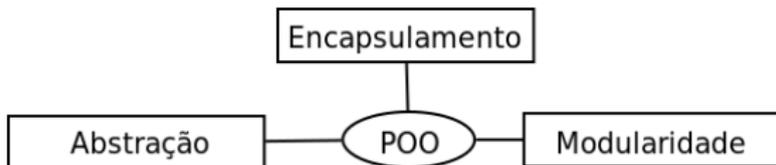


Tipos Abstractos de Dados

Pedro Ribeiro

DCC/FCUP

2018/2019



(baseado e/ou inspirado parcialmente nos slides de Luís Lopes e de Fernando Silva)

Programação Orientada a Objectos

- **Programação orientada a objectos** é um paradigma onde os principais actores são os **objectos**
- Três dos seus principais **princípios** são:
 - ▶ **Abstracção** - Especificação do que um objecto deve fazer, mas não como o fazer (tipos abstractos de dados) (**o quê vs como**)
 - ▶ **Encapsulamento** - Esconder os detalhes internos de cada componente de um programa (*código independente de outros objectos*)
 - ▶ **Modularidade** - Divisão de um sistema em diferentes componentes funcionais (*mais robustez e facilidade de debug*)
- Estes três princípios ajudam a melhorar **robustez**, **adaptabilidade** e aumentam o potencial de **reutilização** do código.

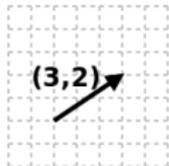
Tipos Abstractos de Dados (TADs)

- um **Tipo Abstracto de Dados (TAD)** é "modelo" de um tipo de dados definido pelo seu comportamento esperado:
 - ▶ Quais os **valores** que pode conter
 - ▶ Quais as **operações** permitidas sobre esses valores
- um TAD apenas define a **API** (*Application Programming Interface*)
 - ▶ Quais os **métodos** para interagir com o objecto
- diz-se **abstracto** porque a sua definição não carece de uma implementação concreta
 - ▶ para um mesmo TAD podem existir várias implementações possíveis
 - ▶ ex.: uma pilha pode ser implementada com arrays ou com listas, um conjunto pode ser implementar com arrays ou com árvores, (vamos ver vários exemplos durante o semestre)
- O Java suporta TADs através do conceito de **interfaces** e de **classes**

Vectores

- Vejamos exemplo inicial de um Tipo Abstracto de Dados (TAD)
- Imagine que quer representar um vector em \mathbb{R}^2 :

Por exemplo:



- Precisamos de saber:
 - ▶ Quais os dados que armazena? (*atributos da classe*)
 - ▶ Como podemos interagir com objecto? (*métodos da classe*)

Vectores - Atributos

- Um vector fica definido por um par (x, y) , que podemos representar por dois atributos
- Vamos usar **doubles** e não *ints*, porque são vectores em \mathbb{R}^2

```
class Vector {
    // Atributos (coordenadas x e y)
    double x, y;

    // Construtor
    Vector(double x0, double y0) {
        x = x0;
        y = y0;
    }
}

class TestVector {
    public static void main(String[] args) {
        Vector v1 = new Vector(3,2); // Exemplo de criação de vectores
        Vector v2 = new Vector(1,4);
    }
}
```

Vectores - Sobre a palavra chave "this"

- Notem como se usam nos construtores argumentos com nomes diferentes dos atributos (para não haver ambiguidade)

```
class Vector {
    double x, y;
    // x0 tem nome diferente de x, y0 tem nome diferente de y
    Vector(double x0, double y0) {
        x = x0;
        y = y0;
    }
}
```

- Se precisarmos de desambiguar, ou de nos referirmos ao objecto si, à "nossa própria instância", podemos usar a palavra chave **this**:

```
class Vector {
    double x, y;
    // o atributo do objecto x fica igual ao argumento do construtor x
    // (a mesma coisa com o y)
    Vector(double x, double y) {
        this.x = x;
        this.y = y;
    }
}
```

Vectores - Sobre a palavra chave "private"

- A declaração dos atributos não impede outra classe de aceder a eles

```
class Vector {
    double x, y;

    Vector(double x0, double y0) {
        x = x0;
        y = y0;
    }
}

class TestVector {
    public static void main(String[] args) {
        Vector v1 = new Vector(3,2);
        v1.x = 4; // Esta linha funciona e muda o valor de x
    }
}
```

- No que concerne ao **encapsulamento** dos dados, isto não é desejável:
 - ▶ Outras classes podem aceder/modificar o estado interno da classe
 - ▶ Se quisermos mudar a implementação, podemos quebrar outro código
 - ▶ Queremos promover interação com a classe apenas com os métodos!

Vectores - Sobre a palavra chave "private"

- Podemos declarar atributos como sendo privados usando a palavra-chave **private** para classificar as variáveis

```
class Vector {
    private double x, y; // os atributos são agora
                        // classificados como "privados"
    Vector(double x0, double y0) {x = x0; y = y0;}
}

class TestVector {
    public static void main(String[] args) {
        Vector v1 = new Vector(3,2);
        v1.x = 4; // Erro de compilação: "x has private access in Vector"
    }
}
```

- Para qualificar uma variável ou método podemos usar:
(quando e se necessário iremos explicar os outros qualificadores)

Accessível em:	public	protected	default	private
mesma classe	Sim	Sim	Sim	Sim
classe do mesmo package	Sim	Sim	Sim	Não
sub-classe num package diferente	Sim	Sim	Não	Não
não sub-classe em package diferente	Sim	Não	Não	Não

Vectores - Sobre a palavra chave "private"

- Para que uma outra classe possa agora aceder aos dados, temos de criar métodos. Os métodos para aceder aos atributos são os "getters":

```
class Vector {
    // Atributos
    private double x, y;

    // Construtor
    Vector(double x0, double y0) {x = x0; y = y0;}

    // Getters
    public double getX() {return x;}
    public double getY() {return y;}
}

class TestVector {
    public static void main(String[] args) {
        Vector v1 = new Vector(3,2);
        double valor = v1.getX(); // Acedendo ao valor de X
    }
}
```

- Notem que só podemos "ler" o valor dos atributos e não modificar (se quiséssemos mudar o valor criávamos métodos "setters")

Vectores - Como escrever o conteúdo de uma classe

- Como sabem, se imprimirmos uma variável de classe, iremos ver apenas a referência e não o conteúdo:

```
class Vector {
    // Atributos
    private double x, y;

    // Construtor
    Vector(double x0, double y0) {x = x0; y = y0;}
}

class TestVector {
    public static void main(String[] args) {
        Vector v1 = new Vector(3,2);
        System.out.println(v1);
    }
}
```

- O output do programa anterior seria algo como: Vector@75b84c92
- É possível dar à classe a capacidade de ser "imprimida" de maneira mais fácil do que ter de usar os *getters* para ir buscar o conteúdo.

Vectores - Como escrever o conteúdo de uma classe

- Se adicionarmos uma classe "`public String toString()`" à nossa classe, mudamos o comportamento quando é esperada uma `String` (como acontece quando a variável é chamada numa instrução de impressão)

```
class Vector {
    // (...)

    //Conversão de um vector para String
    public String toString() {
        return "(" + x + "," + y + ")";
    }
}

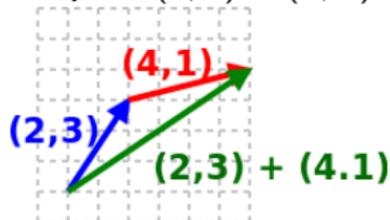
class TestVector {
    public static void main(String[] args) {
        Vector v1 = new Vector(3,2);
        System.out.println(v1);
    }
}
```

- O output do programa é agora: `(3.0,2.0)`
- Tecnicamente estamos a fazer **override** do método padrão de impressão de um objecto (que é simplesmente `NomeClasse@HashCode`)

Vectores - Algumas operações

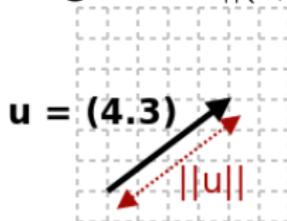
- Vamos agora adicionar alguma funcionalidade aos nossos vectores, adicionando alguns operadores:

- ▶ **Adição:** $(a, b) + (c, d) = (a + c, b + d)$



- ▶ **Subtração:** $(a, b) - (c, d) = (a - c, b - d)$

- ▶ **Magnitude:** $\|(a, b)\| = \sqrt{a^2 + b^2}$



- ▶ **Multiplicação por um escalar:** $(a, b) \times c = (a \times c, b \times c)$

Vectores - Algumas operações

- Precisamos de decidir como vamos usar os operadores:
 - ▶ Queremos que alterem o vector em si vs
 - ▶ Queremos que o resultado seja um novo vector
- Vamos usar aqui a segunda hipótese
- Os métodos de uma classe têm acesso aos seus atributos
(não é preciso usar *getters*)

```
class Vector {  
    // (...)  
  
    public Vector add(Vector v) { return new Vector(x + v.x, y + v.y); }  
    public Vector sub(Vector v) { return new Vector(x - v.x, y - v.y); }  
    public double magnitude() { return Math.sqrt(x*x + y*y); }  
    public Vector scale(double c) { return new Vector(x*c,y*c); }  
}
```

Vectores - Exemplo de utilização

```
class TestVector {
    public static void main(String[] args) {
        Vector v1 = new Vector(3,2);
        Vector v2 = new Vector(1,4);

        Vector v3 = v1.add(v2);
        Vector v4 = v1.sub(v2);
        double m = v1.magnitude();
        Vector v5 = v1.scale(2);

        System.out.println(v3);
        System.out.println(v4);
        System.out.printf("%.2f%n", m);
        System.out.println(v5);
    }
}
```

Output:

```
(4.0,6.0)
(2.0,-2.0)
3.61
(6.0,4.0)
```

TAD Conjunto

Vamos agora definir um novo TAD: um **conjunto**

- Representa um conjunto de elementos (**sem repetições**)
- Suporta operações como **adicionar** um elemento, **remover** um elemento, **verificar** se um elemento está no conjunto, etc

Este TAD é muito **útil** como *peça base* em vários algoritmos. Exemplos:

- Quantos elementos diferentes existem no *input*?
É só colocar todos num conjunto e ver o seu tamanho.
- Quero fazer uma pesquisa por um conjunto de *sítios*, mas não quero voltar a um *sítio* onde já estive?
Guardo os sítios visitados num conjunto e uso a operação de verificar.

TAD Conjunto - Operações

Vamos agora implementar este TAD.

Queremos implementar as seguintes operações básicas:

(existiriam mais operações possíveis, como a união, interseção, etc)

- **boolean contains(x)** - verifica se o elemento x está no conjunto. Retorna *true* se o elemento está no conjunto e *false* caso contrário.
- **boolean add(x)** - adiciona o elemento x ao conjunto. Retorna *true* se foi adicionado ou *false* caso x já esteja no conjunto.
- **boolean remove(x)** - remove o elemento x do conjunto. Retorna *true* se foi removido ou *false* caso x não esteja no conjunto.
- **int size()** - retorna o número de elementos do conjunto.
- **void clear()** - limpa o conjunto (torna-o vazio)

TAD Conjunto - Exemplo de utilização

Um exemplo de utilização e do significado das operações.
Seja S um conjunto.

- Inicialmente $S = \emptyset$
- $S.add(1)$ iria devolver *true* e tornar $S = \{1\}$
- $S.add(5)$ iria devolver *true* e tornar $S = \{1, 5\}$
- $S.add(7)$ iria devolver *true* e tornar $S = \{1, 5, 7\}$
- $S.contains(1)$ iria devolver *true*
- $S.contains(2)$ iria devolver *false*
- $S.add(1)$ iria devolver *false* e continuaríamos com $S = \{1, 5, 7\}$
- Nesta fase $S.size()$ iria devolver 3, o número de elementos de S
- $S.remove(5)$ iria devolver *true* e tornar $S = \{1, 7\}$
- $S.remove(5)$ iria devolver *false* e continuaríamos com $S = \{1, 7\}$
- $S.clear()$ iria tornar $S = \emptyset$

TAD Conjunto - Interface

Por uma questão de simplificação, iremos implementar um **conjunto de números inteiros**.

(mais para a frente vamos falar de genéricos e como poderíamos implementar um conjunto de "qualquer tipo")

O Java permite usar a noção de **interface** para especificar uma API (a assinatura dos métodos) sem explicar como implementar:

- Isto permite uma verdadeira **abstracção** do TAD
- Permite que uma classe tenha um objecto do tipo desse interface e saiba que tem acesso a toda a API
- Obriga uma classe que implemente esse interface a declarar todos os métodos definidos na API

TAD Conjunto - Interface

Um interface em Java essencialmente é uma declaração dos métodos sem especificar o seu *corpo* (o código que implementa o método).

```
interface IntSet {  
    public boolean contains(int x); // Retorna true se x está no conjunto  
    public boolean add(int x);     // Adiciona x ao conjunto  
    public boolean remove(int x);  // Remove x do conjunto  
    public int     size();          // Retorna o nr de elementos do conjunto  
    public void    clear();        // Limpa o conjunto (torna-o vazio)  
}
```

Dentro de um outro programa, podemos ter variáveis do tipo do interface;

```
IntSet s;
```

ou num outro exemplo possível de utilização:

```
void doSomething(IntSet s)
```

TAD Conjunto - Interface

Um interface não tem construtores:

- Não permite criar (instanciar) um novo objecto desse tipo
- Para isso precisamos de ter a implementação em si

Uma classe pode dizer que **implementa um interface**:

```
class Xpto implements IntSet {  
    // (...)  
}
```

Se a classe não implementar todos os métodos do Interface o Java gera um erro de compilação: `Xpto is not abstract and does not override abstract method clear() in IntSet`

Tendo a classe definida podemos instanciar objectos desse tipo:

```
IntSet s = new Xpto();
```

Como `s` é do tipo `IntSet` apenas poderá chamar métodos do interface (mesmo que `Xpto` implemente outros métodos)

TAD Conjunto - Implementando um Interface

Vamos agora implementar então o interface *IntSet* como atrás definido.

Primeira coisa a pensar é **como** implementar:

- Existem muitas hipóteses de implementação com diferentes **vantagens** e **desvantagens**
 - ▶ Ex: qual o tempo de execução? quais os gastos de memória?
- Não existe implementação "perfeita": dependendo do uso, uma pode ser melhor que outra
- Nesta UC vamos precisamente querer perceber as implementações para perceber os vários *tradeoffs* e saber escolher a melhor para o nosso caso em particular
- Vamos começar por usar um array

Que ideias têm sobre como implementar um IntSet?

TAD Conjunto - Uma lista num array

Começamos por usar estrutura de dados que conhecemos bem: um **array**!

- Vamos manter num array *elem* uma lista dos elementos
- O tamanho do array determina o número máximo de elementos
- Mantemos numa outra variável *size* o número de elementos

Por exemplo, o conjunto $\{1, 5, 7\}$ seria representado por:

elem =

1	5	7							
---	---	---	--	--	--	--	--	--	--

size = 3

Operacionalizando isto, os **atributos** seriam:

```
// Implementa um conjunto usando um array como lista de elementos
class ArrayListIntSet implements IntSet {
    private int size; // Numero de elementos do conjunto
    private int elem[]; // Array que contem os elementos em si

    // (...)
}
```

TAD Conjunto - Uma lista num array

(os métodos que se seguem são para serem colocados dentro da classe `ArrayListIntSet`)

- Como poderia ser o **construtor**?

```
// Construtor que recebe como argumento o número máximo de elementos
ArrayListIntSet(int maxSize) {
    elem = new int[maxSize];
    size = 0;
}
```

- Devolver o **nº de elementos** é só ir buscar o valor da variável *size*:

```
public int size() {
    return size;
}
```

- **Limpar o conjunto** é só colocar a variável *size* em zero
(não é preciso limpar *elem[]* porque *size* determina as posições que "interessam")

```
public void clear() {
    size = 0;
}
```

TAD Conjunto - Uma lista num array

- Como **verificar** se um elemento está no conjunto?

```
public boolean contains(int x) {
    for (int i=0; i<size; i++)
        if (elem[i] == x)
            return true;
    return false;
}
```

- Como **adicionar** um elemento?

(podemos aproveitar outros métodos, como o *contains()*)

```
public boolean add(int x) {
    if (!contains(x)) {
        elem[size] = x;
        size++;
        return true;
    }
    return false;
}
```

TAD Conjunto - Uma lista num array

- Como **remove** um elemento?
 - ▶ Não basta retirar o elemento (o que fica na sua anterior posição?)
 - ▶ Podemos colocar o último elemento nessa posição que ficou vazia! (*a ordem dos elementos não interessa num conjunto*)
 - ▶ Feito isso, resta reduzir o *size*

```
public boolean remove(int x) {
    if (contains(x)) {
        int pos = 0;
        while (elem[pos] != x) pos++; // descobrir posicao de x
        size--;
        elem[pos] = elem[size]; // Trocar último elemento
        return true;           // com o que se removeu
    }
    return false;
}
```

Exemplo:

Seja $S = \{1, 3, 5, 7, 9\}$, $elem =$

1	5	3	9	7
---	---	---	---	---

 e $size = 5$

$s.remove(5)$ leva a $S = \{1, 3, 7, 9\}$, $elem =$

1	7	3	9	
---	---	---	---	--

 e $size = 4$

TAD Conjunto - Uma lista num array

- Já agora, como pode poderíamos **converter em String?**
(para poder escrever por exemplo com `System.out.println()`)

```
public String toString() {
    String res = "{";
    for (int i=0; i<size; i++) {
        if (i>0) res += ",";
        res += elem[i];
    }
    res += "}";
    return res;
}
```

TAD Conjunto - Exemplo de utilização

Com tudo isto, um exemplo de utilização seria:

```
public class TestSet {
    public static void main(String[] args) {
        IntSet s = new ArrayListIntSet(100);

        System.out.println(s);
        System.out.println(s.add(1));
        System.out.println(s.add(5));
        System.out.println(s.add(7));
        System.out.println(s);
        System.out.println(s.contains(1));
        System.out.println(s.contains(2));
        System.out.println(s.add(1));
        System.out.println(s.size());
        System.out.println(s.remove(5));
        System.out.println(s.remove(5));
        System.out.println(s);
        s.clear();
        System.out.println(s);
        System.out.println(s.size());
    }
}
```

TAD Conjunto - Vantagens e Desvantagens

Sobre a implementação:

- Algumas **vantagens**

- ▶ **Simple**s de implementar (não menosprezar este factor!)
(implementações mais complicadas mais facilmente contêm erros)
- ▶ Não gasta muita **memória** *(se soubermos o número de elementos máximo, temos só o espaço necessário para esse máximo)*

- Algumas **desvantagens**

- ▶ Operações de adicionar, remover e verificar implicam **percorrer array** à procura do elemento *(tempo depende do número de elementos no conjunto)*
- ▶ Tem um **limite máximo** no número de elementos *(poderíamos criar novo array quando ficarmos sem espaço, mas implica copiar elementos)*

TAD Conjunto - Sobre os erros

Como **nota adicional**, poderíamos criar um novo tipo de erro (excepção) do nosso próprio conjunto. Considere por exemplo o seguinte código:

```
public class TestSet {
    public static void main(String[] args) {
        IntSet s = new ArrayListIntSet(1);
        s.add(1);
        s.add(2);
    }
}
```

Isto vai gerar um erro de execução por acedermos fora dos limites do array:

```
Exception in thread "main" java.lang.ArrayIndexOutOfBoundsException: 1
    at ArrayListIntSet.add(TestSet.java:22)
    at TestSet.main(TestSet.java:127)
```

Se alguém estiver a usar o nosso TAD isto não é muito informativo e depende da nossa implementação...

TAD Conjunto - Sobre os erros

Podemos gerar um erro de execução com um erro "customizado":

```
throw new RuntimeException("Mensagem de erro customizada")
```

Por exemplo, poderíamos alterar o *add* para:

```
public boolean add(int x) {  
    if (!contains(x)) {  
        if (size == elem.length)  
            throw new RuntimeException("Maximum size of set reached");  
        elem[size] = x;  
        size++;  
        return true;  
    }  
    return false;  
}
```

Agora o código anterior já daria o seguinte erro:

```
java.lang.RuntimeException: Maximum size of set reached
```

Voltaremos a falar de erros e do mecanismo de exceções noutras aulas

TAD Conjunto - Array de booleanos

Vamos agora abordar outra implementação para o TAD conjunto, que é **mais rápida** a adicionar, remover e verificar.

Uma ideia é usar um **array de booleanos** para dizer se um número está ou não no conjunto.

- Vamos manter um array *isElem* de valores booleanos
- *isElem[i]* diz-nos se *i* está ou não no conjunto
- O tamanho do array determina o tamanho do número máximo
- Mantemos numa outra variável *size* o número de elementos

Por exemplo, o conjunto $\{1, 5, 7\}$ seria representado por:

isElem =

0	1	2	3	4	5	6	7
F	T	F	F	F	T	F	T

size = 3

TAD Conjunto - Array de booleanos

A implementação desta "versão" do TAD conjunto é um dos objectivos das **aulas práticas** da próxima semana.

Em comparação com a implementação anterior de lista como array:

- Algumas **vantagens**

- ▶ É muito mais **rápida** a adicionar, remover e verificar
(tempo constante, não depende do número de elementos do conjunto)

- Algumas **desvantagens**

- ▶ Gasta **mais memória**

- ★ Precisa de guardar explicitamente os elementos que não estão
- ★ Limita o tamanho (magnitude) dos números a guardar

- ▶ **Menos "generalizável"**:

- ★ Usa os números como índices
- ★ Se o que guardarmos não fossem números, como saber a sua posição no array?

TAD Conjunto

Na prática, para guardar conjuntos existem ainda outras soluções (mais eficientes) que não vamos detalhar agora, como por exemplo:

- Árvores Binárias Equilibradas (ex: AVL ou Red-Black)
- Tabelas de Dispersão (a.k.a. tabelas de *hash*)

O Java providencia implementações do TAD Conjunto prontas a usar:

<https://docs.oracle.com/javase/tutorial/collections/implementations/set.html>

- TreeSet (usa árvores)
- HashSet (usa *hash tables*)
- LinkedHashSet (usa *hash tables* e *listas ligadas* para percorrer)

No contexto de **Estruturas de Dados**, vamos querer implementar os nossos TADS (e não "simplesmente" usar os do Java) precisamente porque esse é o objectivo desta UC. Saber como implementar permite:

- Perceber realmente os *tradeoffs* que implicam uma escolha
- Customizar/aumentar a estrutura de dados às nossas necessidades
- Conseguir criar novas estruturas de dados consoante o necessário

TAD Conjunto - TreeSet de Java

Um exemplo de uso dos conjuntos de Java:

- **Set**: um interface
- **TreeSet**: uma implementação do interface Set

```
import java.util.Set;
import java.util.TreeSet;

public class TestTreeSet {
    public static void main(String[] args) {
        Set<Integer> s = new TreeSet<Integer>();
        s.add(1);
        s.add(5);
        s.add(7);
        System.out.println(s.size());           // 3
        System.out.println(s.contains(1));     // true
        System.out.println(s.contains(2));     // false
        s.remove(5);
        System.out.println(s.size());           // 2
    }
}
```

<https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/util/TreeSet.html>

Genéricos

- Esta linha tem algo de que ainda não falamos:

```
Set<Integer> s = new TreeSet<Integer>();
```

- Muitas das estruturas de dados de Java usam esta sintaxe:

```
NomeTAD<tipo> variavel
```

- Estas linhas usam a noção de tipos **genéricos**

- ▶ Por vezes precisamos de algo que funcione para qualquer tipo
- ▶ A implementação fica "genérica"
- ▶ Concretizamos o tipo na declaração da variável (como em cima)
- ▶ Poderíamos por exemplo ter antes um conjunto de Strings:

```
Set<String> s = new TreeSet<String>();
```

Exemplo de implementação com Genéricos

- Vejamos um exemplo de uso de uma implementação com genéricos
- Suponhamos que queremos ter um **"par" de objectos**, que funcione com qualquer tipo. Exemplos:
 - ▶ Um estudante com nome e número: (String,Integer)
 - ▶ Um ponto 2D: (Integer, Integer)
 - ▶ Um filme com nome e lista de actores: (String, TreeSet<String>)
 - ▶ Um vector com nome: (Vector, String)
 - ▶ ...
- Como podemos implementar uma classe **Pair** que funcione genericamente sem ser preciso reimplementar para cada combinação de tipos?

Um par de objectos usando genéricos

```
public class Pair<A,B> { // Uma implementação genérica de um par
    A first; // Objecto do tipo A
    B second; // Objecto do tipo B

    Pair(A a, B b) {
        first = a;
        second = b;
    }

    public A getFirst() { return first; }
    public B getSecond() { return second; }
}
```

```
public class TestPair { // Exemplo de uso da classe Pair
    public static void main(String[] args) {
        Pair<String, String> p1 = new Pair<String,String>("UC","ED");
        Pair<Integer, Integer> p2 = new Pair<Integer,Integer>(42,1);
        Pair<String, Integer> p3 = new Pair<String,Integer>("Dois",2);

        String s1 = p1.getFirst(); // "UC"
        String s2 = p1.getSecond(); // "ED"
    }
}
```

Wrappers

- Os tipos A e B do Pair esperam um objecto (e não tipos primitivos).
- Como colocar um tipo primitivo onde é esperado um objecto?
- O Java disponibiliza **Wrappers**: classes cujo objectivo é encapsular um tipo primitivo: **Byte**, **Short**, **Integer**, **Long**, **Float**, **Double**, **Character**, **Boolean**.

```
public class TestWrappers {
    public static void main(String[] args) {
        Integer i = new Integer(42);
        Double d = new Double(2.3);

        System.out.println(i.intValue()); // 42
        System.out.println(d.doubleValue()); // 2.3
    }
}
```

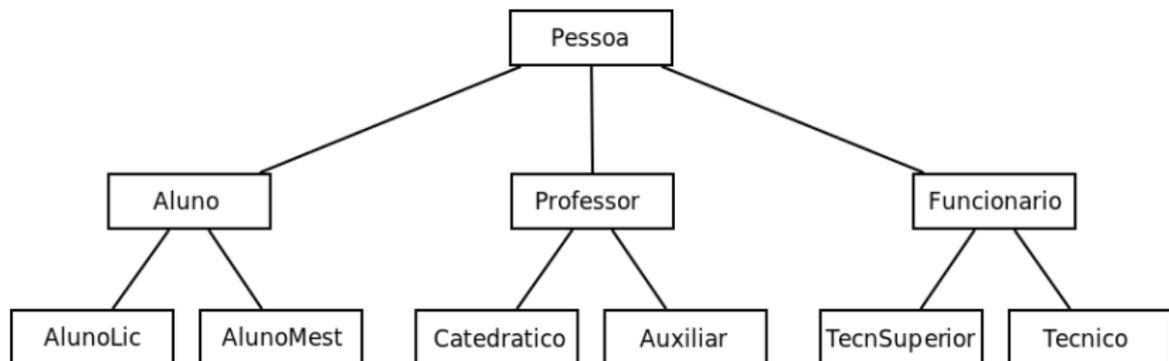
"Boxing" e "unboxing" automáticos

- Para facilitar o uso, o Java faz **boxing** e **unboxing** automáticos, um processo que faz conversão implícita entre tipos primitivos e os correspondentes Wrappers.
- Um exemplo:
 - ▶ Onde é esperado um Integer e é passado um Integer, o Java cria um Integer contendo o **int**
 - ▶ Onde é esperado um **int** e é passado um Integer, o Java vai buscar o intValue()

```
public class TestBoxing {  
    public static void main(String[] args) {  
        Integer a;  
        int b;  
  
        a = 42;    // Automatic boxing de 42  
        b = a * 2; // Automatic unboxing do valor de a  
    }  
}
```

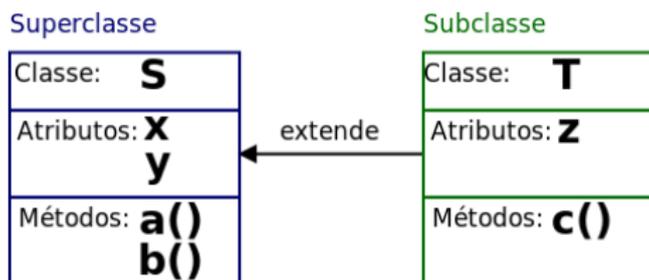
Herança

- Um outro mecanismo importante é o de **herança**
- Não vamos usar muito, mas é importante perceberem o **conceito**
- Uma forma natural de organizar componentes é numa **hierarquia** que vai desde o **mais geral** (no topo) até ao **mais específico** (em baixo)



Herança

- **Herança** é o mecanismo que permite implementar hierarquias, fazendo com que uma classe herde atributos e métodos de outra classe.
- Uma **subclasse** *extende* uma **superclasse** ou **classe base**.



A classe T ficaria com os atributos x , y e z , e os métodos $a()$, $b()$ e $c()$

Herança - Exemplo e uso de "extends" e "super"

```
class Person {
    String name;
    int age;

    Person(String n, int a) {name = n; age = a;}
    String getName() {return name;}
    int getAge() {return age;}
}

// Palavra chave "extends" indica herança
class Student extends Person {
    int number;
    // "super" refere-se à super classe e chama o respectivo construtor
    Student(String n, int i, int m) {super(n,i); number = m;}
    int getNumber() {return number;}
}

class TestStudent {
    public static void main(String[] args) {
        Student a = new Student("Jose",20,12345);
        System.out.println(a.getName());    // Jose
        System.out.println(a.getAge());     // 20
        System.out.println(a.getNumber()); // 12345
    }
}
```

Herança - Variáveis e subclasses

- Uma variável pode referir-se a um objecto de uma subclasse do seu tipo (já o contrário não faz sentido).

```
class TestStudent {
    public static void main(String[] args) {
        // Note que agora estamos a dizer a alocar um Student a uma Person
        Person p = new Student("Jose",20,12345);
        System.out.println(p.getName());    // Jose
        System.out.println(p.getAge());     // 20

        // Esta linha daria um erro
        // System.out.println(a.getNumber());
    }
}
```

Herança - Override

- Uma subclasse pode "reimplementar" um método herdado (**override**)
- Para saber qual método executar, o Java percorre a hierarquia (de baixo para cima) até descobrir o método onde pode executar;

```
class TypeA {
    void write() {System.out.println("A");}
}

class TypeB extends TypeA {}

class TypeC extends TypeA {
    // É permitido: estamos a fazer override do método write
    void write() {System.out.println("C");}
}

class TestTypeABC {
    public static void main(String[] args) {
        TypeB b = new TypeB();
        TypeC c = new TypeC();
        b.write(); // Escreve "A"
        c.write(); // Escreve "C"
    }
}
```

Herança - Classes e Métodos abstractos

- Uma classe pode conter alguns métodos abstractos (não implementados) usando a palavra chave **abstract**
- Fica como um "misto" de interface com superclasse

```
abstract class TypeOne {
    void writeOne() {System.out.println("One");}
    abstract void writeTwo(); // Método abstracto (não implementado)
}
// Se não implementasse writeTwo() java queixava-se que tinha de ser "abstract"
class TypeTwo extends TypeOne {
    // Implementação do método abstracto de TypeA
    void writeTwo() {System.out.println("Two");}
}

class TestTypeOneTwo {
    public static void main(String[] args) {
        TypeTwo t = new TypeTwo();
        t.writeOne(); // Escreve "One"
        t.writeTwo(); // Escreve "Two"
    }
}
```

Heranças e Linguagem Java

- Agora já pode compreender melhor toda a hierarquia de classes de Java (onde a superclasse de topo é simplesmente `Object`):

<https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/util/TreeSet.html>

Class `TreeSet<E>`

```
java.lang.Object
  java.util.AbstractCollection<E>
    java.util.AbstractSet<E> ← Hierarquia de classes
      java.util.TreeSet<E>
```

Type Parameters:

`E` - the type of elements maintained by this set ← Genéricos

All Implemented Interfaces: ← Interfaces implementados

`Serializable`, `Cloneable`, `Iterable<E>`, `Collection<E>`, `NavigableSet<E>`, `Set<E>`, `SortedSet<E>`

```
public class TreeSet<E>
  extends AbstractSet<E>
  implements NavigableSet<E>, Cloneable, Serializable
```

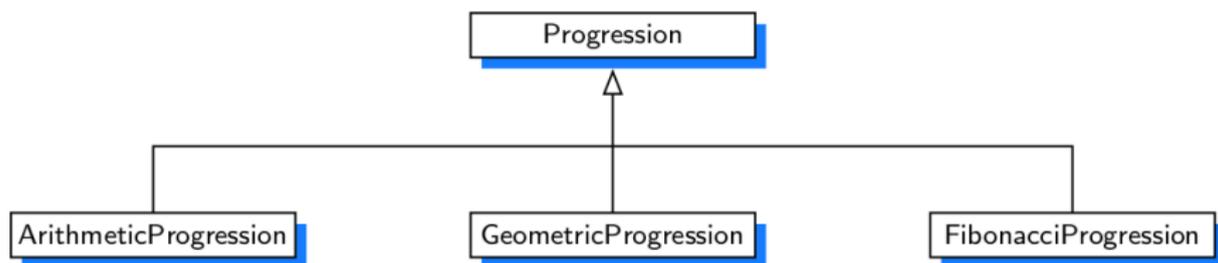
Exemplo de heranças: Progressões

Vamos agora ilustrar alguns dos conceitos dados:

- Vamos implementar **progressões** ou **sequências** de números inteiros
- O que define uma progressão é:
 - ▶ O número (ou números) inicial
 - ▶ A regra que define como obter cada próximo elemento da sequência
- Alguns exemplos:
 - ▶ **Progressão Aritmética:** $f(n) = f(n - 1) + k$
(cada termo é igual anterior mais um incremento fixo).
 - ★ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, ... (+1)
 - ★ 2, 7, 12, 17, 22, 27, ... (+5)
 - ▶ **Progressão Geométrica:** $f(n) = f(n - 1) * k$
(cada termo é igual anterior multiplicado por uma razão constante)
 - ★ 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, ... ($\times 2$)
 - ★ 2, 6, 18, 54, 162, 486, ... ($\times 3$)
 - ▶ **Fibonacci:** $f(n) = f(n - 1) + f(n - 2)$
 - ★ 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, ...

Exemplo de heranças: Progressões

- Vamos criar uma hierarquia de progressões



Queremos os seguintes métodos:

- **nextValue()** - Um método público para ir buscar o próximo valor da progressão, implicitamente avançando a progressão
- **printProgression(n)** - Um método público para imprimir n valores da progressão
- **advance()** - Um método protegido para avançar a progressão

Exemplo de heranças: Progressões

```
// Gera uma progressão. Por omissão é simplesmente: 0, 1, 2, ...
public class Progression {
    protected long current; // valor actual
    // Por omissão começa em 0. This chama construtor da própria classe
    Progression() { this(0); }
    // Constroi progressão começando num dado valor
    Progression(long start) { current = start; }
    // Devolve o valor actual e avança a sequência
    public long nextValue( ) {
        long answer = current;
        advance();
        return answer;
    }
    // Avança para o próximo valor da sequência
    protected void advance( ) {
        current++;
    }
    // Escreve os próximos n valores da progressão
    public void printProgression(int n) {
        for (int i=0; i<n; i++)
            System.out.print(nextValue() + " ");
        System.out.println();
    }
}
```

Exemplo de heranças: Progressões

- Um exemplo de utilização da classe `Progression`

```
public class TestProgression {
    public static void main(String[] args) {
        Progression prog;

        System.out.print("Default Progression: ");
        prog = new Progression();
        prog.printProgression(10); // 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

        System.out.print("Progression with start 4: ");
        prog = new Progression(4);
        prog.printProgression(10); // 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
    }
}
```

Exemplo de heranças: Progressões Aritméticas

- Para além dos construtores, o único método que muda é... o advance()!

```
public class ArithmeticProgression extends Progression {
    protected long increment;

    // Por omissão cria progressão: 0, 1, 2, ...
    public ArithmeticProgression() { this(1, 0); }

    // Cria progressão: 0, stepsize, 2*stepsize,...
    public ArithmeticProgression(long stepsize) { this(stepsize, 0); }

    // Cria progressão com um dado incremento e um dado início
    public ArithmeticProgression(long stepsize, long start) {
        super(start);
        increment = stepsize;
    }

    protected void advance( ) {
        current += increment;
    }
}
```

Exemplo de heranças: Progressões Geométricas

- Para além dos construtores, o único método que muda é... o advance(!)

```
public class GeometricProgression extends Progression {
    protected long base;

    // Por omissão cria progressão: 1, 2, 4, 8, 16, ...
    public GeometricProgression() { this(2, 1); }

    // Cria progressão: 1, b, b2, b3, ...
    public GeometricProgression(long b) { this(b, 0); }

    // Cria progressão com uma dada base e um dado início
    public GeometricProgression(long b, long start) {
        super(start);
        base = b;
    }

    protected void advance( ) {
        current *= base;
    }
}
```

Exemplo de heranças: Sequência de Fibonacci

- Para além dos construtores, o único método que muda é... o advance()!

```
public class FibonacciProgression extends Progression {
    protected long prev;

    // Por omissão cria fibonacci clássico: 0, 1, 1, 2, 3, 5, ...
    public FibonacciProgression() { this(0, 1); }

    // Cria fibonacci com dois valores iniciais dados
    public FibonacciProgression(long first, long second) {
        super(first);
        prev = second - first; // valor fictício antes do first
    }

    protected void advance( ) {
        long temp = prev;
        prev = current;
        current += temp;
    }
}
```

Exemplo de heranças: uso

```
public class TestProgression {
    public static void main(String[ ] args) {
        Progression prog;

        System.out.print("Default arithmetic progression: ");
        prog = new ArithmeticProgression();
        prog.printProgression(10); // 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

        System.out.print("Arithmetic progression with increment 5: ");
        prog = new ArithmeticProgression(5);
        prog.printProgression(10); // 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45

        System.out.print("Arithmetic progression with start 2: ");
        prog = new ArithmeticProgression(5, 2);
        prog.printProgression(10); // 2 7 12 17 22 27 32 37 42 47

        System.out.print("Geometric progression with default base: ");
        prog = new GeometricProgression();
        prog.printProgression(10); // 1 2 4 8 16 32 64 128 256 512

        System.out.print("Geometric progression with base 3: ");
        prog = new GeometricProgression(3);
        prog.printProgression(10); // 1 3 9 27 81 243 729 2187 6561 19683
        // Continua no próximo slide
    }
}
```

Exemplo de heranças: uso

```
// Continuação do slide anterior
```

```
System.out.print("Fibonacci with default start values: ");  
prog = new FibonacciProgression( );  
prog.printProgression(10); // 0 1 1 2 3 5 8 13 21 34
```

```
System.out.print("Fibonacci with start values 4 and 6: ");  
prog = new FibonacciProgression(4, 6);  
prog.printProgression(8); // 4 6 10 16 26 42 68 110
```

```
}
```

```
}
```