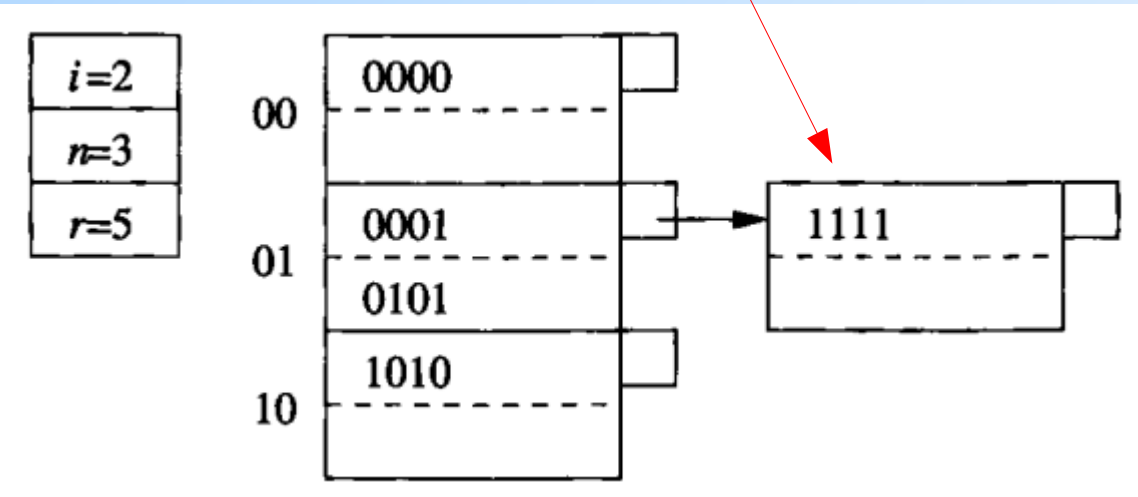
Como i = 2, então usamos os dois últimos dígitos de h(K) para determinar qual *bucket* deve conter o novo registro. Logo, o novo registro deve ficar no *bucket* de número 01.




**Problema:** o *bucket* 01 já está cheio!
**Solução:** adicionar um bloco de *overflow* para o *bucket* 01 e distribuir os registros do *bucket*.

# Inserção em uma Tabela de *Hash* Linear

**Exemplo 2: inserção de um registro com chave K tal que h(K) = 0001.**
**(Passo 2 – após a inserção do bloco de *overflow* para o *bucket* 10)**

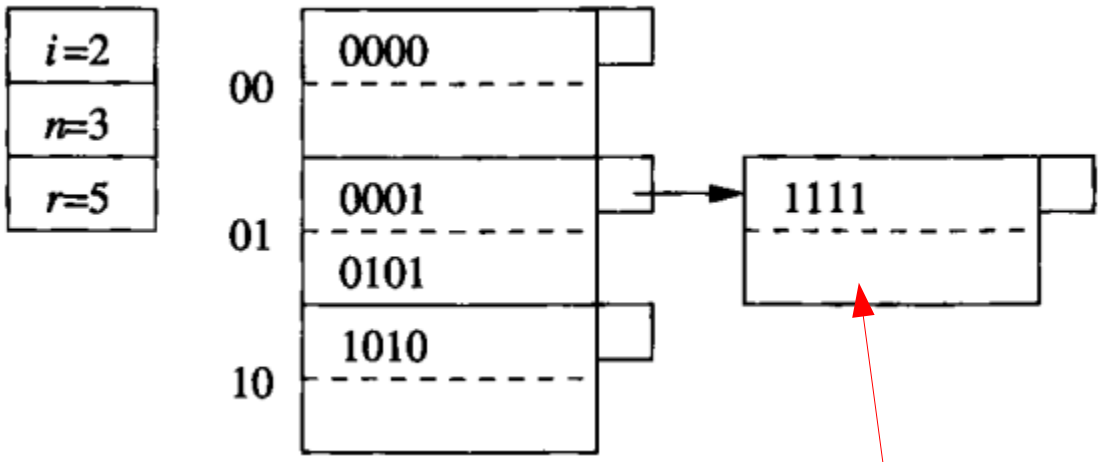



**Obs 1:** Na distribuição dos registros no *bucket* 01 após a criação do bloco de *overflow*, optou-se por manter os registros ordenados por h(K), mas essa ordenação não é necessária.
**Obs 2:** Como **r/k = 5/3 < 1.7**, então **não** foi preciso incluir novos *buckets* na tabela de *hash*.

# Inserção em uma Tabela de *Hash* Linear

**Exemplo 3: inserção de um registro com chave K tal que h(K) = 0111.**

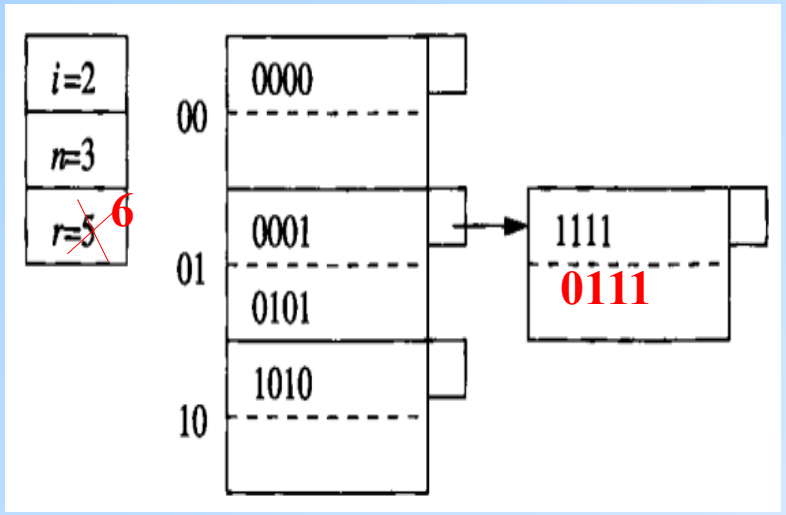
Como i = 2, então usamos os dois últimos dígitos de h(K) para determinar qual *bucket* deve conter o novo registro. Logo, o novo registro deve ficar no *bucket* de número 11.

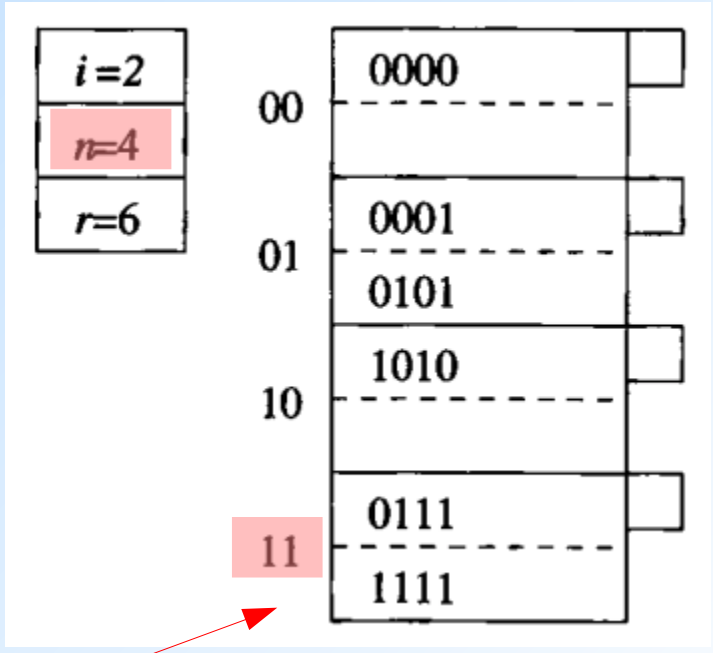



**Problema:** o *bucket* 11 não existe ainda!
**Solução:** redirecionar esse novo registro para o *bucket* 01, cujo número difere de 11 apenas por ter 0 no primeiro bit. O novo registro cabe no bloco de *overflow* do *bucket* 01.

# Inserção em uma Tabela de *Hash* Linear

**Exemplo 3: inserção de um registro com chave K tal que h(K) = 0111.**
**(Passo 2, após a inserção do novo registro no *bucket* 01)**




**Novo problema: r/n = 6 /3 > 1.7**
**Solução:** criar um novo *bucket* numerado com 11 e redistribuir os registros.

# Declaração de Índices na SQL

- Sintaxe típica:

```
CREATE INDEX <nome_indice> ON
  <nome_tabela>(<lista de atributos>);
```

- Exemplos:

```
CREATE INDEX IdxFabRefri ON
  Refrigerantes(fabricante);

CREATE UNIQUE INDEX IdxRefri ON
  Refrigerantes(nome);

CREATE INDEX IdxVenda ON
  Vendas(nome_lanch,nome_refri);
```

# O Uso de Índices

- Dado um valor *v*, o índice nos leva apenas às tuplas que possuem *v* como valor para o(s) atributos(s) do índice
- Exemplo: use IdxFabRefri e IdxVendas para encontrar o preço dos refris produzidos pela 'Cola-Coca' e vendidos no 'Sujinhos'.  (próximo slide)

# O Uso de Índices (2)

```
SELECT price FROM
                Refrigerantes, Vendas
WHERE fabricante = 'Cola-Coca' AND
   Refrigerante.nome =
   Vendas.nome_refri AND
   nome_lanch = 'Sujinhos';
```

1. Usa IdxFabRefri para obter todos os refris feitos pela 'Cola-coca'.
2. Depois, usa IdxVendas para obter os preços desses refris no Sujinhos

# Sintonia Fina (*Tuning*) de BDs

- Uma das principais dificuldades relacionadas a acelerar o acesso a um BD é decidir quais índices criar
- Pró: Um índice melhora o desempenho de consultas que podem usá-los
- Contra: Um índice piora o desempenho das modificações feitas sobre sua relação (porque uma modificação na relação pode fazer com que o índice precise ser atualizado também)

# Efeitos “Colaterais” do Uso de Índices

- Mais consumo de espaço de armazenamento (problema pequeno)
- Custo para a criação do índice (problema médio)
- Custo para a manutenção do índice (problema grave)
  - Os benefícios do uso de um índice para melhorar o tempo de execução das consultas podem ser mitigados por esse custo de manutenção

# Exemplo: Sintonia Fina

- Suponha que as únicas coisas que fazemos sobre o nosso BD de refri são:
  1. Inserir novos fatos em uma relação (10%).
  2. Encontrar o preço de um dado refri em uma dada lanchonete (90%).
- Nesse caso, IdxVendas em Vendas(nome_lanch, nome_refri) realmente ajudaria em um melhor desempenho, mas IdxRefri sobre Refrigerantes(fabricante) somente atrapalharia .

# Benefícios de um Índice Dependem de:

- Tamanho da tabela (e possivelmente de seu *layout*)
- Distribuição dos valores das colunas indexadas
- Frequência de consultas X frequência de modificações

# Softwares “Conselheiros” para Sintonia Fina *(Tuning Advisors)*

- Subárea de pesquisa muito importante
  - Fazer a sintonia de um BD de forma manual é uma tarefa muito árdua
- Um conselheiro obtém um conjunto de consultas que serão usadas como carga de trabalho para avaliar o desempenho do BD. Para constituir essa carga, o conselheiro:
  1. Escolhe consultas de forma aleatória, a partir de um histórico de consultas executadas sobre o BD ou
  2. Usa consultas de exemplo fornecidas por um projetista do BD

# Software “Conselheiros” para Sintonia Fina *(Tuning Advisors)*

- O conselheiro gera índices candidatos e avalia cada um deles usando a carga de trabalho (= consultas) selecionada:
  - Cada consulta da carga é submetida ao otimizador de consulta, que assume que somente o índice em avaliação está disponível
  - A melhora/degradação no tempo médio de execução das consultas é medida

# Plano de Execução de uma Consulta

- Para ver qual é o plano de execução que um SGBD usa para uma dada consulta, usamos o comando **EXPLAIN**.
- Exemplo:

```
EXPLAIN SELECT price FROM Refrigerantes, Vendas
WHERE fabricante = 'Cola-Coca' AND
   Refrigerante.nome = Vendas.nome_refri AND
   nome_lanch = 'Sujinhos';
```

# Referências Bibliográficas

- Sobre estruturas de índices:

  Capítulo 14 do livro “Database Systems – The Complete Book” (2ª edição), Garcia-Molina, Ullman e Widom

- Para mais detalhes sobre gerenciamento de armazenamento secundário, ler também:

  Capítulo 13 do livro “Database Systems – The Complete Book” (2ª edição), Garcia-Molina, Ullman e Widom

# Criação de Índices no PostgreSQL

- Estrutura geral (bem simplificada!):

**CREATE [ UNIQUE ] INDEX [ CONCURRENTLY ]**

<nome do índice> **ON** < nome da tabela >

[ **USING** <método> ] ( { coluna } [ **ASC** | **DESC** ]  [, ...] );

- **UNIQUE** cria uma restrição de unicidade sobre a(s) coluna(s) do índice.
- **CONCURRENTLY** permite o PostgreSQL construir o índice sem bloquear a tabela para modificações concorrentes (inserts, updates ou deletes) → **isso pode ser perigoso!**

# Criação de Índices no PostgreSQL

- O índice também pode ser construído para valores computados a partir de uma expressão envolvendo um ou mais atributos de uma tabela. Ex:

  **CREATE INDEX idx_maiuscula ON**

  **Lanchonete(upper(nome)) ;**

- Além de índices para tabelas, podemos também criar índices para visões materializadas.

# Métodos (Tipos) para Índices no PostgreSQL

Métodos existentes no PostgreSQL:

**Btree (padrão)**, **Hash**, **GiST, SP-GiST** e **GIN**

- Somente o método **Btree** pode ser usado para índices do tipo **UNIQUE**.
- Somente os métodos **Btree, GiST** e **GIN** suportam índices com várias colunas.
- Índices com mais de um campo somente serão utilizados para agilizar consultas se as cláusulas envolvendo os campos indexados forem ligadas por AND.
- Quando indicamos atributos como chave primária em uma tabela, automaticamente é criado um índice Btree sobre eles.

# Métodos para a Criação de Índices no PostgreSQL

- **Btree** – Árvores-B podem ser usadas em consultas com condições de seleção baseadas em igualdade de valores ou em intervalos, sobre dados que podem estar armazenados ordenadamente

- O planejador de consultas do PostgreSQL considerará o uso de um índice do tipo **Btree** sempre que uma coluna indexada estiver envolvida em uma comparação usando um ou mais dos seguintes operadores:
  - **<, <= , =, >= e >**
  - **like** (se o padrão for uma constante e estiver ancorado no início da string, como em coluna like 'MAC%')

# Métodos para a Criação de Índices no PostgreSQL

- **Hash** – só pode ser usado em consultas envolvendo condições de seleção baseadas em simples comparações de igualdade

- O planejador de consultas do PostgreSQL considerará o uso de um índice do tipo **Hash** sempre que uma coluna indexada estiver envolvida em uma comparação usando o operador "="

- Nota: por problemas na forma como ele é implementado no gerenciador, o uso desse tipo de índice no PostgreSQL atualmente é desencorajado

# Referências Bibliográficas para o PostgreSQL

- http://www.postgresql.org/docs/9.5/interactive/indexes.html