

Mapas

Dicionários e tabelas

Prof. Marcelo de Souza

45RPE – Resolução de Problemas com Estruturas de Dados
Universidade do Estado de Santa Catarina



Leitura principal:

- ▶ Capítulo 10 de [Goodrich et al. \(2014\)](#)¹ – Mapas, tabelas hash e skip lists.

Leitura complementar:

- ▶ Capítulo 3 (3.1) de [Sedgewick e Wayne \(2011\)](#)² – Tabelas de símbolos.
- ▶ Capítulo 8 de [Preiss \(2001\)](#)³ – Dispersão, tabelas de dispersão e tabelas de espalhamento.

¹Michael T Goodrich et al. (2014). *Data structures and algorithms in Java*. 6ª ed. John Wiley & Sons.

²Robert Sedgewick e Kevin Wayne (2011). *Algorithms*. Addison-Wesley Professional.

³Bruno R Preiss (2001). *Estruturas de dados e algoritmos: padrões de projetos orientados a objetos com Java*. Campus.

Mapas

Conceitos básicos



Um **mapa** armazena entradas compostas por uma **chave** e um **valor**.

- ▶ A chave serve para buscar o registro.
- ▶ O valor armazena o registro associado à chave.



Um **mapa** armazena entradas compostas por uma **chave** e um **valor**.

- ▶ A chave serve para buscar o registro.
- ▶ O valor armazena o registro associado à chave.

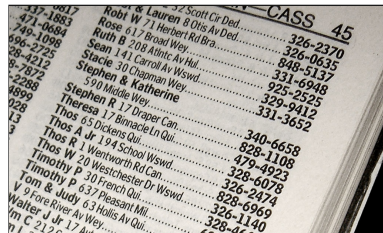
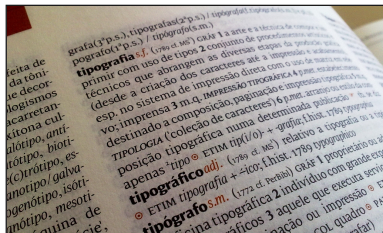
Também chamado de **dicionário**, **tabela** ou **array associativo**, o mapa organiza e acessa as entradas pelas suas **chaves**, em vez das suas posições, i.e. a chave é o índice da estrutura.

Um **mapa** armazena entradas compostas por uma **chave** e um **valor**.

- ▶ A chave serve para buscar o registro.
- ▶ O valor armazena o registro associado à chave.

Também chamado de **dicionário**, **tabela** ou **array associativo**, o mapa organiza e acessa as entradas pelas suas **chaves**, em vez das suas posições, i.e. a chave é o índice da estrutura.

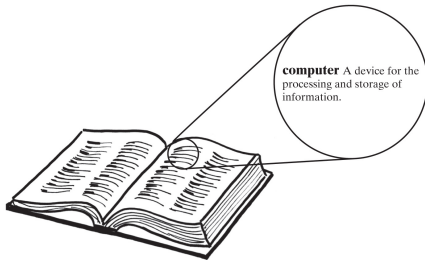
Exemplos no cotidiano: dicionários, listas telefônicas, cardápios, índices remissivos, ...





Características:

- ▶ Na maioria das implementações, **a chave é única**.
 - ▶ Ao inserir uma entrada com chave existente, o valor atual é substituído pelo novo valor.
- ▶ A chave pode ser um objeto de **qualquer classe**.
 - ▶ Necessário garantir a comparação de chaves.



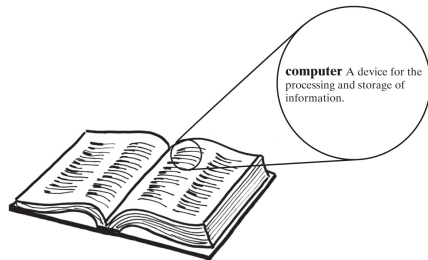


Características:

- ▶ Na maioria das implementações, **a chave é única**.
 - ▶ Ao inserir uma entrada com chave existente, o valor atual é substituído pelo novo valor.
- ▶ A chave pode ser um objeto de **qualquer classe**.
 - ▶ Necessário garantir a comparação de chaves.

Operações:

- ▶ `get(k)`: retorna o valor associado à chave `k`.
- ▶ `put(k, v)`: insere uma entrada com chave `k` e valor `v`.
- ▶ `remove(k)`: remove a entrada com chave `k`.



Mapas

Análise de complexidade



Podemos implementar um mapa usando **arranjos** ou **encadeamento**. E ainda podemos manter a estrutura **não ordenada** ou **ordenada**.



Podemos implementar um mapa usando **arranjos** ou **encadeamento**. E ainda podemos manter a estrutura **não ordenada** ou **ordenada**.

Operação	Arranjo		Encadeamento	
	Não ordenado	Ordenado	Não ordenado	Ordenado
get	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(\log n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$
put	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$
remove	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$

— a inserção (put) em um arranjo ordenado é feita em $\mathcal{O}(\log n)$ na substituição.



Podemos implementar um mapa usando **arranjos** ou **encadeamento**. E ainda podemos manter a estrutura **não ordenada** ou **ordenada**.

Operação	Arranjo		Encadeamento		Hashing
	Não ordenado	Ordenado	Não ordenado	Ordenado	
get	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(\log n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(1)$
put	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(1)$
remove	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(n)$	$\mathcal{O}(1)$

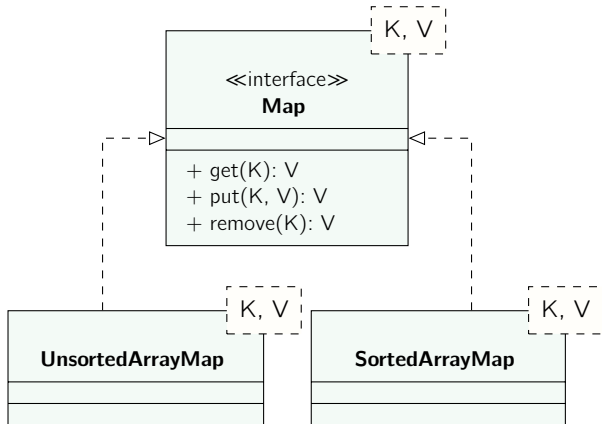
— a inserção (put) em um arranjo ordenado é feita em $\mathcal{O}(\log n)$ na substituição.

Hashing permite complexidade constante das operações de um mapa no **caso médio**.

- ▶ É a forma como um mapa é implementado pelo Java.
- ▶ Estudaremos essa estratégia mais adiante!

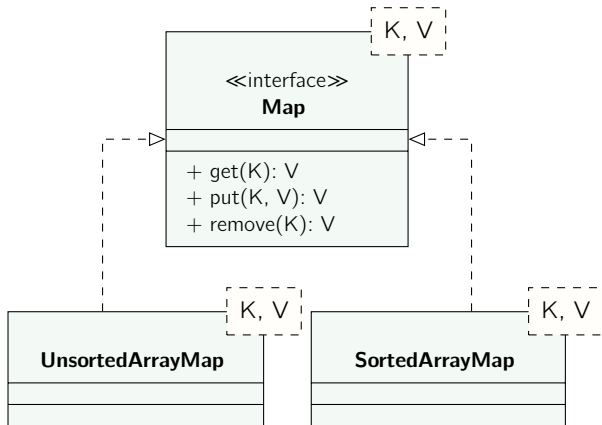
Mapas

Implementação



Mapas

Implementação



Implementação e uso:

```
data-structures
├── map
│   ├── {Map, SArrayMap, UArrayMap}.java
│   └── TestMap.java
```

Veja também:

- ▶ `java.util.Map`¹ (interface)
 - ▶ E suas implementações (*hashing*).
- ▶ Apêndice I

¹Veja em <https://docs.oracle.com/en/java/javase/24/docs/api/java.base/java/util/Map.html>.

Apêndices

Apêndice I

Implementação de mapas (interface)



Interface Map:

```
1  public interface Map<K, V> {  
2      int size();  
3      boolean isEmpty();  
4      V get(K key);  
5      V put(K key, V value);  
6      V remove(K key);  
7  }
```



Apêndice I

Implementação de mapas (interface)

Interface Map:

```
1  public interface Map<K, V> {  
2      int size();  
3      boolean isEmpty();  
4      V get(K key);  
5      V put(K key, V value);  
6      V remove(K key);  
7  }
```

- ▶ O mapa é uma coleção de entradas, que armazenam a chave e o valor (definidos pelos tipos K e V, respectivamente).
- ▶ As operações sempre retornam o valor associado à chave sendo consultada/alterada.
- ▶ Não acessamos as entradas externamente, portanto sua definição é encapsulada no mapa.



Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo não ordenado)

Classes UnsortedArrayMap e Entry:

```
1  public class UnsortedArrayMap<K,V> implements Map<K,V> {
2      private static class Entry<K,V> {
3          private K k;
4          private V v;
5
6          public Entry(K key, V value) { k = key; v = value; }
7
8          public K getKey() { return k; }
9          public V getValue() { return v; }
10
11         public V setValue(V value) {
12             V old = v;
13             v = value;
14             return old;
15         }
16     }
17
18     private ArrayList<Entry<K,V>> data = new ArrayList<>();
19
20     //...
21 }
```


Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo não ordenado)



Classes UnsortedArrayMap e Entry:

```
1  public class UnsortedArrayMap<K,V> implements Map<K,V> {
2      private static class Entry<K,V> {
3          private K k;
4          private V v;
5
6          public Entry(K key, V value) { k = key; v = value; }
7
8          public K getKey() { return k; }
9          public V getValue() { return v; }
10
11         public V setValue(V value) {
12             V old = v;
13             v = value;
14             return old;
15         }
16     }
17
18     private ArrayList<Entry<K,V>> data = new ArrayList<>();
19
20     //...
21 }
```

- ▶ A classe Entry define somente um construtor parametrizado, impedindo a criação de uma entrada sem chave e valor.
- ▶ Essa classe não permite alterar a chave; para isso, uma nova entrada deve ser criada.
- ▶ Ao alterar o valor associado à entrada, o valor antigo é retornado (linhas 11 a 15).
- ▶ O mapa usa um ArrayList para armazenar as entradas (linha 18).



Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo não ordenado)

Método auxiliar findKey:

```
1  private int findIndex(K key) {  
2      int n = data.size();  
3      for (int j=0; j < n; j++)  
4          if (data.get(j).getKey().equals(key))  
5              return j;  
6      return -1;  
7  }
```

Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo não ordenado)

Método auxiliar findKey:

```
1 private int findIndex(K key) {  
2     int n = data.size();  
3     for (int j=0; j < n; j++)  
4         if (data.get(j).getKey().equals(key))  
5             return j;  
6     return -1;  
7 }
```

- ▶ O método implementa uma busca sequencial, retornando o índice que contém a entrada com a chave buscada (ou -1).
- ▶ **Importante:** a classe da chave deve sobrescrever o método `equals` para implementar a comparação de chaves.

Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo não ordenado)



Método auxiliar findKey:

```
1 private int findIndex(K key) {  
2     int n = data.size();  
3     for (int j=0; j < n; j++)  
4         if (data.get(j).getKey().equals(key))  
5             return j;  
6     return -1;  
7 }
```

Método get:

```
1 public V get(K key) {  
2     int j = findIndex(key);  
3     if (j == -1) return null;  
4     return data.get(j).getValue();  
5 }
```

- ▶ O método implementa uma busca sequencial, retornando o índice que contém a entrada com a chave buscada (ou -1).
- ▶ **Importante:** a classe da chave deve sobrescrever o método `equals` para implementar a comparação de chaves.

Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo não ordenado)



Método auxiliar findKey:

```
1 private int findIndex(K key) {  
2     int n = data.size();  
3     for (int j=0; j < n; j++)  
4         if (data.get(j).getKey().equals(key))  
5             return j;  
6     return -1;  
7 }
```

Método get:

```
1 public V get(K key) {  
2     int j = findIndex(key);  
3     if (j == -1) return null;  
4     return data.get(j).getValue();  
5 }
```

- ▶ O método implementa uma busca sequencial, retornando o índice que contém a entrada com a chave buscada (ou -1).
- ▶ **Importante:** a classe da chave deve sobrescrever o método `equals` para implementar a comparação de chaves.
- ▶ O método usa o `findIndex` para buscar a entrada com a chave desejada, retornando seu valor (ou `null`, caso a chave não seja encontrada).



Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo não ordenado)

Método put:

```
1 public V put(K key, V value) {  
2     int j = findIndex(key);  
3     if (j == -1) {  
4         data.add(new Entry<>(key, value));  
5         return null;  
6     } else  
7         return data.get(j).setValue(value);  
8 }
```



Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo não ordenado)

Método put:

```
1 public V put(K key, V value) {  
2     int j = findIndex(key);  
3     if (j == -1) {  
4         data.add(new Entry<>(key, value));  
5         return null;  
6     } else  
7         return data.get(j).setValue(value);  
8 }
```

- ▶ Caso a chave não tenha sido encontrada, adiciona uma nova entrada e retorna `null` (linhas 3 a 5).
- ▶ Caso contrário, substitui o valor da entrada e retorna o valor antigo (linha 7).

Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo não ordenado)



Método put:

```
1 public V put(K key, V value) {
2     int j = findIndex(key);
3     if (j == -1) {
4         data.add(new Entry<>(key, value));
5         return null;
6     } else
7         return data.get(j).setValue(value);
8 }
```

- ▶ Caso a chave não tenha sido encontrada, adiciona uma nova entrada e retorna null (linhas 3 a 5).
- ▶ Caso contrário, substitui o valor da entrada e retorna o valor antigo (linha 7).

Método remove:

```
1 public V remove(K key) {
2     int j = findIndex(key);
3     if (j == -1) return null;
4     V answer = data.get(j).getValue();
5     int n = size();
6     if (j != n - 1) data.set(j, data.get(n-1));
7     data.remove(n-1);
8     return answer;
9 }
```




Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo não ordenado)

Método put:

```
1 public V put(K key, V value) {
2     int j = findIndex(key);
3     if (j == -1) {
4         data.add(new Entry<>(key, value));
5         return null;
6     } else
7         return data.get(j).setValue(value);
8 }
```

- ▶ Caso a chave não tenha sido encontrada, adiciona uma nova entrada e retorna `null` (linhas 3 a 5).
- ▶ Caso contrário, substitui o valor da entrada e retorna o valor antigo (linha 7).

Método remove:

```
1 public V remove(K key) {
2     int j = findIndex(key);
3     if (j == -1) return null;
4     V answer = data.get(j).getValue();
5     int n = size();
6     if (j != n - 1) data.set(j, data.get(n-1));
7     data.remove(n-1);
8     return answer;
9 }
```

- ▶ O método troca de posição a entrada a ser removida e a última entrada (se não forem a mesma), e então remove a atual entrada da última posição, cuja operação é mais eficiente. Ao final, retorna o valor da entrada removida.

Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo ordenado)



Classe SortedArrayMap:

```
1 public class SortedArrayMap<K extends Comparable<? super K>,V> implements Map<K,V> {  
2     // Definição da classe Entry  
3  
4     private ArrayList<Entry<K,V>> data = new ArrayList<>();  
5     //...  
6 }
```

Para **comparar as chaves**:

1. usamos uma chave naturalmente comparável (e.g. Integer, String); ou
2. implementamos a comparação na classe da chave.
 - ▶ i.e., interface Comparable e método compareTo.

Na definição do tipo genérico K, a classe já exige que a chave seja Comparable (linha 1).

Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo ordenado)



O método `findIndex` agora implementa uma busca binária:

```
1  private int findIndex(K key) { return findIndex(key, 0, data.size() - 1); }
2
3  private int findIndex(K key, int low, int high) {
4      if (high < low) return high + 1;
5      int mid = (low + high) / 2;
6      int result = key.compareTo(data.get(mid).getKey());
7      if (result == 0)
8          return mid;
9      else if (result < 0)
10         return findIndex(key, low, mid - 1);
11     else
12         return findIndex(key, mid + 1, high);
13 }
```

- ▶ Trata-se de uma implementação recursiva do algoritmo.
- ▶ Quando o método não encontra a chave, retorna a posição de inserção.

Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo ordenado)



Métodos get e remove:

```
1  public V get(K key) {
2      int j = findIndex(key);
3      if (j == size() || key.compareTo(data.get(j).getKey()) != 0) return null;
4      return data.get(j).getValue();
5  }
6
7  public V remove(K key) {
8      int j = findIndex(key);
9      if (j == size() || key.compareTo(data.get(j).getKey()) != 0) return null;
10     return data.remove(j).getValue();
11 }
```



Métodos `get` e `remove`:

```
1  public V get(K key) {
2      int j = findIndex(key);
3      if (j == size() || key.compareTo(data.get(j).getKey()) != 0) return null;
4      return data.get(j).getValue();
5  }
6
7  public V remove(K key) {
8      int j = findIndex(key);
9      if (j == size() || key.compareTo(data.get(j).getKey()) != 0) return null;
10     return data.remove(j).getValue();
11 }
```

- ▶ Ambos os métodos têm o mesmo comportamento geral, usando a busca binária de chave.
- ▶ O condicional verifica o insucesso da busca, quando o índice (de inserção) é inválido ou a chave não se encontra naquela posição (de inserção), retornando `null` (linhas 3 e 9).
- ▶ Em caso de sucesso, retorna o valor (lin. 4) ou remove a entrada e retorna seu valor (lin. 10).

Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo ordenado)



Método put:

```
1 public V put(K key, V value) {  
2     int j = findIndex(key);  
3     if (j < size() && key.compareTo(data.get(j).getKey()) == 0)  
4         return data.get(j).setValue(value);  
5     data.add(j, new Entry<K,V>(key,value));  
6     return null;  
7 }
```

Apêndice I

Implementação de mapas (arranjo ordenado)



Método put:

```
1 public V put(K key, V value) {  
2     int j = findIndex(key);  
3     if (j < size() && key.compareTo(data.get(j).getKey()) == 0)  
4         return data.get(j).setValue(value);  
5     data.add(j, new Entry<K,V>(key,value));  
6     return null;  
7 }
```

- ▶ A busca binária (`findIndex`) já retorna a posição de inserção.
- ▶ Caso essa posição já contenha uma entrada com a mesma chave a ser inserida, só substitui o valor da entrada e retorna o valor antigo (linhas 3 e 4).
- ▶ Caso contrário, adiciona uma nova entrada e retorna `null` (linhas 5 e 6).

45RPE – Resolução de Problemas com Estruturas de Dados
Prof. Marcelo de Souza