

# Aula 07

## Estruturas de dados recursivas

### *Listas ligadas*

Programação II, 2018-2019

v1.3, 01-04-2019

DETI, Universidade de Aveiro

07.1

#### Objectivos:

- Estrutura de dados recursivas: lista ligadas;
- Funções recursivas (cont.)

### Conteúdo

<b>1</b>	<b>Lista Ligada</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Polimorfismo Paramétrico</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Processamento recursivo de listas</b>	<b>8</b>

07.2

As estruturas de dados servem não só para registar e aceder a informação, como também para disciplinar essas utilizações. Em linguagens de programação com um sistema de tipos estático, como é o caso da linguagem Java, a correcção formal dessas utilizações é garantida em tempo de compilação, evitando as dificuldades envolvidas na depuração do programa em tempo de execução.

O sistema de tipos dá, grosso modo, duas garantias a um programa:

1. compatibilidade de tipos na atribuição de valores;
2. correcção na utilização (formal) de um membro da classe.

A primeira aplica-se tanto à instrução de atribuição propriamente dita, como também à passagem de argumentos a uma função, que pode ser vista como a atribuição de valores dos argumentos aos parâmetros formais correspondentes. A segunda garante que quando se utiliza um membro de uma classe (método ou campo), ele tem de existir e ser compatível no número e tipos dos eventuais argumentos (no caso de métodos).

Vamos seguir uma abordagem modular na apresentação e implementação de algumas estruturas de dados de propósito geral. Assim, começaremos por definir o seu tipo de dados abstracto (a sua interface e os respectivos contratos), partindo depois para algumas possíveis concretizações.

Nesta aula, apresentamos uma dessas estrutura de dados de propósito geral, a *lista ligada*. Em aulas seguintes, veremos as pilhas e filas, bem como diferentes tipos de dicionários.

## 1 Lista Ligada

### Como guardar colecções de dados?

- Temos utilizado vectores (*arrays*).
- Permitem guardar elementos preservando a sua ordem.

- Permitem **acesso aleatório**, i.e., acesso direto rápido a qualquer elemento, por qualquer ordem.
- No entanto, os **vetores têm limitações**:
  - A sua capacidade tem de ser fixada quando são criados.
  - Isto obriga a sobredimensionar um vector quando o número de elementos não é conhecido à partida.
  - Ou então, redimensionar o vector quando chegam novos elementos, com custos em tempo de processamento.
  - Inserir ou remover elementos numa posição intermédia pode demorar bastante tempo se for necessário deslocar muitos elementos.

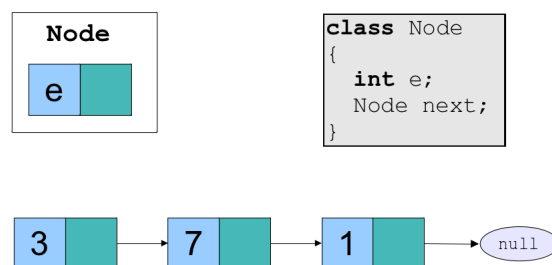
07.3

## Lista Ligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - No último elemento, a referência é `null`.
- Ao contrário do vector, é completamente **dinâmica**.
- No entanto, obriga a um **acesso sequencial**.
- Recorre a uma estrutura auxiliar (um **nó**) para armazenar cada elemento.
- O nó é uma estrutura de dados **recursiva**, dado que a sua definição contém uma referência para si própria.

07.4

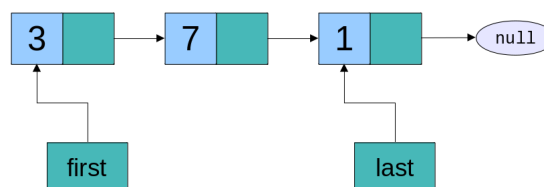
## Lista ligada simples: exemplo



07.5

## Lista ligada com dupla entrada

- Exemplo: lista com os elementos 3, 7 e 1.



- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É fácil acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É fácil remover elementos do início da lista.

07.6

## Nós para uma lista de inteiros

```
class NodeInt {  
  
    final int elem;  
    NodeInt next;  
  
    NodeInt(int e, NodeInt n) {  
        elem = e;  
        next = n;  
    }  
  
    NodeInt(int e) {  
        elem = e;  
        next = null;  
    }  
}
```

07.7

## Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - LinkedList
- Serviços:
  - addFirst: insere um elemento no início da lista.
  - addLast: insere um elemento no fim da lista.
  - first: devolve o primeiro elemento da lista.
  - last: devolve o último elemento da lista.
  - removeFirst: retira o elemento no início da lista.
  - size: devolve a dimensão actual da lista.
  - isEmpty: verifica se a lista está vazia.
  - clear: limpa a lista (remove todos os elementos).

07.8

## Lista ligada: semântica

- **addFirst(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (first() == v)`
- **addLast(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (last() == v)`
- **removeFirst()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
- **first()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

07.9

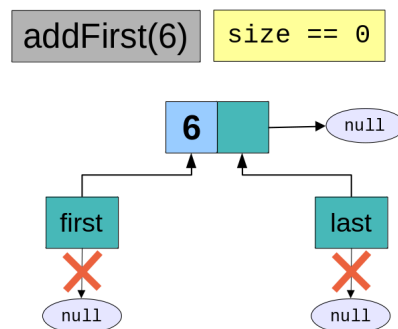
## Lista de inteiros: esqueleto da implementação

```
public class LinkedListInt {
    private NodeInt first=null, last=null;
    private int size;

    public LinkedListInt() { }
    public void addFirst(int e) {
        ...
        assert !isEmpty() && first()==e;
    }
    public void addLast(int e) {
        ...
        assert !isEmpty() && last()==e;
    }
    public int first() {
        assert !isEmpty();
        ...
    }
    public int last() {
        assert !isEmpty();
        ...
    }
    public void removeFirst() {
        assert !isEmpty();
        ...
    }
    public boolean isEmpty() { ... }
    public int size() { ... }
    public void clear() {
        ...
        assert isEmpty();
    }
}
```

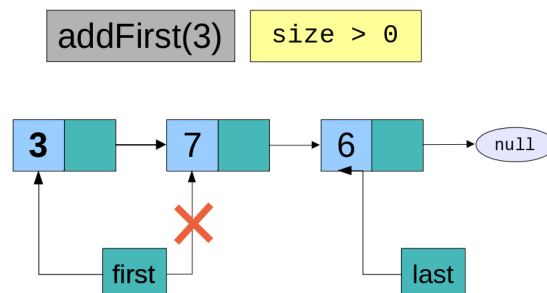
07.10

- addFirst - inserir o primeiro elemento.



07.11

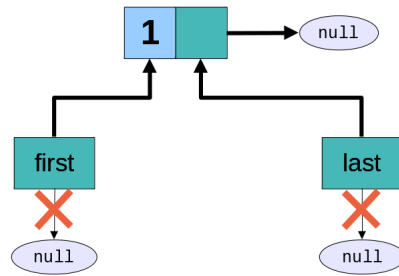
- addFirst - inserir novo elemento no início.



07.12

- addLast - acrescentar novo elemento no fim.
- Caso de lista vazia: similar a `addFirst`.

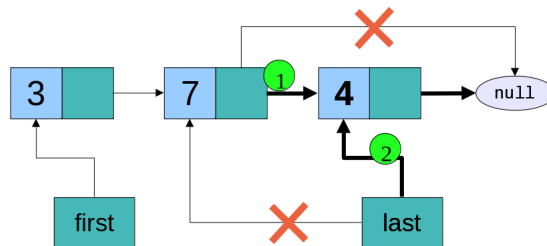
**addLast(1)**    size == 0



07.13

- addLast - acrescentar novo elemento no fim.

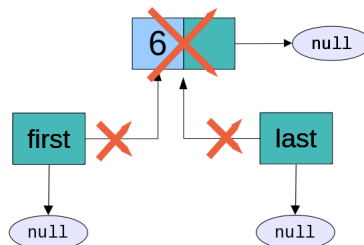
**addLast(4)**    size > 0



07.14

- removeFirst - remover o primeiro elemento.
- Quando size==1

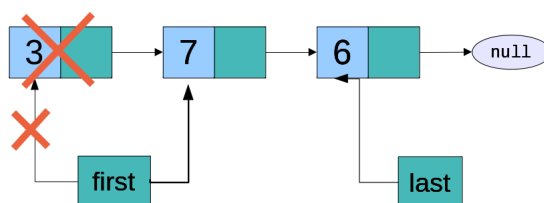
**removeFirst**



07.15

- removeFirst - remover o primeiro elemento.
- Quando size>1

**removeFirst**



07.16

```

public class LinkedListInt {

    public void addFirst(int e) {
        first = new NodeInt(e, first);
        if (size == 0)
            last = first;
        size++;

        assert !isEmpty() && first() == e;
    }

    public void addLast(int e) {
        NodeInt n = new NodeInt(e);
        if (size == 0)
            first = n;
        else
            last.next = n;
        last = n;
        size++;

        assert !isEmpty() && last() == e;
    }

    public int size() {
        return size;
    }

    public boolean isEmpty() {
        return size == 0;
    }
}

```

```

    public void removeFirst() {
        assert !isEmpty();

        first = first.next;
        size--;
        if (first == null)
            last = null;
    }

    public int first() {
        assert !isEmpty();

        return first.elem;
    }

    public int last() {
        assert !isEmpty();

        return last.elem;
    }

    public void clear() {
        first = last = null;
        size = 0;
    }

    private NodeInt first = null;
    private NodeInt last = null;
    private int size = 0;
}

```

07.17

## 2 Polimorfismo Paramétrico

### Polimorfismo paramétrico

- **Problema:** A classe `LinkedListInt`:
  - Permite guardar apenas elementos inteiros.
  - Para termos listas com elementos de outros tipos, teríamos de duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código seria praticamente igual, mas *não é prático* fazer esta “clonagem” de código para cada nova necessidade.
- **Solução:** Definir classes aplicáveis a qualquer tipo.
  - Diz-se que são classes parametrizadas por tipo, ou seja, o tipo de elemento passa a ser um parâmetro da classe.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

07.18

### Tipos genéricos em Java

- Em Java, as classes que têm parâmetros que representam tipos são chamadas **classes genéricas**.
- Na *definição* de uma classe genérica, os **parâmetros de tipo** são indicados a seguir ao nome, entre `< e >`.

```

public class LinkedList<E> {      // generic class definition
    ...
    public void addFirst(E e) {   // use of type parameter E
        ...
    }
    ...
}

```

- Na *invocação e instanciação* de um tipo genérico os parâmetros são substituídos por **argumentos de tipo** concretos.

```

public static void main(String args[]) {
    ...
    LinkedList<Double> p1;        // generic type invocation
    p1 = new LinkedList<Double>(); // generic type instantiation
}

```

```
...
LinkedList<Integer> p2 = new LinkedList<Integer>();
}
```

07.19

## Convenção sobre nomes de parâmetros de tipo

- Em Java, por convenção, usam-se letras maiúsculas para os nomes dos parâmetros de tipo. Por exemplo:
  - E - *element*
  - K - *key*
  - N - *number*
  - T - *type*
  - V - *value*
- Assim, mais facilmente se distingue um nome que representa um tipo de outro que representa uma variável ou método, que começam (também por convenção) com letra minúscula (exemplo: `numberOfElements`).
- Para informação mais detalhada pode consultar o tutorial da Oracle sobre tipos genéricos.

07.20

## Tipos genéricos em Java: limitações

- **Problema:** Não é possível invocar tipos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);
- **Solução:**
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).
  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).
- **Problema:** Não é possível criar arrays de genéricos!
- **Solução:**
  - Criar arrays de elementos do tipo `Object` e fazer a coerção de tipo para o *array* de genéricos:

```
T[] a = (T[]) new Object[maxSize];
```
  - Para evitar o aviso gerado pelo compilador como resultado desta coerção pode-se associar ao método onde a coerção é feita a seguinte anotação:

```
@SuppressWarnings("unchecked")
```
- No tutorial oficial encontra mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

07.21

```
public class LinkedList<E> {
    public void addFirst(E e) {
        first = new Node<>(e, first);
        if (size == 0)
            last = first;
        size++;
    }
    assert !isEmpty() && first().equals(e);
}

public void addLast(E e) {
    Node<E> n = new Node<>(e);
    if (size == 0)
        first = n;
    else
        last.next = n;
    last = n;
    size++;
}
assert !isEmpty() && last().equals(e);
}

public int size() {
    return size;
}

public boolean isEmpty() {
    return size() == 0;
}
```

7

```
public void removeFirst() {
    assert !isEmpty();
    first = first.next;
    size--;
    if (isEmpty())
        last = null;
}

public E first() {
    assert !isEmpty();
    return first.elem;
}

public E last() {
    assert !isEmpty();
    return last.elem;
}

public void clear() {
    first = last = null;
    size = 0;
}

private Node<E> first = null;
private Node<E> last = null;
private int size = 0;
}
```

### 3 Processamento recursivo de listas

#### Processamento recursivo de listas

- Quando a acção a realizar implica aceder ao meio da lista, é preciso percorrer a lista até ao nó que vai ser alterado.
- Sendo uma estrutura recursiva, as listas prestam-se naturalmente à utilização de algoritmos recursivos.
- **Exemplo:** saber se um elemento *e* existe na lista.
  - Condições de terminação da recursividade:
    - \* Chegou ao fim da lista (devolve `false`), ou
    - \* Encontrou o elemento *e* (devolve `true`).
  - Variabilidade: passar do nó actual (*n*) ao seguinte (*n.next*).
  - Convergência: está garantida, desde que haja forma de detetar o fim da lista.

#### Exemplo: lista contém elemento

- Versão recursiva:

```
public boolean contains(E e) {
    return contains(first, e);
}
private boolean contains(Node<E> n, E e) {
    if (n == null) return false; // condicao terminacao 1
    if (n.elem.equals(e)) return true; // condicao terminacao 2
    return contains(n.next, e); // chamada recursiva
}
```

- Versão iterativa:

```
public boolean contains(E e) {
    Node<E> n = first;
    while (n != null) {
        if (n.elem.equals(e)) return true; // condicao terminacao 2
        n = n.next; // continuacao
    }
    return false;
}
```

#### Um padrão que se repete ...

- Muitas funções sobre listas fazem um percurso da lista.
- Esse percurso segue um padrão que convém desde já assimilar.

Implementação Iterativa	Implementação Recursiva
<pre>public class LinkedList&lt;E&gt; {     ...     public ... xpto(...) {         Node&lt;E&gt; n = first;         ...         while (n!=null &amp;&amp; ...) {             ...             n = n.next;         }         return ...;     }     ... }</pre>	<pre>public class LinkedList&lt;E&gt; {     ...     public ... xpto(...) {         return xpto(first, ...);     }     private ... xpto(Node&lt;E&gt; n, ...) {         if (n == null) return ...;         ...         ... xpto(n.next, ...);         return ...     }     ... }</pre>





