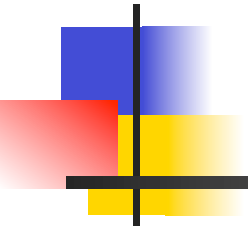


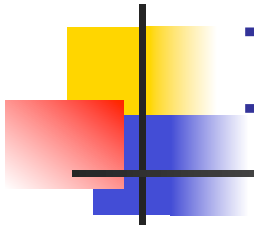
Métodos de Busca

Parte 1

Introdução à Ciência da Computação II

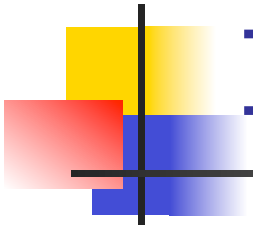
Prof. Diego Raphael Amancio

Baseado no material do Prof. Rudinei Goularte e do Prof. Thiago A. S. Pardo



Introdução

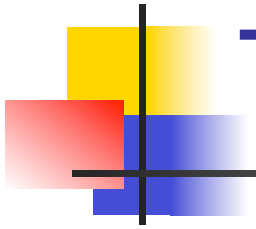
- Importância em estudar busca
  - Busca é uma tarefa muito comum?
- Vários métodos e estruturas de dados podem ser empregados para se fazer busca
  - Quais estruturas de dados?
- Certos métodos de organização/ordenação de dados podem tornar o processo de busca mais eficiente



Introdução

- O problema da busca (ou pesquisa)

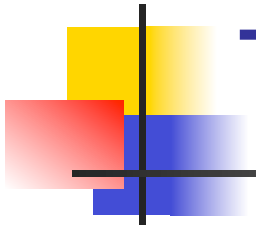
  "*Dado um conjunto de elementos, onde cada um é identificado por uma chave, o objetivo da busca é localizar, nesse conjunto, o elemento que corresponde a uma chave específica*"



Termos Relacionados

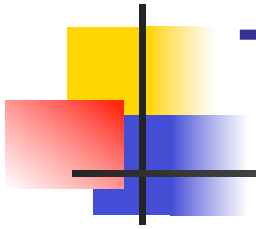
- Tabela: termo genérico, pode ser qualquer estrutura de dados usada para armazenamento interno e organização dos dados

- Uma tabela é um conjunto de elementos, chamados registros



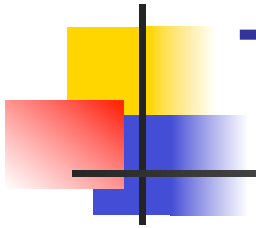
Termos Relacionados

- Existe uma chave associada a cada registro, usada para diferenciar os registros entre si
  - Chave interna: chave está contida dentro do registro, em uma localização específica
  - Chave externa: essas chaves estão contidas em uma tabela de chaves separada que inclui ponteiros para os registros
  - Chave primária: para todo arquivo existe pelo menos um conjunto exclusivo de chaves
    - Dois registros não podem ter o mesmo valor de chave
  - Chave secundária: são as chaves não primárias
    - Chaves que não precisam ter seus valores exclusivos



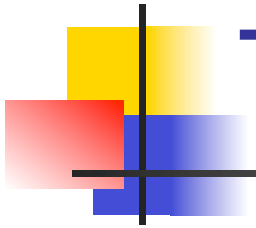
Termos Relacionados

- Algoritmo de busca
  - Formalmente, é o algoritmo que aceita um argumento **a** e tenta encontrar o registro cuja chave seja **a**



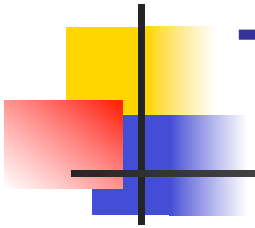
Termos Relacionados

- Operações na tabela
  - Inserção: adicionar um novo elemento à tabela
  - Algoritmo de busca e inserção: se não encontra o registro, insere um novo
  - Remoção: retirar um elemento da tabela
  - Recuperação: procurar um elemento na tabela e, se achá-lo, torná-lo disponível



Tipos de Busca

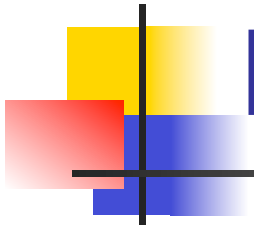
- A tabela pode ser:
  - Um vetor de registros
  - Uma lista encadeada
  - Uma árvore
  - Etc.
- A tabela pode ficar:
  - Totalmente na memória (busca interna)
  - Totalmente no armazenamento auxiliar (busca externa)
  - Dividida entre ambos



Tipos de Busca

- Algumas **técnicas de busca em memória interna** são
  - Busca Seqüencial
  - Busca Binária
  - Busca por Interpolação
  - Busca em Árvores
  - Hashing

- O objetivo é encontrar um dado registro com o **menor custo**
  - Cada técnica possui vantagens e desvantagens

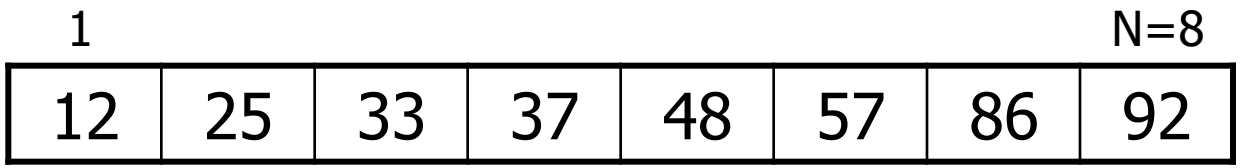


Busca Seqüencial

- A busca seqüencial é a forma mais simples de busca
  - É aplicável a uma tabela organizada como um vetor ou como uma lista encadeada

Busca Seqüencial

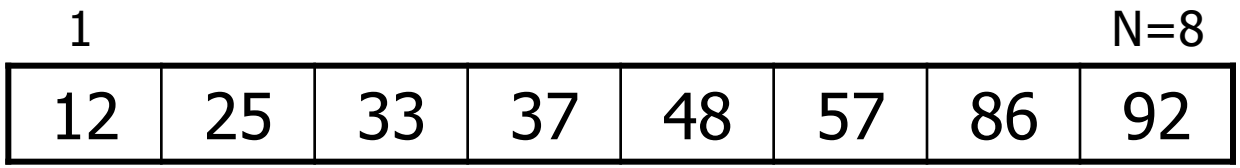
- Busca mais simples que há
  - Percorre-se registro por registro em busca da chave



Busca Seqüencial

- Busca mais simples que há
  - Percorre-se registro por registro em busca da chave

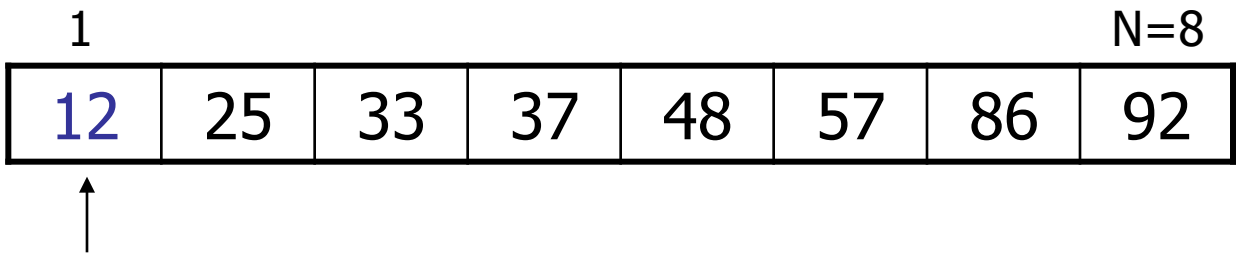
Procure por 48



Busca Seqüencial

- Busca mais simples que há
  - Percorre-se registro por registro em busca da chave

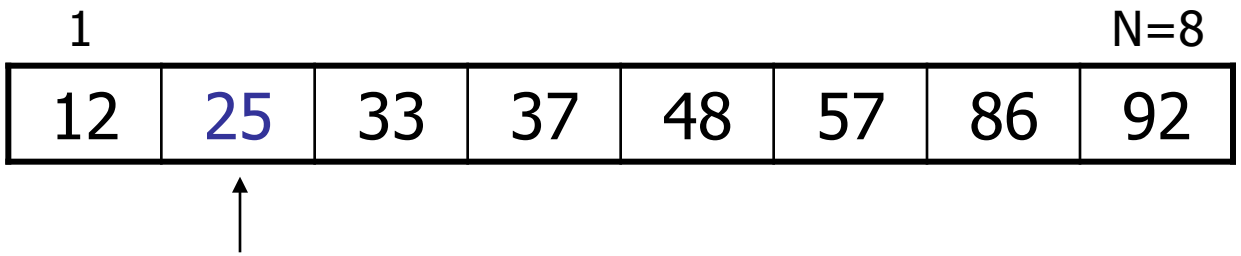
Procure por 48



Busca Seqüencial

- Busca mais simples que há
  - Percorre-se registro por registro em busca da chave

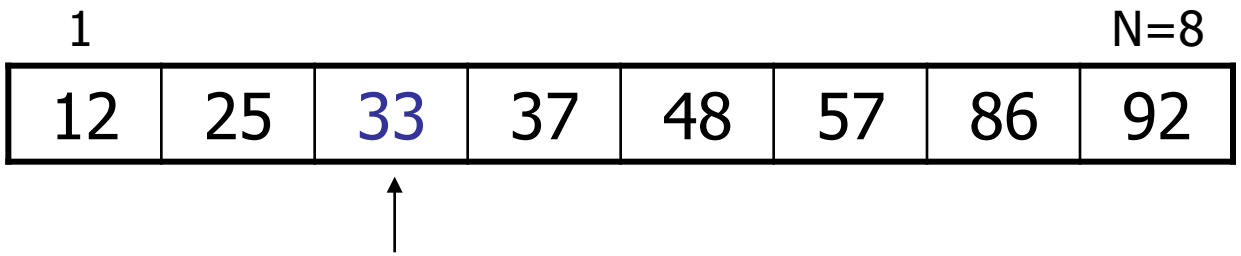
Procure por 48



Busca Seqüencial

- Busca mais simples que há
  - Percorre-se registro por registro em busca da chave

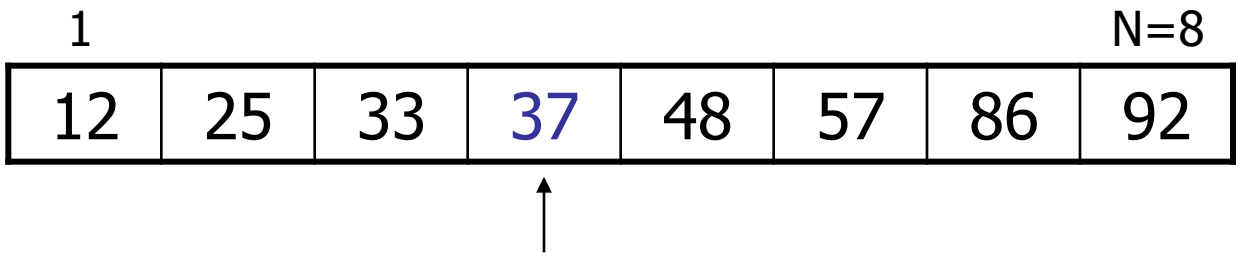
Procure por 48



Busca Seqüencial

- Busca mais simples que há
  - Percorre-se registro por registro em busca da chave

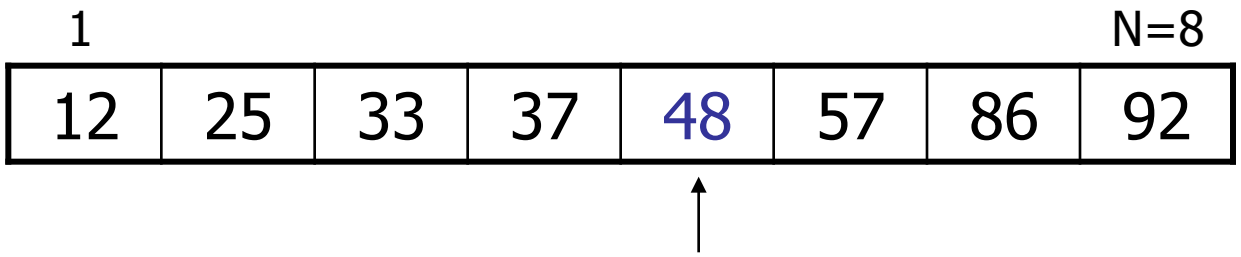
Procure por 48

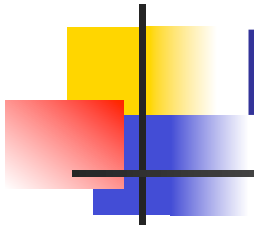


Busca Seqüencial

- Busca mais simples que há
  - Percorre-se registro por registro em busca da chave

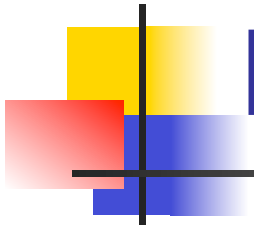
Procure por 48





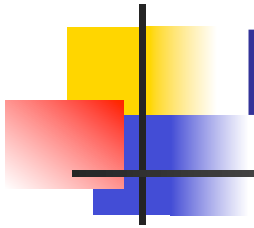
Busca Seqüencial

- Implementação
  - Algoritmo de busca seqüencial em um vetor A, com N posições (0 até N-1), sendo x a chave procurada



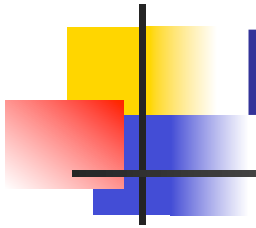
Busca Seqüencial

- Uma maneira de tornar o algoritmo mais eficiente é usar um **sentinela**
  - Sentinela: consiste em adicionar um elemento de valor x no final da tabela
  - Qual a vantagem de se usar um nó sentinela?



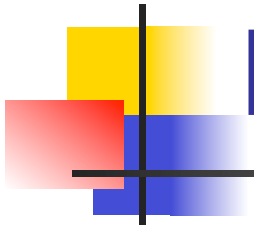
Busca Seqüencial

- Uma maneira de tornar o algoritmo mais eficiente é usar um **sentinela**
  - Sentinela: consiste em adicionar um elemento de valor x no final da tabela
  - O sentinela garante que o elemento será encontrado, o que elimina um teste, melhorando a performance do algoritmo



Busca Seqüencial

- Implementação
  - Busca seqüencial com sentinela

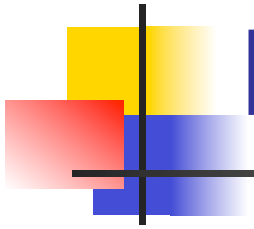


Busca Seqüencial

- Limitações do vetor
  - Tamanho fixo
    - Pode desperdiçar ou faltar espaço
- Alternativa
  - Lista encadeada
    - O que muda na busca seqüencial?

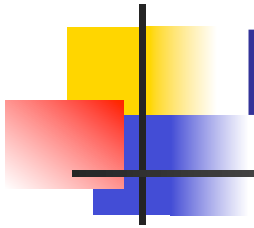
Busca Seqüencial

```
//busca sequencial com sentinela no fim;
//exige que arranjo seja declarado com uma posição a mais
int busca_sequencial_com_sentinela(int v[], int n, int x) {
    int i;
    v[n]=x;
    for(i=0; x!=v[i]; i++);
    if (i<n) return(i);
    else return(-1);
}
```



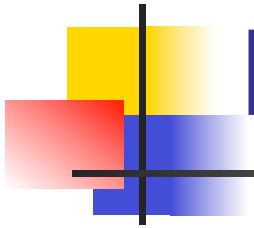
Busca Seqüencial

- Complexidade
  - Se o registro for o primeiro: 1 comparação
  - Se o registro procurado for o último: N comparações
  - Se for igualmente provável que o argumento apareça em qualquer posição da tabela, em média: (n+1)/2 comparações
  - Se a busca for mal sucedida: N comparações
  - Logo, a busca seqüencial, no pior caso, é O(n)



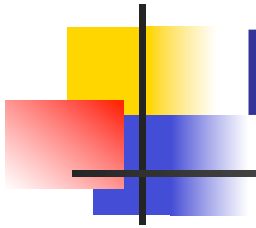
Busca Seqüencial

- Arranjo não ordenado
  - Inserção no final do arranjo
  - Remoção
    - Realocação dos registros acima do registro removido



Busca Seqüencial

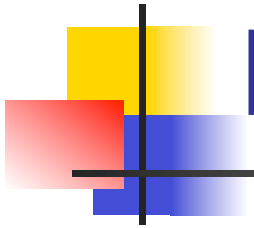
- Para aumentar a eficiência
  - Reordenar continuamente a tabela de modo que os registros mais acessados sejam deslocados para o início
    - A) Método mover-para-frente: sempre que uma pesquisa obtiver êxito, o registro recuperado é colocado no início da lista
    - B) Método da transposição: um registro recuperado com sucesso é trocado com o registro imediatamente anterior
      - Ambos se baseiam no fenômeno da recuperação recorrente de registros



Busca Seqüencial

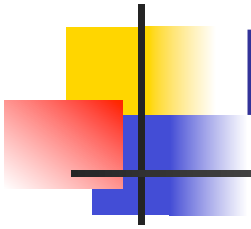
- Desvantagens do método mover-para-frente
  - Uma única recuperação não implica que o registro será freqüentemente recuperado
    - Perda de eficiência para os outros registros
  - O método é mais "caro" em vetores do que em listas
    - Por quê?

- Vantagens do método mover-para frente
  - Possui resultados melhores para quantidades pequena e média de buscas



Busca Seqüencial

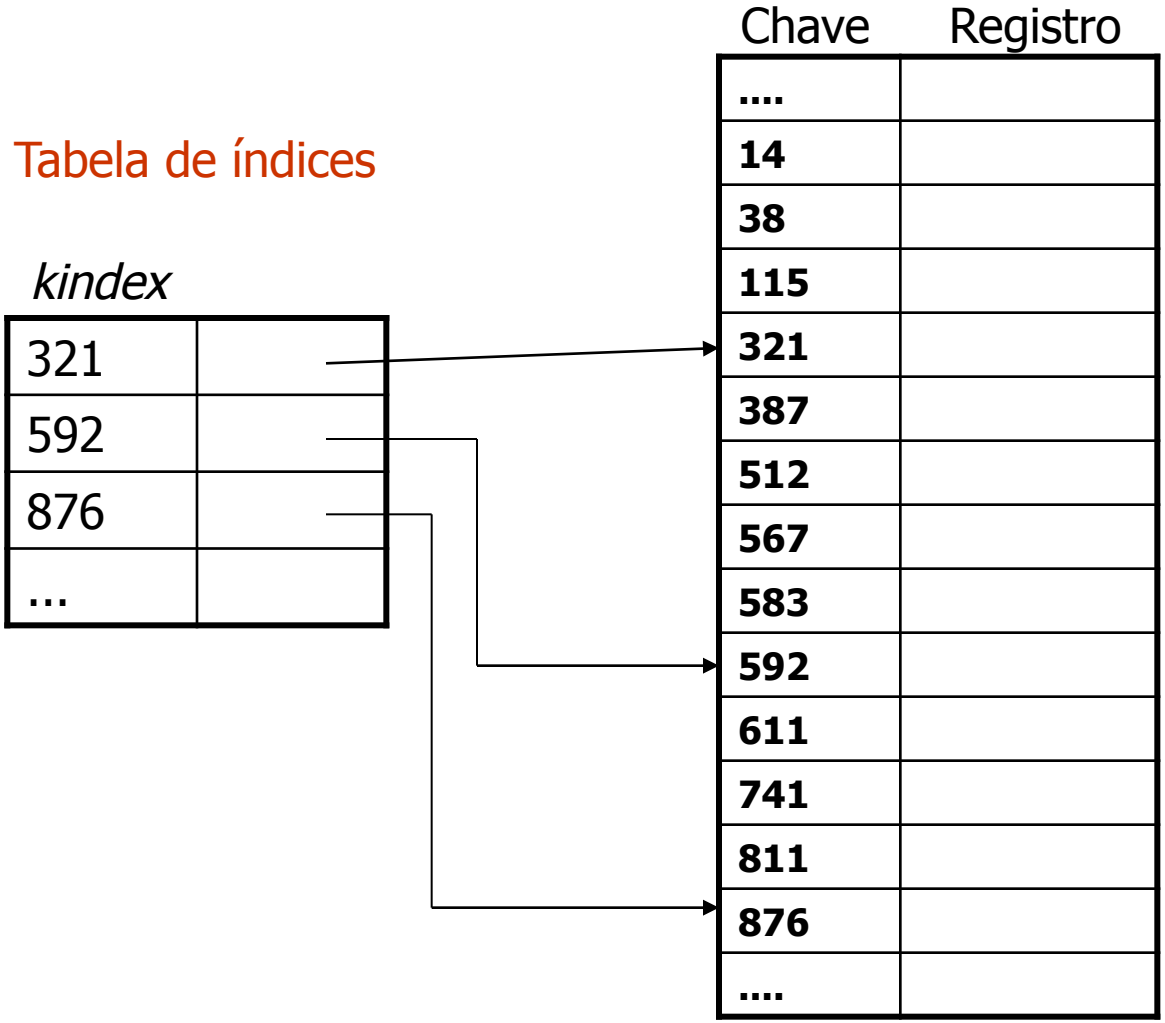
- Busca seqüencial em tabela ordenada
  - A eficiência da operação de busca melhora se as chaves dos registros estiverem ordenadas
    - No pior caso (caso em que a chave não é encontrada), são necessárias N comparações quando as chaves estão desordenadas
    - No caso médio, N/2 comparações se as chaves estiverem ordenadas, pois se para a busca assim que uma chave maior do que a procurada é encontrada

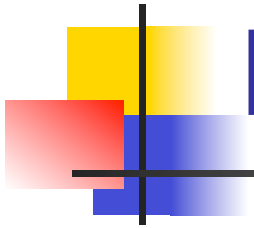


Busca Seqüencial

- Busca seqüencial indexada
  - Existe uma tabela auxiliar, chamada tabela de índices, além do próprio arquivo ordenado
  - Cada elemento na tabela de índices contém uma chave (*kindex*) e um indicador do registro no arquivo que corresponde a *kindex*
    - Faz-se a busca a partir do ponto indicado na tabela, sendo que a busca não precisa ser feita desde o começo
  - Pode ser implementada como um vetor ou como uma lista encadeada
    - O indicador da posição na tabela pode ser um ponteiro ou uma variável inteira

Busca Seqüencial

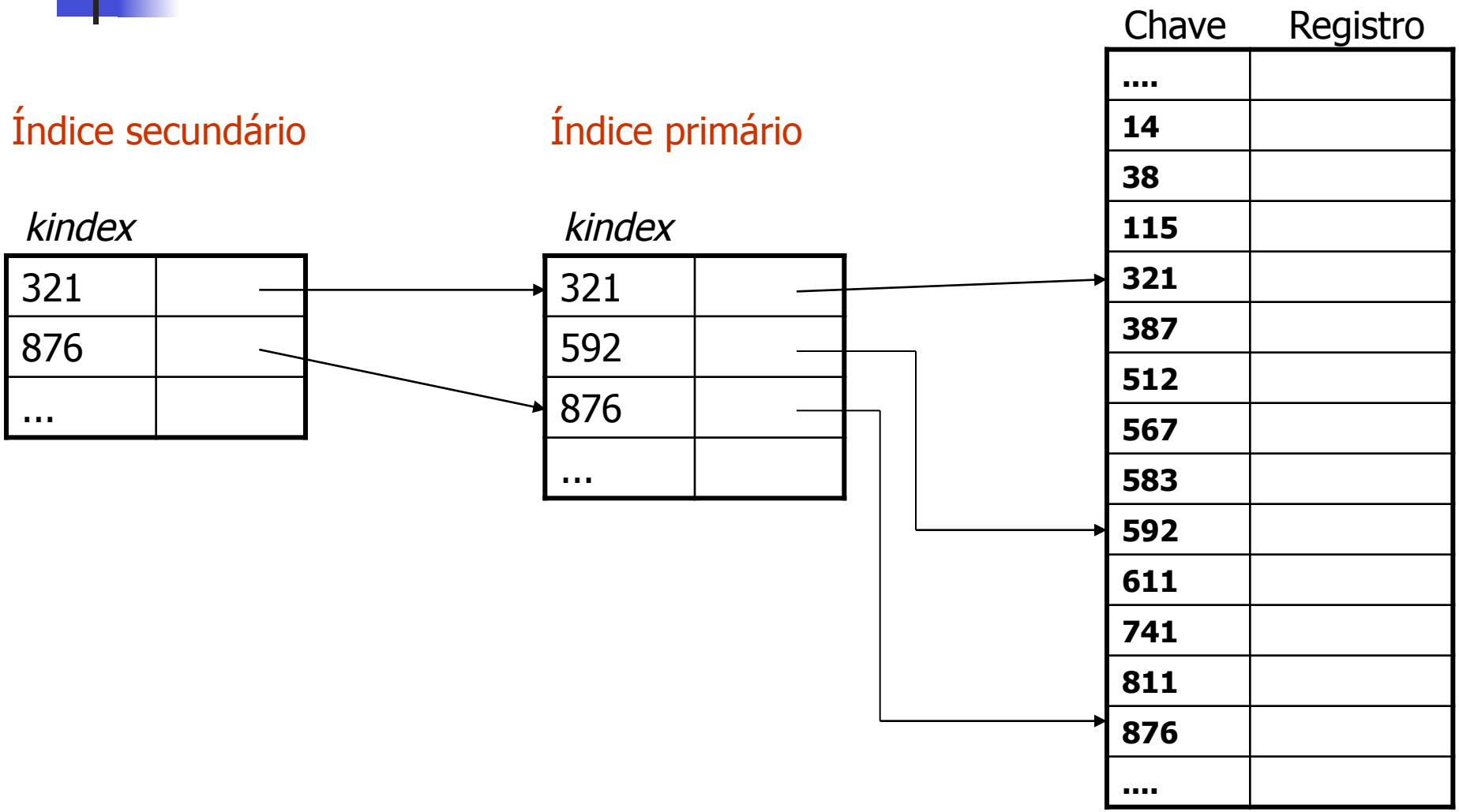


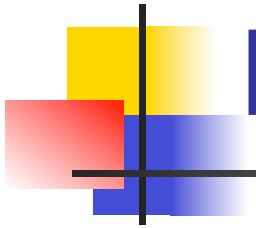


Busca Seqüencial

- Busca seqüencial indexada
  - Se a tabela for muito grande, pode-se ainda usar a **tabela de índices secundária**
    - O índice secundário é um índice para o índice primário

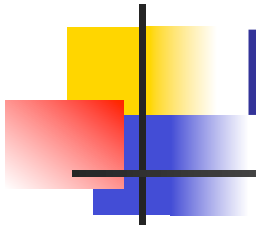
Busca Seqüencial





Busca Seqüencial

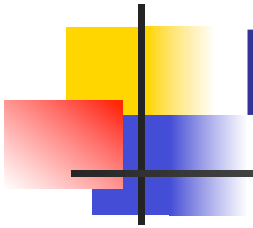
- Vantagem
  - Os itens na tabela poderão ser examinados seqüencialmente sem que todos os registros precisem ser acessados
    - O tempo de busca diminui consideravelmente
- Desvantagens



Busca Seqüencial

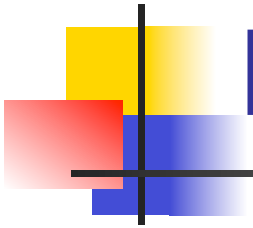
- Vantagem
  - Os itens na tabela poderão ser examinados seqüencialmente sem que todos os registros precisem ser acessados
    - O tempo de busca diminui consideravelmente

- Desvantagens
  - A tabela tem que estar ordenada



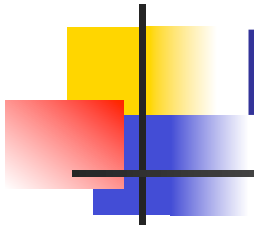
Busca Seqüencial

- Vantagem
  - Os itens na tabela poderão ser examinados seqüencialmente sem que todos os registros precisem ser acessados
    - O tempo de busca diminui consideravelmente
- Desvantagens
  - A tabela tem que estar ordenada
  - Exige espaço adicional para armazenar a(s) tabela(s) de índices
- Algo mais?



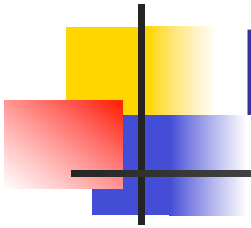
Busca Seqüencial

- Vantagem
  - Os itens na tabela poderão ser examinados seqüencialmente sem que todos os registros precisem ser acessados
    - O tempo de busca diminui consideravelmente
- Desvantagens
  - A tabela tem que estar ordenada
  - Exige espaço adicional para armazenar a(s) tabela(s) de índices
- Cuidados com inserção e remoção



Busca Seqüencial

- Remoção
  - Remove-se o elemento e rearranja-se a tabela inteira e o(s) índice(s)
  - Marca-se a posição do elemento removido, indicando que ela pode ser ocupada por um outro elemento futuramente
    - A posição da tabela fica vazia

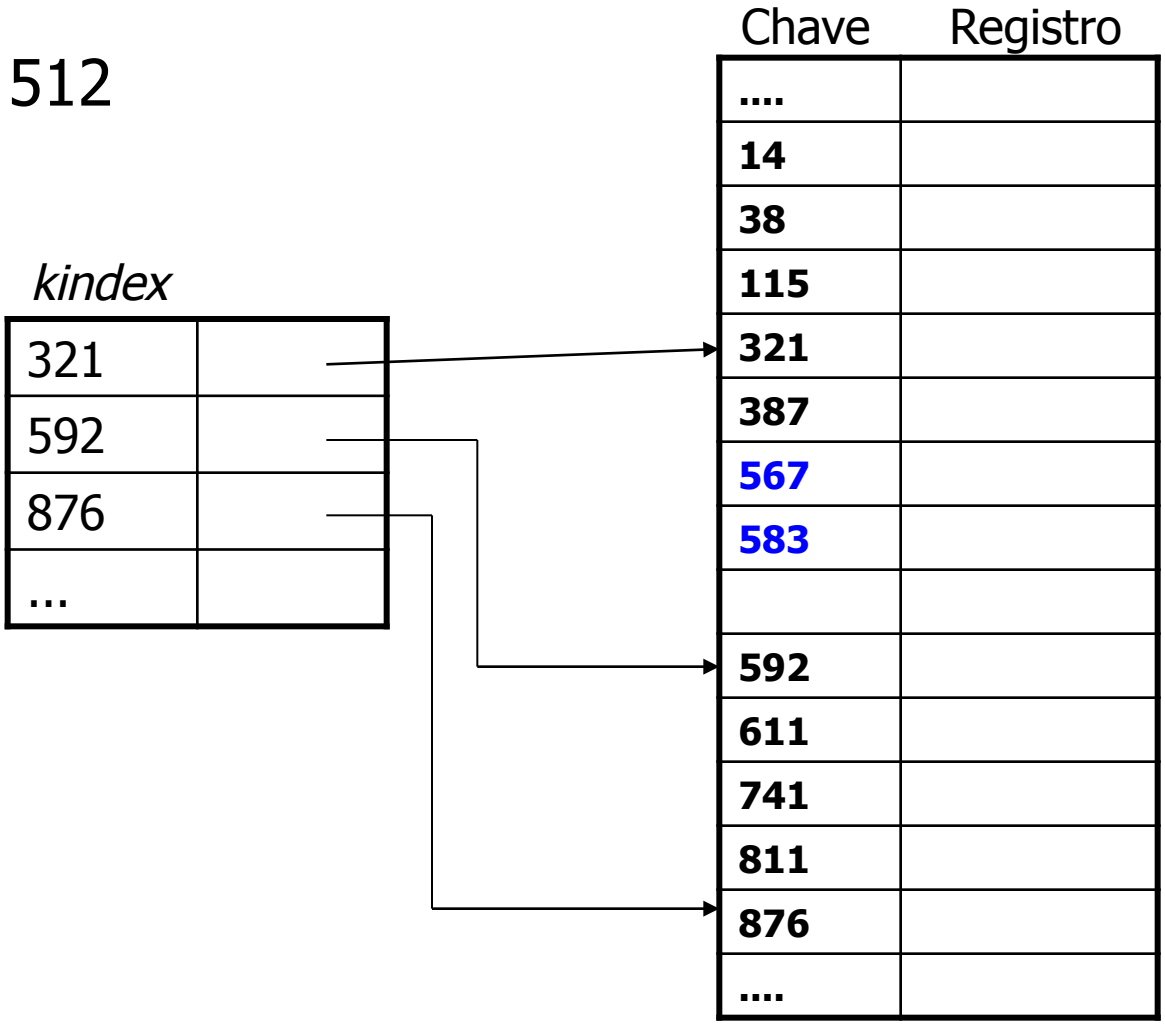


Busca Seqüencial

- Inserção
  - Se houver espaço vago na tabela, rearranjam-se os elementos localmente
  - Se não houver espaço vago
    - Rearranjar a tabela a partir do ponto apropriado e reconstruir o(s) índice(s)

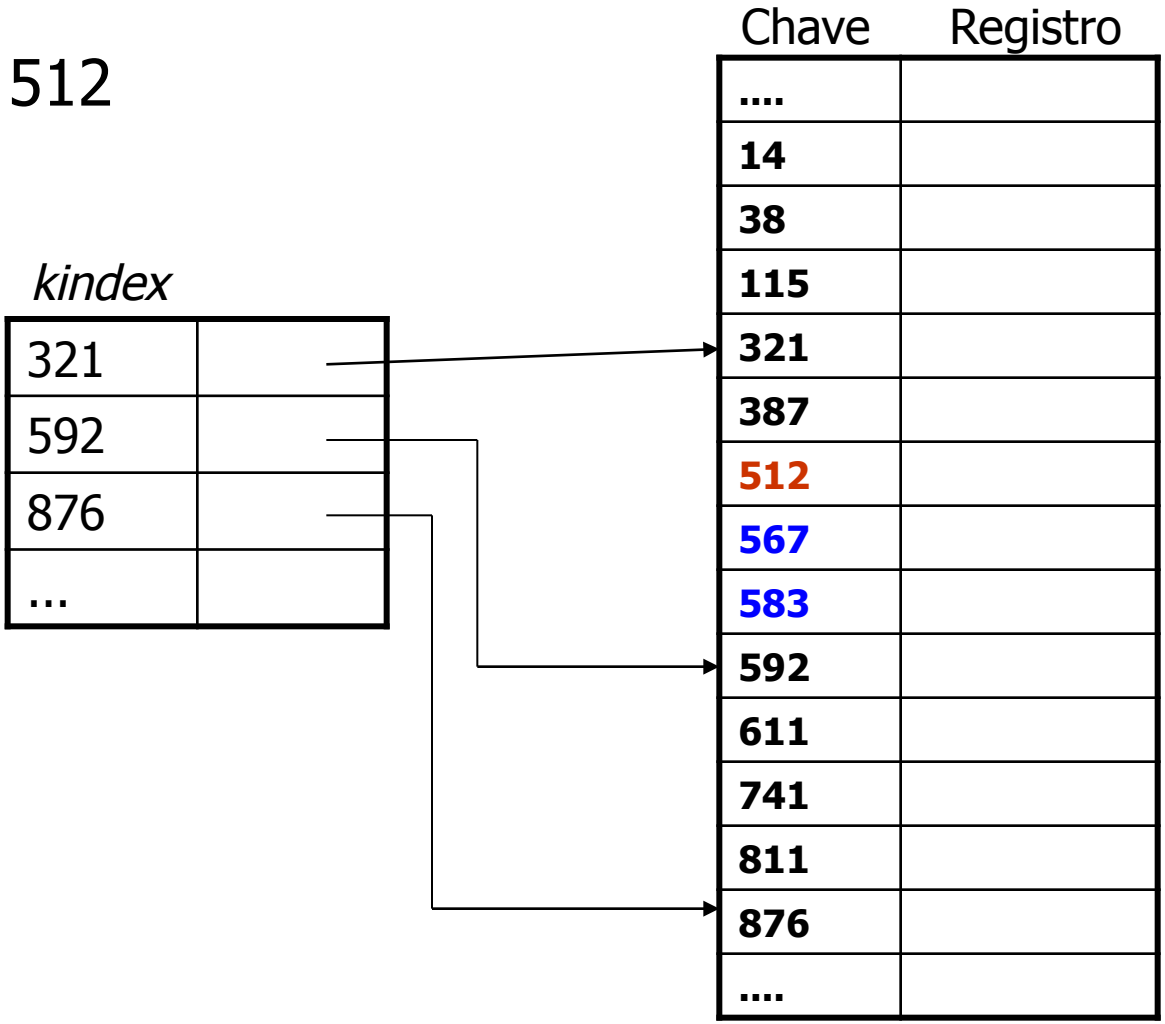
Busca Seqüencial

- Inserção do elemento 512 com espaço vago
  - 567 e 583 descem
  - 512 é inserido



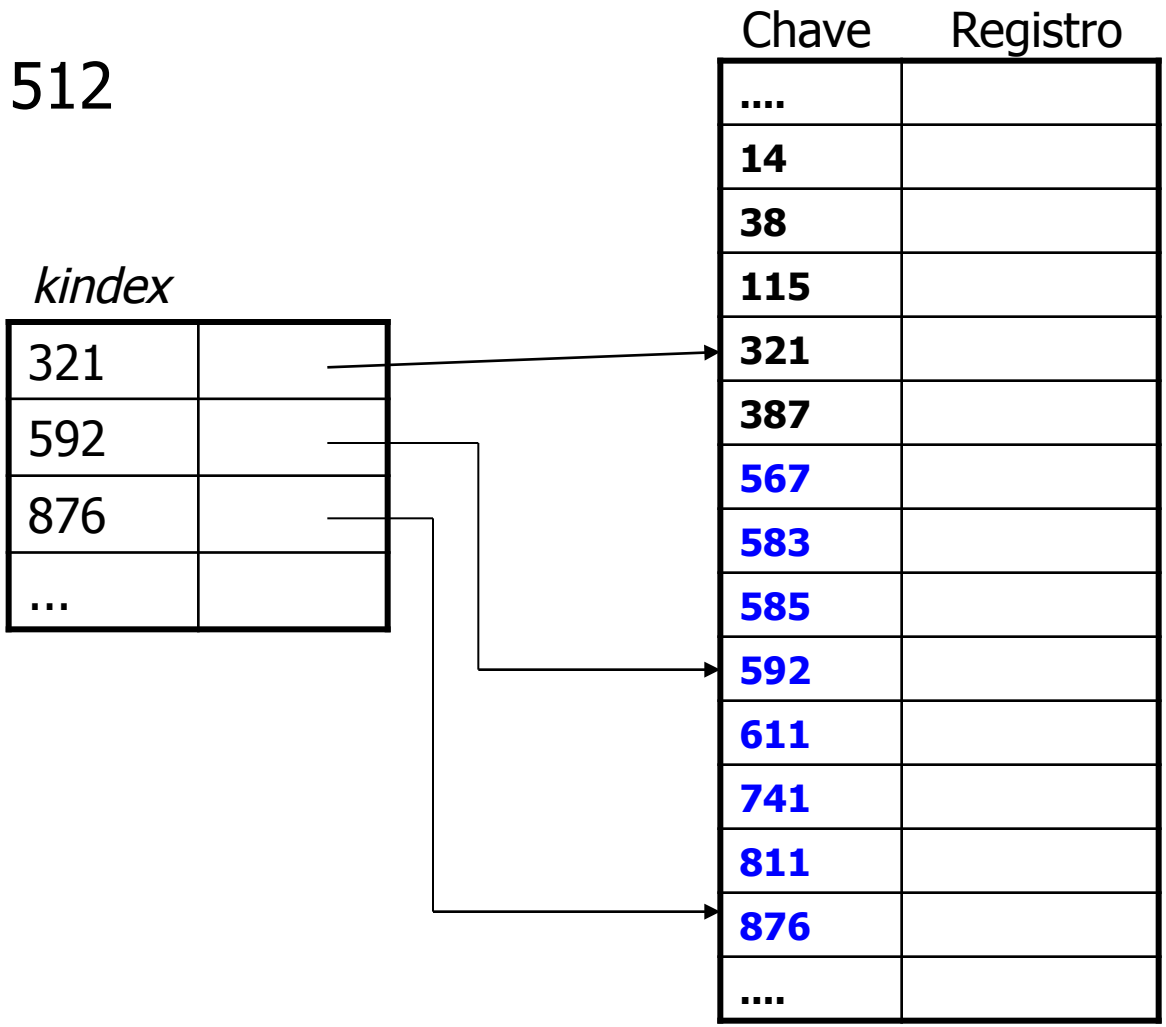
Busca Seqüencial

- Inserção do elemento 512 com espaço vago
  - 567 e 583 descem
  - 512 é inserido



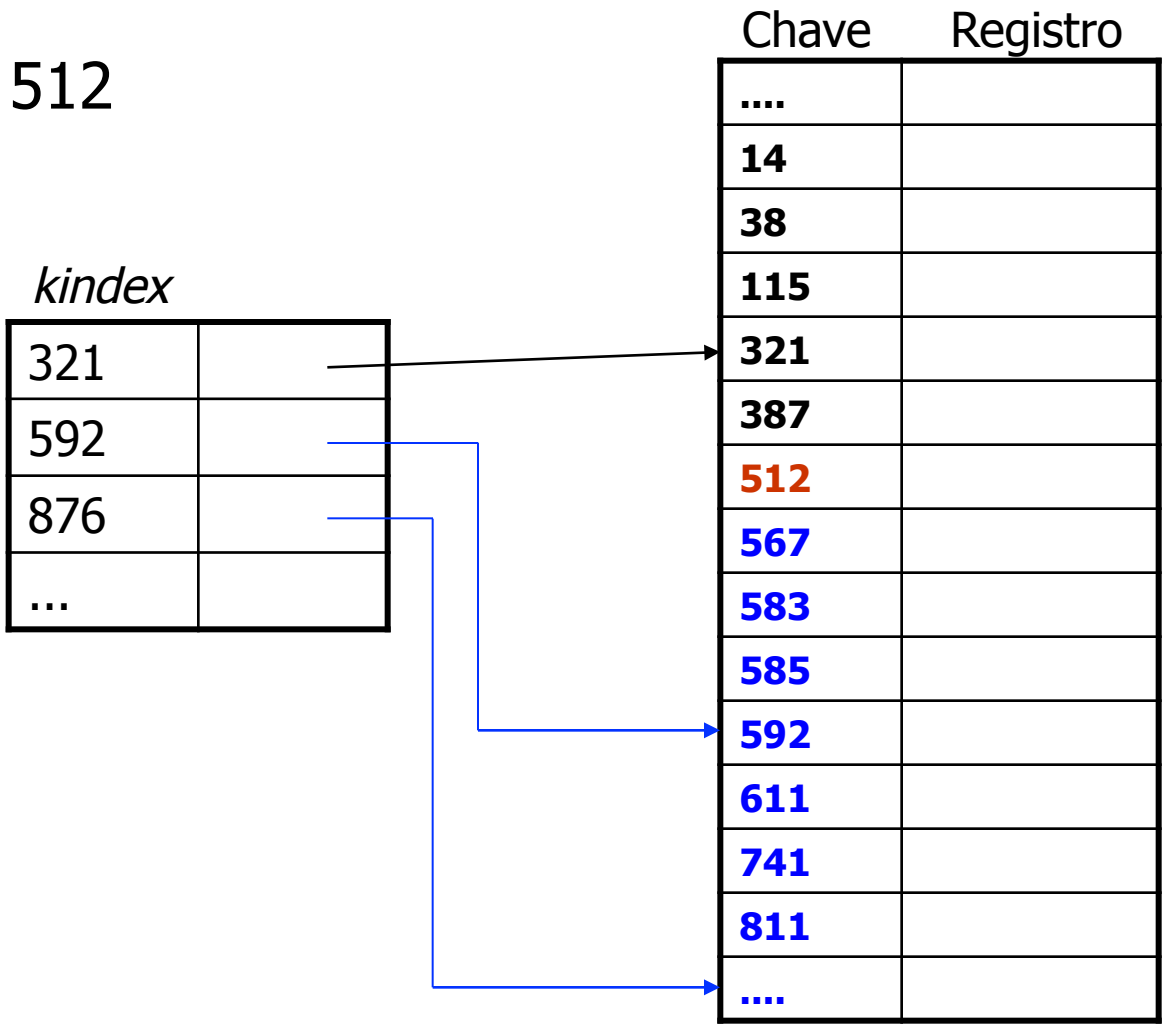
Busca Seqüencial

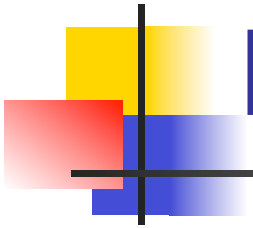
- Inserção do elemento 512 sem espaço vago
  - Elementos a partir de 567 descem
  - 512 é inserido
  - Índice é re-construído



Busca Seqüencial

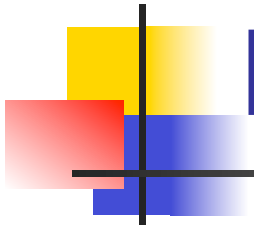
- Inserção do elemento 512 sem espaço vago
  - Elementos a partir de 567 descem
  - 512 é inserido
  - Índice é re-construído





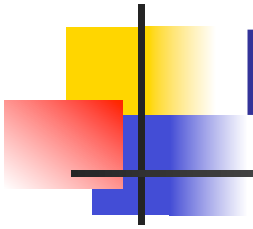
Busca Seqüencial

- Como montar o índice primário
  - Se a tabela não estiver ordenada, ordene-a
  - Divide-se o número de elementos da tabela pelo tamanho do índice desejado: n/tamanho-índice
  - Para montar o índice, recuperam-se da tabela os elementos 0, 0+n/tamanho-índice, 0+2*n/tamanho-índice, etc.
  - Cada elemento do índice representa n/tamanho-índice elementos da tabela



Busca Seqüencial

- Exemplo
  - Divide-se o número de elementos da tabela pelo tamanho do índice desejado
    - Se a tabela tem 1.000 elementos e deseja-se um índice primário de 10 elementos, faz-se 1.000/10=100
  - Para montar o índice, recuperam-se da tabela os elementos 0, 0+n/tamanho-índice, 0+2*n/tamanho-índice, etc.
    - O índice primário é montado com os elementos das posições 0, 100, 200, etc. da tabela
  - Cada elemento do índice representa n/tamanho-índice elementos da tabela
    - Cada elemento do índice primário aponta para o começo de um grupo de 100 elementos da tabela

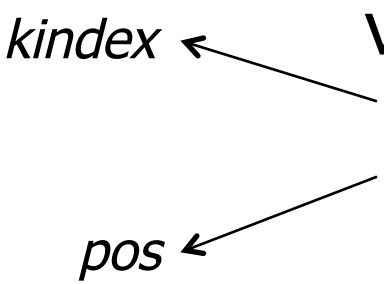


Busca Seqüencial

- Para montar um índice secundário, aplica-se raciocínio similar sobre o índice primário
- Em geral, não são necessários mais do que 2 índices

Busca Seqüencial

- Exercício
  - Escrever em C a sub-rotina para produzir o índice primário de um vetor ordenado

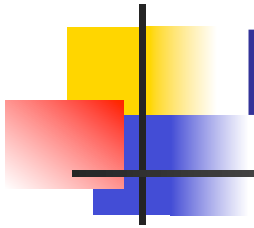


void criaIndice

- bloco_indice indice[]
- int tamanho_indice
- int v[]
- int n

Implementação

```
//função que cria o índice primário para
//a busca sequencial indexada usar
void cria_indice(bloco_indice indice[],
                 int tam_indice, int v[], int n) {
     int pos, i=0;
     while (i<tam_indice) {
           pos=i*n/tam_indice;
           indice[i].kindex=v[pos];
           indice[i].pos=pos;
           i++;
     }
}
```



Busca Seqüencial

- Exercício (nota adicional)
  - Escrever em C uma sub-rotina de busca sequencial indexada por um elemento em uma tabela com índice primário
  - int bsi → retorna posicao
    - int v[], int n
    - bloco_indice indice[], int tamanho_indice
    - int x

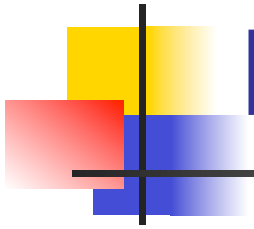
```c
//busca sequencial indexada: além do vetor ordenado, exige que se tenha
o indice previamente criado (pela função acima)
int busca_sequencial_indexada(int v[], int n, bloco_indice indice[], int
tam_indice, int x) {
    int i;

    //busca no índice primário
    for (i=0; i<tam_indice && indice[i].kindex<=x; i++);
    i=indice[i-1].pos;

    //busca na tabela
    while ((i<n) && (v[i]<x))
        i++;
    if ((i<n) && (v[i]==x))
        return(i);
    else return(-1);
}
```

Busca Binária

- Se os dados estiverem ordenados em um arranjo, pode-se tirar vantagens dessa ordenação
  - Busca binária

A[i]<=A[i+1], se ordem crescente

A[i]>=A[i+1], se ordem decrescente

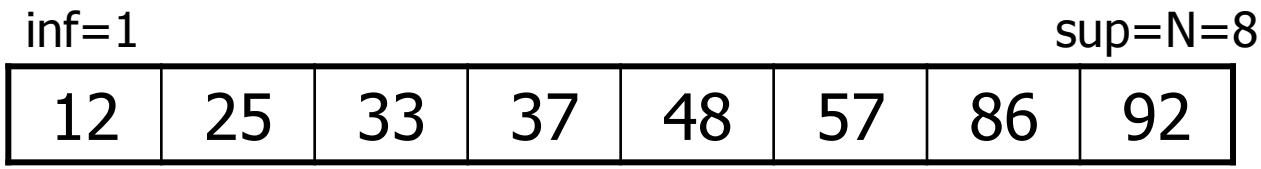


Busca Binária

- O elemento buscado é comparado ao elemento do meio do arranjo
  - Se igual, busca bem-sucedida
  - Se menor, busca-se na metade inferior do arranjo
  - Se maior, busca-se na metade superior do arranjo

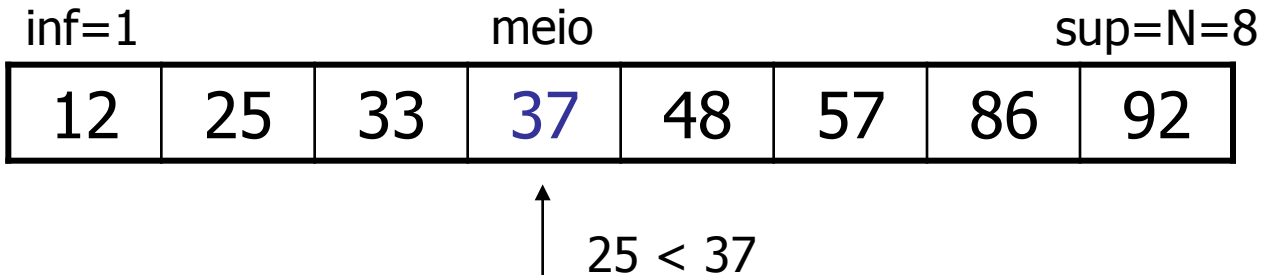
Busca Binária

- Busca-se por 25



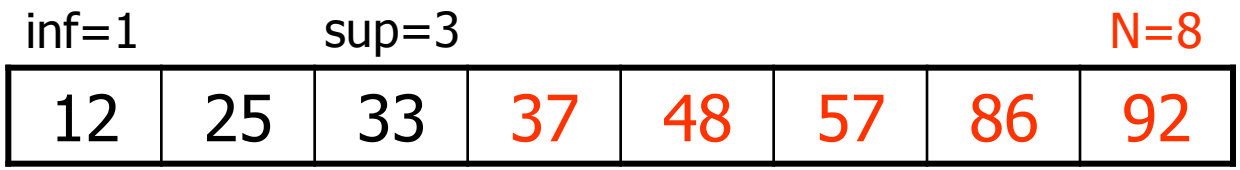
Busca Binária

- Busca-se por 25



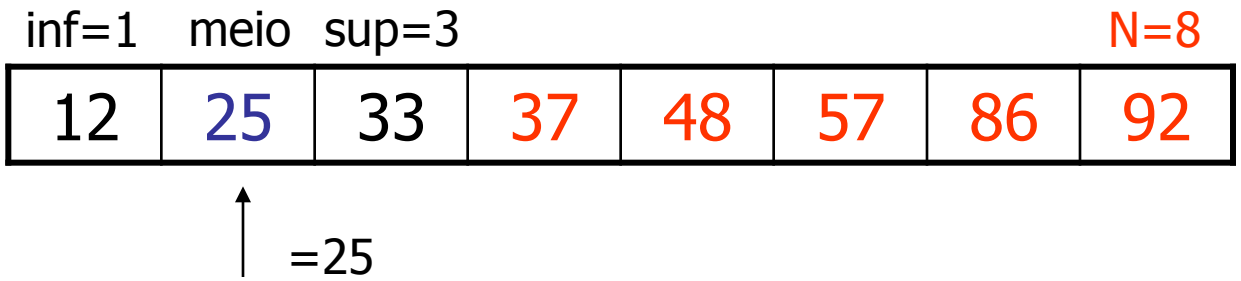
Busca Binária

- Busca-se por 25



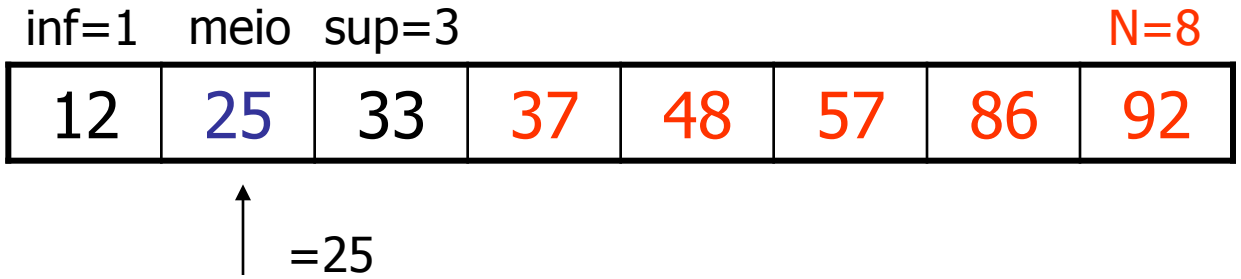
Busca Binária

- Busca-se por 25

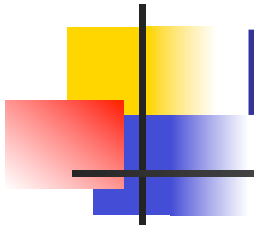


Busca Binária

- Busca-se por 25



Em cada passo, o tamanho do arranjo em que se busca é dividido por 2

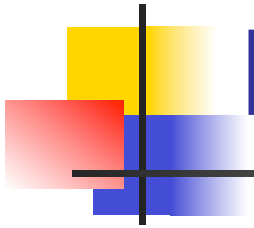


Busca Binária

- Exercício
  - Escrever em C uma sub-rotina de busca binária por um elemento em um arranjo ordenado
    - Versão recursiva
    - Versão não recursiva

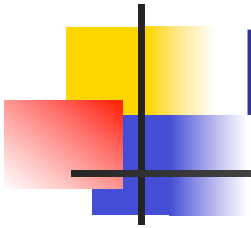
```c
//busca binária não recursiva
int busca_binaria(int v[], int n, int x) {
    int inf=0, sup=n-1, meio;

    while (inf<=sup) {
        meio=(inf+sup)/2;
        if (x==v[meio])
            return(1);
        else if (x<v[meio])
            sup=meio-1;
        else inf=meio+1;
    }

    return(0);
}
```

```c
//busca binária recursiva: deve passar os limites inferior
(inicialmente igual a 0) e superior (inicialmente igual a
n-1)
int busca_binaria_rec(int v[], int inf, int sup, int x) {
    int meio;

    if (inf<=sup) {
        meio=(inf+sup)/2;
        if (x==v[meio])
            return(1);
        else if (x<v[meio])
                return(busca_binaria_rec(v,inf,meio-1,x));
        else return(busca_binaria_rec(v,meio+1,sup,x));
    }
    else return(0);
}
```



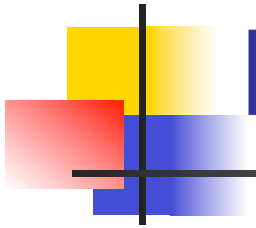
Busca Binária

- Complexidades?



Busca Binária

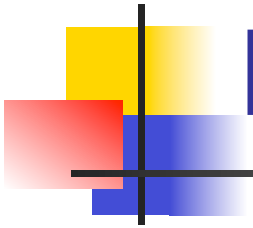
- Complexidades?
  - O(log(n)), pois cada comparação reduz o número de possíveis candidatos por um fator de 2



Busca Binária

- Vantagens
  - Eficiência da busca
  - Simplicidade da implementação

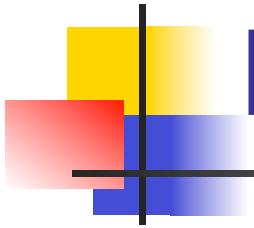
- Desvantagens
  - Nem todo arranjo está ordenado



Busca Binária

- Vantagens
  - Eficiência da busca
  - Simplicidade da implementação

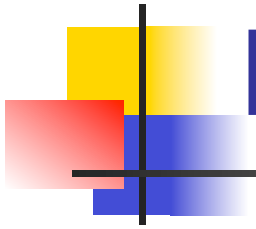
- Desvantagens
  - Nem todo arranjo está ordenado
  - Exige o uso de um arranjo para armazenar os dados
    - Faz uso do fato de que os índices do vetor são inteiros consecutivos
  - Inserção e remoção de elementos são ineficientes
    - Realocação de elementos



Busca Binária

- A busca binária pode ser usada com a organização de tabela seqüencial indexada
  - Em vez de pesquisar o índice seqüencialmente, pode-se usar uma busca binária

Busca por Interpolação

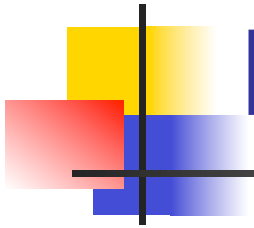


- Se as chaves estiverem uniformemente distribuídas, esse método pode ser ainda mais eficiente do que a busca binária

- Com chaves uniformemente distribuídas, pode-se esperar que x esteja aproximadamente na posição

  meio = inf + (sup – inf) * ((x – A[inf]) / (A[sup] – A[inf]))

  sendo que inf e sup são redefinidos iterativamente como na busca binária



Busca por Interpolação

- Complexidade
  - O(log(log(n))) se as chaves estiverem uniformemente distribuídas
    - Raramente precisará de mais comparações
  - Se as chaves não estiverem uniformemente distribuídas, a busca por interpolação pode ser tão ruim quanto uma busca seqüencial

Busca por Interpolação

- Desvantagem
  - Em situações práticas, as chaves tendem a se aglomerar em torno de determinados valores e não são uniformemente distribuídas
    - Exemplo: há uma quantidade maior de nomes começando com “S” do que com “Q”