Linguagens de Programação

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

http://www.gta.ufrj.br/~miguel

Parte II

Introdução à Programação em C++
(Continuação)

Relembrando da Última Aula...

- Herança
- Mais exemplos de programação orientada a objetos...

Polimorfismo com Hierarquias de Herança

- Polimorfismo permite:
  - "Programar no geral" ao invés de "programar no específico"
  - Processar objetos de classes da mesma hierarquia
    - Como se fossem todos objetos da classe base
- Cada objeto executa as tarefas que lhe são pertinentes
  - Diferentes ações ocorrem, dependendo do tipo de objeto
- Novas classes podem ser adicionadas
  - Com pouca ou nenhuma modificação no código existente

Exemplo: Hierarquia Animal

- Classe base `Animal`
  - Toda classe derivada tem a função `move`
- Diferentes objetos `Animal` são mantidos como um `vector` de ponteiros `Animal`
- O programa emite a mesma mensagem (`move`) a cada animal genericamente
- A função apropriada é chamada
  - `Peixe` movimenta-se (`move`) nadando
  - `Sapo` movimenta-se (`move`) pulando
  - `Pássaro` movimenta-se (`move`) voando

Exemplos de Polimorfismo

- O polimorfismo ocorre quando um programa invoca uma função virtual por meio de um ponteiro ou referência de classe base
  - C++ escolhe dinamicamente a função correta para a classe na qual o objeto foi instanciado

Exemplos de Polimorfismo

- Ex.: `SpaceObjects`
  - O videogame manipula objetos de tipo que herdam de `SpaceObject`
    - Todos possuem a função-membro `draw`
    - Cada um implementa a função `draw` de maneira diferente
  - O programa gerenciador de tela mantém um contêiner de ponteiros `SpaceObject`
    - Chama `draw` em cada objeto usando ponteiros `SpaceObject`
    - A função `draw` apropriada é chamada com base no tipo do objeto
  - Uma nova classe derivada de `SpaceObject` pode ser adicionada sem precisar reescrever o gerenciador de tela
    - A classe pode definir apenas como é a sua função `draw`

Observações de Engenharia de Software

- Funções `virtual` combinadas com o polimorfismo permitem tratar de generalidades e deixar as questões específicas dos objetos para o ambiente em **tempo de execução**
  - É possível direcionar uma variedade de objetos a se comportar de maneira apropriada sem mesmo conhecer seus tipos
    - Contanto que esses objetos pertençam à mesma hierarquia de herança e estejam sendo acessados por meio de um ponteiro de classe base comum

Observações de Engenharia de Software

- O polimorfismo promove extensibilidade
  - O software escrito para invocar comportamento polimórfico é escrito independentemente dos tipos de objeto para os quais as mensagens são enviadas
    - **É possível incorporar nesse sistema novos tipos de objeto que podem responder a mensagens existentes sem modificar o sistema de base**
    - Somente o código do cliente que instancia os novos objetos deve ser modificado para acomodar os novos tipos

Relacionamentos entre Objetos em uma Hierarquia de Herança

- Demonstração:
  - Invocando funções de classe base de objetos de classe derivada
  - Apontando ponteiros de classe derivada para objetos de classe base
    - Erro de compilação
  - Chamadas de funções-membro de classe derivada por meio de ponteiros de classe base
    - Ponteiros de classe base apontados para objetos de classe derivada

Relacionamentos entre Objetos em uma Hierarquia de Herança

- Conceito-chave
  - Um objeto de uma classe derivada pode ser tratado como um objeto de sua classe base
    - Objeto da classe derivada **"é um"** objeto da classe base

Uso de Fçs. de Classe Base de Obj's de Classe Derivada

- Apontar um ponteiro de classe **base** para um objeto de classe **base**
  - Invoca a funcionalidade da **classe base**
- Apontar um ponteiro de classe **derivada** para um objeto de classe **derivada**
  - Invoca a funcionalidade da **classe derivada**

Uso de Fçs. de Classe Base de Obj's de Classe Derivada

- Apontar um ponteiro de classe **base** para um objeto de classe **derivada**
  - Objeto de classe derivada ***é um*** objeto de classe base
  - Chama a funcionalidade da classe **base**
    - A funcionalidade invocada depende do tipo do ponteiro ou referência (*handle*) usado para invocar a função, não do tipo de objeto para o qual o *handle* aponta

```
commissionEmployeePtr = &basePlusCommissionEmployee;
// Chama a fç print declarada na classe base
commissionEmployeePtr->print ();
```


Uso de Fçs. de Classe Base de Obj's de Classe Derivada

- Apontar um ponteiro de classe **base** para um objeto de classe **derivada**
  - Funções `virtual`
    - Permitem que se invoque a funcionalidade do tipo de objeto, ao invés da funcionalidade do tipo de *handle*
    - São fundamentais para implementar comportamento polimórfico


```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 1
 * Arquivo comissionCap13Ex1.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef COMMISSION_H
#define COMMISSION_H

#include <iostream>
#include <string>
#include <iomanip>

using namespace std;

class CommissionEmployee {
      public:
            CommissionEmployee (const string &, const string &,
                                const string &, double = 0.0, double = 0.0);

            void setFirstName (const string &); // Configura o nome
            string getFirstName () const; // Retorna o nome

            void setLastName (const string &);
            string getLastName () const;

            void setSocialSecurityNumber (const string &);
            string getSocialSecurityNumber () const;

            void setGrossSales (double); // Configura a quant. de vendas brutas
            double getGrossSales () const; // Retorna a quant. de vendas brutas

            void setCommissionRate (double); // Conf. taxa de comissão
            double getCommissionRate () const;

            double earnings () const; // Calcula os rendimentos
            void print () const;
```

Primeiro Exemplo de Polimorfismo em C++

```
      private:
            string firstName, lastName;
            string socialSecurityNumber;
            double grossSales;
            double commissionRate;
};

#endif
```



```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 1
 * Arquivo comissionCap13Ex1.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "commissionCap13Ex1.h"

CommissionEmployee::CommissionEmployee (const string &first, const string &last,
            const string &ssn, double sales, double rate) :
            firstName (first), lastName (last), socialSecurityNumber (ssn) {
      setGrossSales (sales);
      setCommissionRate (rate);
}

void CommissionEmployee::setFirstName (const string &first) {
      firstName = first;
}

string CommissionEmployee::getFirstName () const { return firstName; }

void CommissionEmployee::setLastName (const string &last) {
      lastName = last;
}

string CommissionEmployee::getLastName () const { return lastName; }

void CommissionEmployee::setSocialSecurityNumber (const string &ssn) {
      socialSecurityNumber = ssn;
}

string CommissionEmployee::getSocialSecurityNumber () const {
      return socialSecurityNumber;
}

void CommissionEmployee::setGrossSales (double sales) {
      grossSales = (sales < 0.0) ? 0.0 : sales;
}
```

Primeiro Exemplo de Polimorfismo em C++

```
double CommissionEmployee::getGrossSales () const { return grossSales; }

void CommissionEmployee::setCommissionRate (double rate) {
      commissionRate = (rate > 0.0 && rate < 1.0) ? rate : 0.0;
}

double CommissionEmployee::getCommissionRate () const { return commissionRate; }

double CommissionEmployee::earnings () const {
      return getGrossSales () * getCommissionRate ();
}

void CommissionEmployee::print () const {
     cout << "commission employee: " << getFirstName ()
          << ' ' << getLastName ()
          << "\nsocial security number: " << getSocialSecurityNumber ()
          << "\ngross sales: " << getGrossSales ()
          << "\ncommission rate: " << getCommissionRate ();
}
```

Primeiro Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 1
 * Arquivo basepluscommissionCap13Ex1.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef BASEPLUS_H
#define BASEPLUS_H

#include <iostream>
#include <string>
#include <iomanip>
#include "commissionCap13Ex1.h"

using namespace std;

class BasePlusCommissionEmployee : public CommissionEmployee {
      public:
            BasePlusCommissionEmployee (const string &, const string &,
                  const string &, double = 0.0, double = 0.0, double = 0.0);

            void setBaseSalary (double); // Conf. o saldrio base
            double getBaseSalary () const;

            double earnings () const; // Calcula os rendimentos
            void print () const;
      private:
             double baseSalary;
};

#endif
```

Primeiro Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 1
 * Arquivo basepluscomissionCap13Ex1.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "basepluscommissionCap13Ex1.h"

BasePlusCommissionEmployee::BasePlusCommissionEmployee (const string &first,
                  const string &last, const string &ssn,
                  double sales, double rate, double salary) :
                  CommissionEmployee (first, last, ssn, sales, rate) {
      setBaseSalary (salary);
}

void BasePlusCommissionEmployee::setBaseSalary (double salary) {
      baseSalary = (salary < 0.0) ? 0.0 : salary;
}

double BasePlusCommissionEmployee::getBaseSalary () const { return baseSalary; }

double BasePlusCommissionEmployee::earnings () const {
      return baseSalary + CommissionEmployee::earnings ();
}

void BasePlusCommissionEmployee::print () const {
     cout << "Base salary" << endl;

     CommissionEmployee::print ();

     cout << "\nbase salary: " << getBaseSalary ();
}
```

Primeiro Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 1
 * Programa Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "basepluscommissionCap13Ex1.h"

int main () {
      // Cria um objeto de classe básica
      CommissionEmployee commissionEmployee ("Sue", "Jones",
                              "21-1111-1111", 10000, .06);

      // Cria um ponteiro de classe básica
      CommissionEmployee * commissionEmployeePtr = NULL;

      // Cria um objeto de classe derivada
      BasePlusCommissionEmployee basePlusCommissionEmployee ("Bob", "Lewis",
                              "21-2222-2222", 5000, .04, 300);

      // Cria um ponteiro de classe derivada
      BasePlusCommissionEmployee * baseplusCommissionEmployeePtr = NULL;

      // Configura a formatação da saída de ponto flutuante
      cout << fixed << setprecision (2);

      // Gera a saída dos objetos commissionemployee
      // e baseplusCommissionemployee
      cout << "Imprime os objetos da classe base e da derivada:\n\n";
      commissionEmployee.print (); // Invoca print da classe base
      cout << "\n\n";
      basePlusCommissionEmployee.print (); // Invoca print da classe derivada
```

Primeiro Exemplo de Polimorfismo em C++

```
      // Aponta o ponteiro de classe base para
      // o objeto de classe base e imprime
      commissionEmployeePtr = &commissionEmployee; // perfeitamente natural
      cout << "\n\n\nChamando print com o ponteiro da classe base para "
           << "objeto da classe base invoca funcao print da classe base:\n\n";
      commissionEmployeePtr->print (); // Invoca print da classe base

      // Aponta o ponteiro de classe derivada para
      // objeto de classe derivada e imprime
      baseplusCommissionEmployeePtr = &basePlusCommissionEmployee; // natural
      cout << "\n\n\nChamando print com o ponteiro da classe derivada para "
           << "objeto da classe derivada invoca funcao print da "
           << "classe derivada:\n\n";
      baseplusCommissionEmployeePtr->print (); // Invoca print da cl. derivada

      // Aponta o ponteiro de classe base para
      // o objeto de classe derivada e imprime
      commissionEmployeePtr = &basePlusCommissionEmployee; // natural
      cout << "\n\n\nChamando print com o ponteiro da classe base para "
           << "objeto da classe derivada\ninvoca funcao print da "
           << "classe base no objeto da classe derivada:\n\n";
      commissionEmployeePtr->print (); // Invoca print da classe base
      cout << endl;

      return 0;
}
```

Primeiro Exemplo de Polimorfismo em C++

```
// Aponta o
// o objeto
commissionEm
cout << "\n\
      << "obj
commissionEm

// Aponta o
// objeto de
baseplusComm
cout << "\n\
      << "obj
      << "cla
baseplusComm

// Aponta o
// o objeto
commissionEm
cout << "\n\
      << "obj
      << "cla
commissionEm
cout << endl
      return 0;
}
```

```
Imprime os objetos da classe base e da derivada:

commission employee: Sue Jones
social security number: 21-1111-1111
gross sales: 10000.00
commission rate: 0.06

Base salary
commission employee: Bob Lewis
social security number: 21-2222-2222
gross sales: 5000.00
commission rate: 0.04
base salary: 300.00

Chamando print com o ponteiro da classe base para objeto da classe base invoca f
uncao print da classe base:

commission employee: Sue Jones
social security number: 21-1111-1111
gross sales: 10000.00
commission rate: 0.06

Chamando print com o ponteiro da classe derivada para objeto da classe derivada
invoca funcao print da classe derivada:

Base salary
commission employee: Bob Lewis
social security number: 21-2222-2222
gross sales: 5000.00
commission rate: 0.04
base salary: 300.00

Chamando print com o ponteiro da classe base para objeto da classe derivada
invoca funcao print da classe base no objeto da classe derivada:

commission employee: Bob Lewis
social security number: 21-2222-2222
gross sales: 5000.00
commission rate: 0.04
Pressione qualquer tela para continuar. . .
```

Ponteiro de Classe Derivada para um Objeto de Classe Base

- Apontar um ponteiro de classe derivada para um objeto de classe base
  - Faz com que o compilador C++ gere erros
    - `CommissionEmployee` (objeto da classe base) não é um `BasePlusCommissionEmployee` (objeto da classe derivada)
  - Se isso fosse permitido, o programador poderia tentar acessar membros de dados da classe derivada que não existem na classe base
    - Por exemplo, ele poderia tentar acessar **`baseSalary`**
      - Como não existe, a modificação dessa área de memória pode sobrescrever a memória em uso por outros dados

Segundo Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 2
 * Programa Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "commissionCap13Ex1.h"
#include "basepluscommissionCap13Ex1.h"

int main () {
      // Cria um objeto de classe básica
      CommissionEmployee commissionEmployee ("Sue", "Jones",
                        "21-1111-1111", 10000, .06);

      BasePlusCommissionEmployee *basePlusCommissionEmployeePtr = 0;

      // Aponta o ponteiro de classe derivada para objeto de classe base
      // Erro: um CommissionEmployee não é um BasePlusCommissionEmployee
      basePlusCommissionEmployeePtr = &commissionEmployee;

      return 0;
}
```


Segundo Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 2
 * Programa Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
```

Line	File	Message
	C:\Users\MiguelA\Documents\UFRJ\...	In function 'int main()':
18	C:\Users\MiguelA\Documents\UFRJ\...	invalid conversion from 'CommissionEmployee*' to 'BasePlusCommissionEmployee*'
	C:\Users\MiguelA\Documents\UFRJ\...	[Build Error] exec: "" [aula13-ex2.o] Error 1

```
      // Cria um objeto de classe básica
      CommissionEmployee commissionEmployee ("Sue", "Jones",
                        "21-1111-1111", 10000, .06);

      BasePlusCommissionEmployee *basePlusCommissionEmployeePtr = 0;

      // Aponta o ponteiro de classe derivada para objeto de classe base
      // Erro: um CommissionEmployee não é um BasePlusCommissionEmployee
      basePlusCommissionEmployeePtr = &commissionEmployee;

      return 0;
}
```


Uso de Fçs. de Classe Derivada via Ponteiros de Classe Base

- Apontando um ponteiro de classe base para um objeto de classe derivada
  - Chamar funções existentes na classe base faz com que a funcionalidade da classe base seja invocada
  - Chamar funções não existentes na classe base (mas que podem existir na classe derivada) provocará erros
    - Os membros da classe derivada não podem ser acessados por meio de ponteiros de classe base
    - Entretanto, podem ser executados por meio de **downcasting**

Terceiro Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 3
 * Programa Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "commissionCap13Ex1.h"
#include "basepluscommissionCap13Ex1.h"

int main () {
      // Classe base
      CommissionEmployee *commissionEmployeePtr = 0;

      // Classe Derivada
      BasePlusCommissionEmployee basePlusCommissionEmployee(
                  "Bob", "Lewis", "333-33-3333", 5000, .04, 300 );

      // Aponta o ponteiro da classe base para o objeto da classe derivada
      commissionEmployeePtr = &basePlusCommissionEmployee;

      // Invoca as funções membro da classe base no objeto da classe derivada
      // por ponteiro de classe base
      string firstName = commissionEmployeePtr->getFirstName();
      string lastName = commissionEmployeePtr->getLastName();
      string ssn = commissionEmployeePtr->getSocialSecurityNumber();
      double grossSales = commissionEmployeePtr->getGrossSales();
      double commissionRate = commissionEmployeePtr->getCommissionRate();

      // Tentativa de invocar funções exclusivas de classe derivada
      // em objeto de classe derivada por meio de um ponteiro de classe base
      double baseSalary = commissionEmployeePtr->getBaseSalary();
      commissionEmployeePtr->setBaseSalary( 500 );

      return 0;
}
```

Terceiro Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 3
 * Programa Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "commissionCap13Ex1.h"
#include "basepluscommissionCap13Ex1.h"

int main () {
      // Classe base
      CommissionEmployee *commissionEmployeePtr = 0;
```

Line	File	Message
	C:\Users\MiguelA\Documents\UFRJ\...	In function 'int main()':
30	C:\Users\MiguelA\Documents\UFRJ\...	'class CommissionEmployee' has no member named 'getBaseSalary'
31	C:\Users\MiguelA\Documents\UFRJ\...	'class CommissionEmployee' has no member named 'setBaseSalary'
	C:\Users\MiguelA\Documents\UFRJ\...	[Build Error] exec: "" [aula13-ex3.o] Error 1

```
      // invoca as funções membro da classe base no objeto da classe derivada
      // por ponteiro de classe base
      string firstName = commissionEmployeePtr->getFirstName();
      string lastName = commissionEmployeePtr->getLastName();
      string ssn = commissionEmployeePtr->getSocialSecurityNumber();
      double grossSales = commissionEmployeePtr->getGrossSales();
      double commissionRate = commissionEmployeePtr->getCommissionRate();

      // Tentativa de invocar funções exclusivas de classe derivada
      // em objeto de classe derivada por meio de um ponteiro de classe base
      double baseSalary = commissionEmployeePtr->getBaseSalary();
      commissionEmployeePtr->setBaseSalary( 500 );

      return 0;
}
```

Exemplo 1

- Escreva um programa que invoque o método **move** comum em três classes derivadas da classe **Animal** e imprima uma mensagem. Para isso, crie uma classe **Aguia**, **Cavalo** e **Tubarao**. A função principal terá um array de ponteiros para objetos da classe **Animal** cujos elementos serão endereços de objetos das classes derivadas.

?

Exemplo 1

```
#include <iostream>
#include "cavaloCap13Ex8.h"
#include "tubaraoCap13Ex8.h"
#include "aguiaCap13Ex8.h"

using namespace std;

int main () {
    Animal *a [3];

    a [0] = new Cavalo;
    a [1] = new Tubarao;
    a [2] = new Aguia;

    cout << endl;

    a [0]->move ();
    a [1]->move ();
    a [2]->move ();

    delete a [0];
    delete a [1];
    delete a [2];

    return 0;
}
```


Exemplo 1

```
#include <iostream>

using namespace std;

#ifndef ANIMAL_H
#define ANIMAL_H

class Animal {
        public:
        void move ();
};

#endif
```

```
#include "animal.h"

void Animal::move () {
        cout << "O animal moveu!" << endl;
}
```


Exemplo 1

```
#include <iostream>
#include "animal.h"

using namespace std;

#ifndef AGUIA_H
#define AGUIA_H

class Aguia : public Animal {
        public:
        Aguia ();
        void move ();
};

#endif
```

```
#include "aguia.h"

Aguia::Aguia () {
        cout << "Nasceu a aguia!" << endl;
}

void Aguia::move () {
        cout << "A aguia voou!" << endl;
}
```


Exemplo 1

```
#include <iostream>
#include "animal.h"

using namespace std;

#ifndef TUBARAO_H
#define TUBARAO_H

class Tubarao : public Animal {
        public:
        Tubarao ();
        void move ();
};

#endif
```

```
#include "tubarao.h"

Tubarao::Tubarao () {
        cout << "Nasceu o tubarao!" << endl;
}

void Tubarao::move () {
        cout << "O tubarao nadou!" << endl;
}
```


Exemplo 1

```
#include <iostream>
#include "animal.h"

using namespace std;

#ifndef CAVALO_H
#define CAVALO_H

class Cavalo : public Animal {
        public:
        Cavalo ();
        void move ();
};

#endif
```

```
#include "cavalo.h"

Cavalo::Cavalo () {
        cout << "Nasceu o cavalo!" << endl;
}

void Cavalo::move () {
        cout << "O cavalo galopou!" << endl;
}
```


Exemplo 1

```
#include <iostream>
#include "anim
using namespac
#ifndef CAVALO
#define CAVALO
class Cavalo :
        public
        Cavalo
        void m
};
#endif
```

```
a ] C:\Users\Miguel\Documents\UFRJ\disciplinas\linguagens\projetos\aula13-ex8.exe
Nasceu o cavalo!
Nasceu o tubarao!
Nasceu a aguia!
O animal moveu!
O animal moveu!
O animal moveu!
Pressione qualquer tecla para continuar. . .
```

Exemplo 1

```
#include <iostream>
#include "ani  C:\Users\Miguel\Documents\UFRJ\disciplinas\linguagens\projetos\aula13-ex8.exe
using namespac Nasceu o cavalo!
               Nasceu o tubarao!
#ifndef CAVAL  Nasceu a aguia!
#define CAVAL  O animal moveu!
               O animal moveu!
class Cavalo   O animal moveu!
        public Pressione qualquer tecla para continuar. . .
        Cavalo
        void m
};

#endif
```

E se a gente criar um ponteiro para um objeto da classe `Cavalo` que recebe o conteúdo do array na posição 0?

Exemplo 1

```
#include <iostream>
#include "cavaloCap13Ex8.h"
#include "tubaraoCap13Ex8.h"
#include "aguiaCap13Ex8.h"

using namespace std;

int main () {
    Animal *a [3];

    a [0] = new Cavalo;
    a [1] = new Tubarao;
    a [2] = new Aguia;

    cout << endl;

    a [0]->move ();
    a [1]->move ();
    a [2]->move ();

    Cavalo *c = a [0];

    delete a [0];
    delete a [1];
    delete a [2];
```

Funciona?

Exemplo 1

```
#include <iostream>
#include "cavaloCap13Ex8.h"
#include "tubaraoCap13Ex8.h"
#include "aguiaCap13Ex8.h"

using namespace std;
```

```
C:\Users\Miguel\Documents\UFRJ\...   In function `int main()':
21 C:\Users\Miguel\Documents\UFRJ\...   invalid conversion from `Animal*' to `Cavalo*'
   C:\Users\Miguel\Documents\UFRJ\...   [Build Error] exe: *** [principalCap13Ex8.o] Error 1
```

```
    a [2] = new Aguia;

    cout << endl;

    a [0]->move ();
    a [1]->move ();
    a [2]->move ();

    Cavalo *c = a [0];

    delete a [0];
    delete a [1];
    delete a [2];

    return 0;
}
```


Uso de Fçs. de Classe Derivada via Ponteiros de Classe Base

- Se o **endereço de um objeto de classe derivada foi atribuído a um ponteiro de uma de suas classes base diretas ou indiretas**, é aceitável fazer coerção desse ponteiro de classe base de volta para um ponteiro de classe derivada
  - Na verdade, isso deve ser feito para enviar a esse objeto de classe derivada mensagens que não aparecem na classe base
    - Mas para isso a classe base deve ser **POLIMÓRFICA**!

Como criar classes polimórficas?

Funções Virtuais

- Qual função da classe deve ser invocada?
  - Normalmente
    - O *handle* determina a funcionalidade da classe a ser invocada
  - Com funções **`virtual`**
    - O tipo do objeto para o qual está se apontando, não o tipo do *handle*, determina que versão da função **`virtual`** deve ser invocada
    - Programa determina dinamicamente (em tempo de execução, e não em tempo de compilação) que função deve ser usada
      - Procedimento conhecido por vinculação dinâmica ou vinculação tardia (***late binding***)

Funções Virtuais

- São declaradas colocando-se antes do protótipo de função a palavra-chave **`virtual`** na classe base
- As classes derivadas sobrescrevem uma função **`virtual`** quando apropriado
- Depois que é declarada **`virtual`**...
  - A função permanece **`virtual`** em todos os níveis inferiores da hierarquia

Funções Virtuais

- Vinculação estática
  - Ao chamar uma função `virtual` usando um objeto específico com o operador ponto, a invocação da função é resolvida em tempo de compilação

```
CommissionEmployee c; //Classe derivada
c.print ();
```

- Vinculação dinâmica
  - A vinculação dinâmica ocorre somente com os *handles* de ponteiro e de referência

```
CommissionEmployee ce; //Classe derivada
Employee *c = &ce;
c->print ();
```


Funções Virtuais

- Uma vez que uma função é declarada **`virtual`**, permanece **`virtual`** por toda a hierarquia de herança a partir desse ponto
  - Mesmo que essa função não seja declarada explicitamente como `virtual` quando uma classe a sobrescreve
- Mesmo que uma função seja implicitamente **`virtual`** por causa de uma declaração feita em um ponto mais alto da hierarquia de classes
  - Declare explicitamente essa função `virtual` em cada nível da hierarquia para deixar o programa mais claro

Funções Virtuais

- Quando um programador navega por uma hierarquia de classes para localizar uma classe para reutilização, é possível que uma função nessa classe exiba um comportamento de função **`virtual`** mesmo que não esteja declarada **`virtual`** explicitamente
  - Erros de lógica podem ocorrer quando a classe herda uma função que não é `virtual` de sua classe base
    - Erros como esses podem ser evitados declarando explicitamente **`virtual`** todas as funções **`virtual`** por toda a hierarquia de herança

Funções Virtuais

- Quando uma classe derivada escolhe não sobrescrever uma função **`virtual`** de sua classe base...
  - A classe derivada simplesmente herda a implementação de função `virtual` de sua classe base


```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 4
 * Arquivo comissionCap13Ex4.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef COMMISSION_H
#define COMMISSION_H
#include <iostream>
#include <string>
#include <iomanip>

using namespace std;

class CommissionEmployee {
      public:
                  CommissionEmployee (const string &, const string &,
                                      const string &, double = 0.0, double = 0.0);

                  void setFirstName (const string &); // Configura o nome
                  string getFirstName () const; // Retorna o nome

                  void setLastName (const string &);
                  string getLastName () const;

                  void setSocialSecurityNumber (const string &);
                  string getSocialSecurityNumber () const;

                  void setGrossSales (double); // Configura a quant. de vendas brutas
                  double getGrossSales () const; // Retorna a quant. de vendas brutas

                  void setCommissionRate (double); // Conf. taxa de comissão
                  double getCommissionRate () const;

                  virtual double earnings () const; // Calcula os rendimentos
                  virtual void print () const;
```

Quarto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
      private:
            string firstName, lastName;
            string socialSecurityNumber;
            double grossSales;
            double commissionRate;
};

#endif
```

Quarto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 4
 * Arquivo comissionCap13Ex4.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "commissionCap13Ex4.h"

CommissionEmployee::CommissionEmployee (const string &first, const string &last,
            const string &ssn, double sales, double rate) :
            firstName (first), lastName (last), socialSecurityNumber (ssn) {
      setGrossSales (sales);
      setCommissionRate (rate);
}

void CommissionEmployee::setFirstName (const string &first) {
      firstName = first;
}

string CommissionEmployee::getFirstName () const { return firstName; }

void CommissionEmployee::setLastName (const string &last) {
      lastName = last;
}

string CommissionEmployee::getLastName () const { return lastName; }

void CommissionEmployee::setSocialSecurityNumber (const string &ssn) {
      socialSecurityNumber = ssn;
}

string CommissionEmployee::getSocialSecurityNumber () const {
      return socialSecurityNumber;
}
```

Quarto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
void CommissionEmployee::setGrossSales (double sales) {
      grossSales = (sales < 0.0) ? 0.0 : sales;
}

double CommissionEmployee::getGrossSales () const { return grossSales; }

void CommissionEmployee::setCommissionRate (double rate) {
      commissionRate = (rate > 0.0 && rate < 1.0) ? rate : 0.0;
}

double CommissionEmployee::getCommissionRate () const { return commissionRate; }

double CommissionEmployee::earnings () const {
      return getGrossSales () * getCommissionRate ();
}

void CommissionEmployee::print () const {
     cout << "commission employee: " << getFirstName ()
          << ' ' << getLastName ()
          << "\nsocial security number: " << getSocialSecurityNumber ()
          << "\ngross sales: " << getGrossSales ()
          << "\ncommission rate: " << getCommissionRate ();
}
```


Quarto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 4
 * Arquivo baseplusCommissionCap13Ex4.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef BASEPLUS_H
#define BASEPLUS_H

#include <iostream>
#include <string>
#include <iomanip>
#include "commissionCap13Ex4.h"

using namespace std;

class BasePlusCommissionEmployee : public CommissionEmployee {
      public:
            BasePlusCommissionEmployee (const string &, const string &,
                  const string &, double = 0.0, double = 0.0, double = 0.0);

            void setBaseSalary (double); // Conf. o salário base
            double getBaseSalary () const;

            virtual double earnings () const; // Calcula os rendimentos
            virtual void print () const;
      private:
             double baseSalary;
};

#endif
```

Quarto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 4
 * Arquivo baseplusCommissionCap13Ex4.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "baseplusCommissionCap13Ex4.h"

BasePlusCommissionEmployee::BasePlusCommissionEmployee (const string &first,
            const string &last, const string &ssn,
            double sales, double rate, double salary) :
            CommissionEmployee (first, last, ssn, sales, rate) {
      setBaseSalary (salary);
}

void BasePlusCommissionEmployee::setBaseSalary (double salary) {
      baseSalary = (salary < 0.0) ? 0.0 : salary;
}

double BasePlusCommissionEmployee::getBaseSalary () const { return baseSalary; }

double BasePlusCommissionEmployee::earnings () const {
      return baseSalary + CommissionEmployee::earnings ();
}

void BasePlusCommissionEmployee::print () const {
     cout << "Base salary" << endl;

     CommissionEmployee::print ();

     cout << "\nbase salary: " << getBaseSalary ();
}
```

Quarto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 4
 * Programa Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "baseplusCommissionCap13Ex4.h"

int main () {
      // Cria um objeto da classe básica
      CommissionEmployee commissionEmployee ("Sue", "Jones",
                        "21-1111-1111", 10000, .06);

      // Cria um ponteiro de classe básica
      CommissionEmployee * commissionEmployeePtr = NULL;

      // Cria um objeto da classe derivada
      BasePlusCommissionEmployee basePlusCommissionEmployee ("Bob", "Lewis",
                        "21-2222-2222", 5000, .04, 300);

      // Cria um ponteiro de classe derivada
      BasePlusCommissionEmployee * baseplusCommissionEmployeePtr = NULL;

      // Configura a formatação da saída de ponto flutuante
      cout << fixed << setprecision (2);

      // Gera a saída dos objetos commissionemployee
      // e baseplusCommissionEmployee
      cout << "Imprime os objetos da classe base e da derivada:\n\n";
      commissionEmployee.print (); // Invoca print da classe base
      cout << "\n\n";
      basePlusCommissionEmployee.print (); // Invoca print da classe derivada
```

Quarto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
      // Aponta o ponteiro de classe básica para
      // o objeto de classe básica e imprime
      commissionEmployeePtr = &commissionEmployee; // perfeitamente natural
      cout << "\n\n\nChamando print com o ponteiro da classe base para "
           << "objeto da classe base invoca funcao print da classe base:\n\n";
      commissionEmployeePtr->print (); // Invoca print da classe base

      // Aponta o ponteiro de classe derivada para
      // o objeto de classe derivada e imprime
      baseplusCommissionEmployeePtr = &basePlusCommissionEmployee; // natural
      cout << "\n\n\nChamando print com o ponteiro da classe derivada para "
           << "objeto da classe derivada invoca funcao print da "
           << "classe derivada:\n\n";
      baseplusCommissionEmployeePtr->print (); // Invoca print da cl. derivada

      // Aponta o ponteiro de classe base para
      // o objeto de classe derivada e imprime
      commissionEmployeePtr = &basePlusCommissionEmployee; // natural
      cout << "\n\n\nChamando print com o ponteiro da classe base para "
           << "objeto da classe derivada\ninvoca funcao print da "
           << "classe derivada no objeto da classe derivada:\n\n";
      commissionEmployeePtr->print ();
      cout << endl;

      return 0;
}
```

Quarto Exemplo de Polimorfismo em C++

Atribuições Permitidas entre Obj's de Cl. Base e de Cl. Derivada e Ponteiros

- Quatro maneiras de apontar ponteiros de classe base e classe derivada para objetos de classe base e classe derivada
  - Apontar um ponteiro de **classe base** para um objeto de **classe base**
    - É um processo direto
  - Apontar um ponteiro de **classe derivada** para um objeto de **classe derivada**
    - É um processo direto

Atribuições Permitidas entre Obj's de Cl. Base e de Cl. Derivada e Ponteiros

- Quatro maneiras de apontar ponteiros de classe base e classe derivada para objetos de classe base e classe derivada
  - Apontar um ponteiro de **classe base** para um objeto de **classe derivada**
    - É seguro, mas pode ser usado para invocar apenas funções-membro que a classe base declara (a menos que seja utilizado downcasting)
    - Permite polimorfismo com funções `virtual`
  - Apontar um ponteiro de **classe derivada** para um objeto de **classe base**
    - Gera um erro de compilação

Atribuições Permitidas entre Obj's de Cl. Base e de Cl. Derivada e Ponteiros

- É um erro de compilação...
  - Depois de apontar um ponteiro de classe base para um objeto de classe derivada, tentar referenciar membros exclusivos de classe derivada com o ponteiro da classe base
- Tratar um objeto de classe base como um objeto de classe derivada pode causar erros

Campos de Tipo e Instruções `switch`

- A instrução `switch` poderia ser utilizada para determinar o tipo de um objeto em tempo de execução
  - Incluir um campo de tipo como membro de dados na classe base
  - Permite que o programador invoque a ação apropriada para um determinado objeto
  - Possíveis problemas
    - Um teste de tipo pode ser esquecido
    - A adição de novos tipos pode ser esquecida

Campos de Tipo e Instruções `switch`

- A programação polimórfica pode eliminar a necessidade de lógica `switch` desnecessária
  - Usando o mecanismo de polimorfismo do C++ para realizar uma lógica equivalente, os programadores podem evitar os tipos de erro normalmente associados com a lógica `switch`
- O interessante de utilizar polimorfismo é que os programas assumem uma aparência simplificada
  - Eles contêm menos lógica de desvio e código mais simples e sequencial
  - Essa simplificação facilita o teste, a depuração e a manutenção do programa

Classes Abstratas e Funções `Virtual` Puras

- Classes abstratas
  - Classes das quais o programador não pretende instanciar objetos
    - São **incompletas**
      - As classes derivadas têm que definir as "partes ausentes"
    - São muito genéricas para definir objetos

Classes Abstratas e Funções `Virtual` Puras

- Classes abstratas
  - São normalmente usadas como classes base, denominadas classes base abstratas
    - Oferecem uma classe base apropriada da qual outras classes podem herdar
    - As classes usadas para instanciar objetos são denominadas **classes concretas**
      - Devem fornecer implementação a toda função-membro da classe, inclusive as incompletas herdadas

Classes Abstratas e Funções `Virtual` Puras

- Função **`virtual`** pura
  - Para tornar uma classe abstrata, é necessário declarar "pura" uma ou mais de suas funções **`virtual`**
    - Colocando "`= 0`" em sua declaração
      - Ex.: `virtual void draw() const = 0;`
        - » "`= 0`" é conhecido como um **especificador puro**

Classes Abstratas e Funções `Virtual` Puras

- Função **`virtual`** pura
  - Não fornece implementações
    - Toda classe derivada concreta deve sobrescrever todas as funções **`virtual`** puras de classe base com implementações concretas
      - Se não sobrescrever, a classe derivada também será abstrata
  - É usada enquanto ainda não fizer sentido para a classe base ter a implementação da função
    - **O programador quer que todas as classes derivadas concretas implementem essa função para o seu caso específico**

Classes Abstratas e Funções `Virtual` Puras

- Uma classe abstrata define uma interface pública comum para as várias classes em uma hierarquia de classes
  - Uma classe abstrata contém uma ou mais funções **`virtual`** puras que as classes derivadas concretas devem sobrescrever
- Tentar instanciar um objeto de uma classe abstrata causa um erro de compilação

Classes Abstratas e Funções `Virtual` Puras

- A falha em sobrescrever uma função **`virtual`** pura em uma classe derivada e então tentar instanciar objetos dessa classe é um erro de compilação
- Uma classe abstrata tem pelo menos uma função **`virtual`** pura
  - Uma classe abstrata também pode ter membros de dados e funções concretas (incluindo construtores e destrutores), que estão sujeitos às regras normais de herança por classes derivadas

Classes Abstratas e Funções `Virtual` Puras

- Podemos usar uma classe base abstrata para declarar ponteiros e referências
  - É possível fazer referência a todos os objetos de qualquer classe concreta derivada da classe abstrata
  - Os programas normalmente usam esses ponteiros e referências para manipular objetos de classes derivadas polimorficamente

Classes Abstratas e Funções `Virtual` Puras

- O polimorfismo é particularmente eficaz na implementação de sistemas em camadas de software
  - Ler e escrever dados de e para dispositivos E/S
    - Procedimentos de leitura e escrita estão sempre presentes em dispositivos, mas cada dispositivo possui suas características específicas
- Classe "iterator"
  - Pode percorrer todos os objetos em vários níveis hierárquicos em um contêiner
    - Uso do polimorfismo

Sistema de Folha de Pagamento Utilizando Polimorfismo

- Uma classe derivada pode herdar a **implementação** ou a interface de uma classe base
  - As hierarquias projetadas para a herança de **implementação** possuem suas funcionalidades na parte superior da hierarquia
    - Cada nova classe derivada herda uma ou mais funções-membro que foram definidas em uma classe base e a classe derivada utiliza as definições de classe base

Sistema de Folha de Pagamento Utilizando Polimorfismo

- Uma classe derivada pode herdar a implementação ou a **interface** de uma classe base
  - As hierarquias projetadas para a herança de **interface** possuem suas funcionalidades na parte inferior da hierarquia
    - Uma classe base especifica uma ou mais funções que devem ser definidas para cada classe na hierarquia (isto é, elas têm o mesmo protótipo), mas as classes derivadas individuais fornecem suas próprias implementações da(s) função(ões)

Sistema de Folha de Pagamento Utilizando Polimorfismo

- Aperfeiçoe a hierarquia **`CommissionEmployee-BasePlusCommissionEmployee`** usando uma classe base abstrata
  - A classe abstrata **`Employee`** representa o conceito geral de um empregado
    - Declara a "interface" à hierarquia
    - Todo empregado tem nome, sobrenome e um número de seguro social
  - Os rendimentos são calculados diferentemente e os objetos são impressos diferentemente para cada classe derivada

Criação da Classe Base Abstrata `Employee`

- Classe **`Employee`**
  - Oferece várias funções *get* e *set*
  - Oferece as funções **`earnings`** e **`print`**
    - A função **`earnings`** depende do tipo de empregado, de modo que é declarada **`virtual pura`**
      - Não há informações suficientes na classe **`Employee`** para uma implementação-padrão
    - A função **`print`** **é virtual, mas não** **`virtual pura`**
      - A implementação-padrão é fornecida em **`Employee`**
  - O exemplo mantém um **`vector`** de ponteiros **`Employee`**
    - As funções **`earnings`** e **`print`** apropriadas são invocadas polimorficamente

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 5
 * Arquivo comissionCap13Ex5.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef EMPLOYEE_H
#define EMPLOYEE_H

#include <iostream>
#include <string>
#include <iomanip>

using namespace std;

class Employee {
      public:
            Employee (const string &, const string &, const string &);

            void setFirstName (const string &); // Configura o nome
            string getFirstName () const; // Retorna o nome

            void setLastName (const string &);
            string getLastName () const;

            void setSocialSecurityNumber (const string &);
            string getSocialSecurityNumber () const;

            // A função virtual pura cria a classe básica abstrata Employee
            virtual double earnings () const = 0; // Virtual Pura
            virtual void print () const; // Virtual
      private:
             string firstName, lastName;
             string socialSecurityNumber;
};

#endif
```

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 5
 * Arquivo comissionCap13Ex5.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "commissionCap13Ex5.h"

Employee::Employee (const string &first, const string &last, const string &ssn)
      : firstName (first), lastName (last), socialSecurityNumber (ssn) {}

void Employee::setFirstName (const string &first) {
      firstName = first;
}

string Employee::getFirstName () const { return firstName; }

void Employee::setLastName (const string &last) {
      lastName = last;
}

string Employee::getLastName () const { return lastName; }

void Employee::setSocialSecurityNumber (const string &ssn) {
      socialSecurityNumber = ssn;
}

string Employee::getSocialSecurityNumber () const {
      return socialSecurityNumber;
}

// Imprime informações de Employee (virtual, mas não virtual pura)
void Employee::print () const {
      cout << getFirstName () << ' ' << getLastName ()
           << "\nsocial security number: " << getSocialSecurityNumber ();
}
```

Criação da Classe Derivada Concreta `SalariedEmployee`

- **`SalariedEmployee` herda de `Employee`**
  - Inclui um salário semanal
    - A função **`earnings`** sobrescrita incorpora o salário semanal
    - A função **`print`** sobrescrita incorpora o salário semanal
  - É uma classe concreta
    - Implementa todas as funções **`virtual`** puras da classe base abstrata

Quinto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 5
 * Arquivo salariedemployeeCap13Ex5.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef SALARIED_H
#define SALARIED_H

#include "employeeCap13Ex5.h"

class SalariedEmployee : public Employee {
      public:
            SalariedEmployee (const string &, const string &,
                  const string &, double = 0.0);

            void setWeeklySalary (double); // Conf. o salário semanal
            double getWeeklySalary () const;

            // Palavra-chave virtual assinala a intenção de sobrescrever
            virtual double earnings () const; // Calcula os rendimentos
            virtual void print () const;
      private:
             double weeklySalary;
};

#endif
```


Quinto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 5
 * Arquivo basepluscomissionCap13Ex5.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "salariedemployeeCap13Ex5.h"

SalariedEmployee::SalariedEmployee (const string &first,
                  const string &last, const string &ssn, double salary) :
                  Employee (first, last, ssn) {
      setWeeklySalary (salary);
}

void SalariedEmployee::setWeeklySalary (double salary) {
      weeklySalary = (salary < 0.0) ? 0.0 : salary;
}

double SalariedEmployee::getWeeklySalary () const {
      return weeklySalary;
}

// Calcula os rendimentos
// Sobrescreve a fp virtual para earnings em Employee
double SalariedEmployee::earnings () const {
      return getWeeklySalary ();
}

void SalariedEmployee::print () const {
     cout << "Salaried employee: ";
     Employee::print (); // Reutiliza a fp print da classe base abstrata
     cout << "\nweekly salary: " << getWeeklySalary ();
}
```

Criação da Classe Derivada Concreta `HourlyEmployee`

- **`HourlyEmployee` herda de `Employee`**
  - Inclui salário-hora e as horas trabalhadas
    - A função **`earnings`** sobrescrita incorpora os salários multiplicados pelas horas (leva em conta o pagamento de 50% a mais)
    - A função **`print`** sobrescrita incorpora o salário e as horas trabalhadas
  - É uma classe concreta
    - Implementa todas as funções **`virtual`** puras na classe base abstrata

Quinto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 5
 * Arquivo hourlyemployeeCap13Ex5.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef HOURLY_H
#define HOURLY_H

#include "employeeCap13Ex5.h"

class HourlyEmployee : public Employee {
      public:
            HourlyEmployee (const string &, const string &,
                  const string &, double = 0.0, double = 0.0);

            void setWage (double); // Conf. o salário por hora
            double getWage () const;

            void setHours (double); // Conf. as horas trabalhadas
            double getHours () const;

            // Palavra-chave virtual assinala a intenção de sobrescrever
            virtual double earnings () const; // Calcula os rendimentos
            virtual void print () const; // Imprime os objetos HourlyEmployee
      private:
             double wage, hours;
};

#endif
```

Quinto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 5
 * Arquivo hourlyemployeeCap13Ex5.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "hourlyemployeeCap13Ex5.h"

HourlyEmployee::HourlyEmployee (const string &first, const string &last,
                  const string &ssn, double hourlyWage, double hoursWorked)
                  : Employee (first, last, ssn) {
      setWage (hourlyWage);
      setHours (hoursWorked);
}

void HourlyEmployee::setWage (double hourlyWage) {
       wage = (hourlyWage < 0.0) ? 0.0 : hourlyWage;
}

double HourlyEmployee::getWage () const { return wage; }

void HourlyEmployee::setHours (double hoursWorked) {
       hours = (((hoursWorked >= 0.0) && (hoursWorked <= 168.0)) ?
       hoursWorked : 0.0);
}

double HourlyEmployee::getHours () const { return hours; }
```


Quinto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
// Calcula os rendimentos - Sobrescreve a fç virtual para earnings em Employee
double HourlyEmployee::earnings () const {
       if (getHours () <= 40) // nenhuma hora extra
             return getWage () * getHours ();
       else
             return 40 * getWage () + ((getHours () - 40) * getWage () * 1.5);
}

void HourlyEmployee::print () const {
      cout << "Hourly employee: ";
      Employee::print (); // Reutiliza a fç print da classe base abstrata
      cout << "\nhourly wage: " << getWage ()
           << ": hours worked: " << getHours ();
}
```


Criação da Classe Derivada Concreta `CommissionEmployee`

- **`CommissionEmployee` herda de `Employee`**
  - Inclui vendas brutas e taxa de comissão
    - A função **`earnings`** sobrescrita incorpora as vendas brutas e a taxa de comissão
    - A função **`print`** sobrescrita incorpora as vendas brutas e a taxa de comissão
  - Classe concreta
    - Implementa todas as funções **`virtual`** puras na classe base abstrata

Quinto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 5
 * Arquivo comissionCap13Ex5.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef COMMISSION_H
#define COMMISSION_H

#include "employeeCap13Ex5.h"

class CommissionEmployee : public Employee {
      public:
            CommissionEmployee (const string &, const string &,
                              const string &, double = 0.0, double = 0.0);

            void setCommissionRate (double); // Configura a comissão
            double getCommissionRate () const;

            void setGrossSales (double); // Configura a quant. de vendas brutas
            double getGrossSales () const; // Retorna a quant. de vendas brutas

            // Palavra-chave virtual assinala a intenção de sobrescrever
            virtual double earnings () const; // Calcula os rendimentos
            virtual void print () const; // Imprime os objetos HourlyEmployee
      private:
             double grossSales;
             double commissionRate;
};

#endif
```

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 5
 * Arquivo comissionCap13Ex5.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "commissionCap13Ex5.h"

CommissionEmployee::CommissionEmployee (const string &first, const string &last,
            const string &ssn, double sales, double rate)
            : Employee (first, last, ssn) {
      setGrossSales (sales);
      setCommissionRate (rate);
}

void CommissionEmployee::setCommissionRate (double rate) {
      commissionRate = (rate > 0.0 && rate < 1.0) ? rate : 0.0;
}

double CommissionEmployee::getCommissionRate () const { return commissionRate; }

void CommissionEmployee::setGrossSales (double sales) {
      grossSales = (sales < 0.0) ? 0.0 : sales;
}

double CommissionEmployee::getGrossSales () const { return grossSales; }

// Calcula os rendimentos
// Sobrescreve a fç virtual para earnings em Employee
double CommissionEmployee::earnings () const {
      return getGrossSales () * getCommissionRate ();
}

void CommissionEmployee::print () const {
      cout << "commission employee: ";
      Employee::print ();
      cout << "\ngross sales: " << getGrossSales ()
           << "\ncommission rate: " << getCommissionRate ();
}
```

Criação da Classe Derivada Concreta Indireta BasePlusCommissionEmployee

- **BasePlusCommissionEmployee herda de CommissionEmployee**
  - Inclui o salário-base
    - A função **earnings** sobrescrita incorpora o salário-base
    - A função **print** sobrescrita incorpora o salário-base
  - Classe concreta, porque a classe derivada é concreta
    - Não é necessário sobrescrever **earnings** para torná-la concreta. É possível herdar a implementação de **CommissionEmployee**
      - Embora sobrescrevamos **earnings** para incorporar o salário-base

Quinto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 5
 * Arquivo basepluscommissionCap13Ex5.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef BASEPLUS_H
#define BASEPLUS_H

#include <iostream>
#include <string>
#include <iomanip>
#include "commissionCap13Ex5.h"

using namespace std;

class BasePlusCommissionEmployee : public CommissionEmployee {
      public:
            BasePlusCommissionEmployee (const string &, const string &,
                  const string &, double = 0.0, double = 0.0, double = 0.0);

            void setBaseSalary (double); // Conf. o salário base
            double getBaseSalary () const;

            // Palavra-chave virtual assinala a intenção de sobrescrever
            virtual double earnings () const; // Calcula os rendimentos
            virtual void print () const; // Imprime os objetos HourlyEmployee
      private:
             double baseSalary;
};

#endif
```

Quinto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 5
 * Arquivo baseplusomissionCap13Ex5.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "basepluscommissionCap13Ex5.h"

BasePlusCommissionEmployee::BasePlusCommissionEmployee (const string &first,
                const string &last, const string &ssn,
                double sales, double rate, double salary) :
                CommissionEmployee (first, last, ssn, sales, rate) {
      setBaseSalary (salary);
}

void BasePlusCommissionEmployee::setBaseSalary (double salary) {
      baseSalary = (salary < 0.0) ? 0.0 : salary;
}

double BasePlusCommissionEmployee::getBaseSalary () const { return baseSalary; }

double BasePlusCommissionEmployee::earnings () const {
      return getBaseSalary () + CommissionEmployee::earnings ();
}

void BasePlusCommissionEmployee::print () const {
      cout << "base salary ";
      CommissionEmployee::print (); // reutiliza código
      cout << "\nbase salary: " << getBaseSalary ();
}
```

Demonstração do Processo Polimórfico

- Crie objetos do tipo **SalariedEmployee, HourlyEmployee, CommissionEmployee e BasePlusCommissionEmployee**
  - Demonstre a manipulação de objetos com a vinculação estática
    - Usando *handles* de nome em vez de ponteiros ou referências
    - O compilador pode identificar cada tipo de objeto para determinar que função **print** e **earnings** deve chamar
  - Demonstre a manipulação de objetos polimorficamente
    - Use um **vector** de ponteiros **Employee**
    - Invoque funções **virtual** usando ponteiros e referências

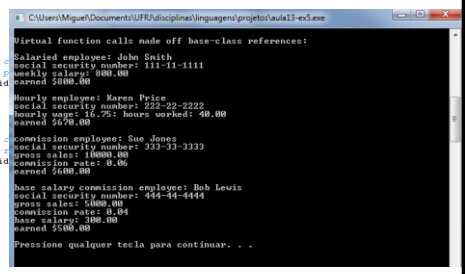

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 5
 * Programa Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include <iostream>
#include <iomanip>
#include <vector>

#include "employeeCap13Ex5.h"
#include "salariedemployeeCap13Ex5.h"
#include "hourlyemployeeCap13Ex5.h"
#include "commissionCap13Ex5.h"
#include "basepluscommissionCap13Ex5.h"

void virtualViaPointer (const Employee * const); // Protótipo
void virtualViaReference (const Employee &); // Protótipo

int main () {
     // formatação da saída do ponto flutuante
     cout << fixed << setprecision( 2 );

     // cria objetos da classe derivada
     SalariedEmployee salariedEmployee("John", "Smith", "111-11-1111", 800 );

     HourlyEmployee hourlyEmployee(
                    "Karen", "Price", "222-22-2222", 16.75, 40 );

     CommissionEmployee commissionEmployee(
                    "Sue", "Jones", "333-33-3333", 10000, .06 );

     BasePlusCommissionEmployee basePlusCommissionEmployee(
                    "Bob", "Lewis", "444-44-4444", 5000, .04, 300 );

     cout << "Employees processed individually using static binding:\n\n";
```

```
     // Imprime a informação de cada Employee e
     // rendimentos com binding estático
     salariedEmployee.print();
     cout << "\nearned $" << salariedEmployee.earnings() << "\n\n";
     hourlyEmployee.print();
     cout << "\nearned $" << hourlyEmployee.earnings() << "\n\n";
     commissionEmployee.print();
     cout << "\nearned $" << commissionEmployee.earnings() << "\n\n";
     basePlusCommissionEmployee.print();
     cout << "\nearned $" << basePlusCommissionEmployee.earnings()
          << "\n\n";

     // cria vector de ponteiros de quatro classe bases
     vector <Employee *> employees (4);

     // inicializa vector com Employees
     employees [0] = &salariedEmployee;
     employees [1] = &hourlyEmployee;
     employees [2] = &commissionEmployee;
     employees [3] = &basePlusCommissionEmployee;

     cout << "Employees processed polymorphically via dynamic binding:\n\n";

     // chama virtualViaPointer para imprimir informação de cada Employee
     // e rendimentos usando binding dinâmico
     cout << "Virtual function calls made off base-class pointers:\n\n";
     for (size_t i = 0; i < employees.size(); i++)
         virtualViaPointer (employees [i]);

     // chama virtualViaReference para imprimir informação de cada Employee
     // e rendimentos usando binding dinâmico
     cout << "Virtual function calls made off base-class references:\n\n";
     for (size_t i = 0; i < employees.size(); i++)
         virtualViaReference (*employees [i]); // note dereferencing

     return 0;
}
```

Quinto Exemplo de Polimorfismo em C++

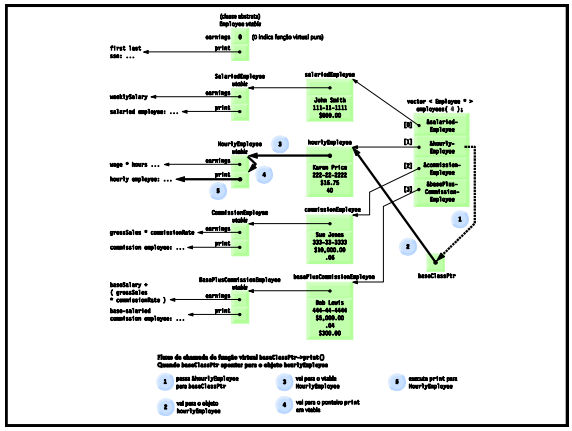
```
// chama funções virtuais de Employee virtual print e earnings de um
// ponteiro para classe base usando binding dinâmico
void virtualViaPointer (const Employee * const baseClassPtr) {
     baseClassPtr->print();
     cout << "\nearned $" << baseClassPtr->earnings() << "\n\n";
}

// chama funções virtuais de Employee virtual print e earnings de um
// referência para classe base usando binding dinâmico
void virtualViaReference (const Employee &baseClassRef) {
     baseClassRef.print();
     cout << "\nearned $" << baseClassRef.earnings() << "\n\n";
}
```

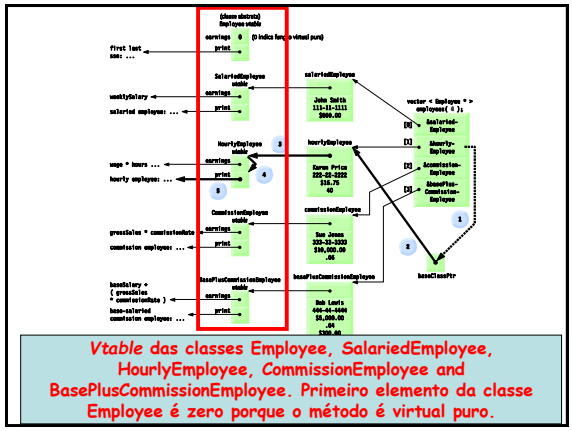

Quinto Exemplo de Polimorfismo em C++



Polimorfismo, Funções `Virtual` e Vinculação Dinâmica "sob o capô"

- Como C++ pode implementar polimorfismo, funções `virtual` e vinculação dinâmica internamente?
  - Compilador cria uma tabela de funções `virtual` (*vtable*) toda vez que uma classe possui uma ou mais funções `virtual`
    - Um programa em execução usa a *vtable* para selecionar a implementação apropriada de função cada vez que uma função virtual de uma classe em específico for chamada





Vtable das classes Employee, SalariedEmployee, HourlyEmployee, CommissionEmployee and BasePlusCommissionEmployee. Primeiro elemento da classe Employee é zero porque o método é virtual puro.

Polimorfismo, Funções `Virtual` e Vinculação Dinâmica "sob o capô"

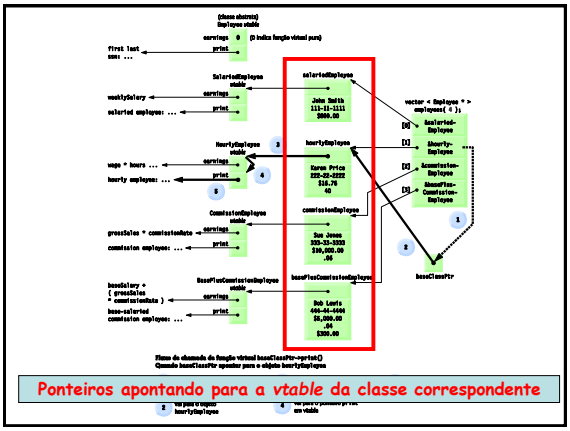
- Como C++ pode implementar polimorfismo, funções `virtual` e vinculação dinâmica internamente?
  - Se `virtual` pura, o ponteiro da função é configurado em **0**
    - Qualquer classe que tenha um ou mais ponteiros nulos em sua *vtable* é uma classe abstrata
  - Classes sem nenhum ponteiro nulo em sua *vtable* são concretas

Polimorfismo, Funções `Virtual` e Vinculação Dinâmica "sob o capô"

- Como C++ pode implementar polimorfismo, funções `virtual` e vinculação dinâmica internamente?
  - Se uma classe derivada não sobrescrever um método herdado
    - Sua *vtable* conterá ponteiros para os métodos correspondentes da classe base
    - Ponteiros têm os mesmos valores que os ponteiros na *vtable* da classe base, já que apontam para o mesmo lugar em memória

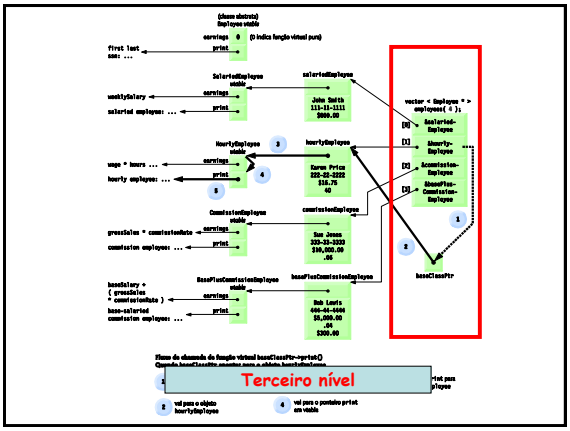
Polimorfismo, Funções `Virtual` e Vinculação Dinâmica "sob o capô"

- Como C++ pode implementar polimorfismo, funções `virtual` e vinculação dinâmica internamente?
  - Utiliza três níveis de ponteiros ("indireção tripla")
    - Primeiro nível de ponteiros
      - Contém ponteiros para funções `virtual`, armazenados na *vtable*
    - Segundo nível de ponteiros
      - Toda vez que um objeto tiver uma ou mais funções `virtual`, o compilador anexa ao objeto um ponteiro para a *vtable* correspondente de sua classe



Polimorfismo, Funções `Virtual` e Vinculação Dinâmica "sob o capô"

- Como C++ pode implementar polimorfismo, funções `virtual` e vinculação dinâmica internamente?
  - Utiliza três níveis de ponteiros ("indireção tripla")
    - Terceiro nível de ponteiros
      - Contém somente os *handles* dos objetos que recebem chamadas às funções `virtual`



Estudo de Caso: Sistema de Folha de Pagamento

- Sistema de Folha de Pagamento utilizando polimorfismo e informações de tipo em tempo de execução com downcasting, **`dynamic_cast`**, **`typeid`** e **`type_info`**
  - Ex.: Recompense **`BasePlusCommissionEmployees`** adicionando 10% a seus salários-base
- É necessário usar informações de tipo em tempo de execução e coerção dinâmica para "programar no específico"
  - Alguns compiladores exigem que essas informações sejam habilitadas para serem utilizadas no programa
    - Consulte a documentação do compilador

Estudo de Caso: Sistema de Folha de Pagamento

- Operador **`dynamic_cast`**
  - Operação downcast
    - Converte um ponteiro de classe base em um ponteiro de classe derivada
  - Se um objeto subjacente for do tipo derivado, será executada a coerção
    - Do contrário, será atribuído 0
  - Se **`dynamic_cast`** não for utilizado e houver a tentativa de atribuir um ponteiro de classe base a um ponteiro de classe derivada
    - Ocorrerá um erro de compilação

Estudo de Caso: Sistema de Folha de Pagamento

- Operador **`typeid`**
  - Recebe um ponteiro desreferenciado e
  - Retorna uma referência a um objeto da classe **`type_info`**
    - Contém informações sobre o tipo de seu operando
    - Função-membro **`name ()`**
      - Retorna uma string baseada em ponteiro que contém o nome do tipo do argumento passado para **`typeid`**
  - Deve incluir o arquivo de cabeçalho **`<typeinfo>`**

Sexto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 6
 * Programa Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include <iostream>
#include <iomanip>
#include <vector>
#include <typeinfo>

#include "employeeCap13Ex5.h"
#include "salariedemployeeCap13Ex5.h"
#include "hourlyemployeeCap13Ex5.h"
#include "commissionCap13Ex5.h"
#include "baseplusCommissionCap13Ex5.h"

int main () {
     // formatação da saída do ponto flutuante
     cout << fixed << setprecision( 2 );

     // cria vector de ponteiros de quatro classe bases
     vector <Employee *> employees (4);

     // cria objetos da classe derivada
     employees [0] = new SalariedEmployee("John", "Smith", "111-11-1111", 800 );

     employees [1] = new HourlyEmployee(
                    "Karen", "Price", "222-22-2222", 16.75, 40 );

     employees [2] = new CommissionEmployee(
                    "Sue", "Jones", "333-33-3333", 10000, .06 );

     employees [3] = new BasePlusCommissionEmployee(
                    "Bob", "Lewis", "444-44-4444", 5000, .04, 300 );
```

Sexto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
// Processa polimorficamente cada elemento no vector employees
for (size_t i = 0; i < employees.size(); i++) {
    employees[i]->print ();
    cout << endl;

    // Ponteiro downcast
    BasePlusCommissionEmployee *derivedPtr =
          dynamic_cast <BasePlusCommissionEmployee *> (employees [i]);

    // Determina se o elemento aponta para o empregado comissionado
    // com salário base
    if (derivedPtr != 0) {
          double oldBaseSalary = derivedPtr->getBaseSalary ();
          cout << "old base salary: $" << oldBaseSalary << endl;
          derivedPtr->setBaseSalary (1.10 * oldBaseSalary);
          cout << "new base salary with 10% increase is: $"
               << derivedPtr->getBaseSalary () << endl;
    }

    cout << "earned $" << employees[i]->earnings () << "\n\n";
}

// Libera objetos apontados pelos elementos do vector
for (size_t i = 0; i < employees.size(); i++) {
    cout << "deleting object of "
         << typeid(*employees [i]).name () << endl;
    delete employees [i];
}

return 0;
}
```

Sexto Exemplo de Polimorfismo em C++

```
// Processa polimorficamente cada elemento no vector employees
for (size_t i = 0; i < employees.size(); i++) {
    employees[i]->print ();
```

```
C:\Users\Miguel\Documents\UFRJ\disciplinas\linguagens\projetos\aula13-ex6.exe
Salaried employee: John Smith
social security number: 111-11-1111
weekly salary: 800.00
earned $800.00

Hourly employee: Karen Price
social security number: 222-22-2222
hourly wage: 16.75: hours worked: 40.00
earned $670.00

commission employee: Sue Jones
social security number: 333-33-3333
gross sales: 10000.00
commission rate: 0.06
earned $600.00

base salary commission employee: Bob Lewis
social security number: 444-44-4444
gross sales: 5000.00
commission rate: 0.04
base salary: 300.00
old base salary: $300.00
new base salary with 10% increase is: $330.00
earned $530.00

deleting object of 16SalariedEmployee
deleting object of 14HourlyEmployee
deleting object of 18CommissionEmployee
deleting object of 26BasePlusCommissionEmployee
Pressione qualquer tecla para continuar. . .
```

```
    return 0;
}
```

Destrutores Virtuais

- Destrutores não virtuais
  - Destrutores que não são declarados com a palavra-chave **virtual**
  - Se um objeto de classe derivada for destruído explicitamente atribuindo o operador **delete** a um ponteiro de classe base para o objeto, o comportamento será indefinido

Destrutores Virtuais

- Destrutores **virtual**
  - São declarados com a palavra-chave **virtual**
    - Todos os destrutores de classe base são **virtual**
  - Se um objeto de classe derivada for destruído explicitamente aplicando o operador **delete** a um ponteiro de classe base para um objeto, o destrutor de classe derivada apropriado será chamado
    - Destrutores de classe base apropriados executarão posteriormente

Destrutores Virtuais

- Se uma classe tiver funções **virtual**, forneça um destrutor **virtual**, mesmo que ele não seja requerido para a classe
  - As classes derivadas dessa classe podem conter destrutores que devem ser chamados adequadamente
- Os construtores não podem ser **virtual**
  - Declarar um construtor **virtual** é um erro de compilação

Exemplo 2

- Escreva um programa que implemente a classe **EmployeeCadastro** que herda atributos e métodos das classes **Cadastro** e **Senha**. Implemente também a classe **ClientCadastro** que herda somente atributos e métodos da classe **Cadastro**. Todas as classes devem implementar um método virtual **print** que para imprimir os valores de todos os seus atributos. A função principal deve instanciar dinamicamente ponteiros da classe base **Cadastro** para objetos de cada uma das classes derivadas.

?

Exemplo 2

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 7
 * Arquivo cadastroCap13Ex7.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef CADASTRO_H
#define CADASTRO_H

#include <iostream>
#include <string>

using namespace std;

class Cadastro {
      public:
            Cadastro (string, int);
            virtual ~Cadastro ();

            string getName () const;
            int getAge () const;
            virtual void print () const;

      private:
            string name;
            int age;
};

#endif
```


Exemplo 2

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 7
 * Arquivo cadastroCap13Ex7.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "cadastroCap13Ex7.h"

Cadastro::Cadastro (string n, int a) : name (n), age (a) {}

Cadastro::~Cadastro () {
      cout << "Destrutor da classe Cadastro..." << endl;
}

string Cadastro::getName () const { return name; }

int Cadastro::getAge () const { return age; }

void Cadastro::print () const {
      cout << "Name: " << getName ()
           << "\nAge: " << getAge () << endl;
}
```

Exemplo 2

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 7
 * Arquivo senhaCap13Ex7.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef SENHA_H
#define SENHA_H

#include <iostream>
#include <string>

using namespace std;

class Senha {
      public:
            Senha (string);
            virtual ~Senha ();

            string getSenha () const;
            virtual void print () const;

      private:
            string senha;
};

#endif
```


Exemplo 2

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 7
 * Arquivo senhaCap13Ex7.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "senhaCap13Ex7.h"

Senha::Senha (string s) : senha (s) {}

Senha::~Senha () {
      cout << "Destrutor da classe Senha..." << endl;
}

string Senha::getSenha () const { return senha; }

void Senha::print () const {
      cout << "Senha: " << getSenha () << endl;
}
```


Exemplo 2

```
/*
 * Aula 12 - Exemplo 7
 * Arquivo employeecadastroCap12Ex7.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef EMPLOYEECADASTRO_H
#define EMPLOYEECADASTRO_H

#include <iostream>
#include <string>
#include "cadastroCap13Ex7.h"
#include "senhaCap13Ex7.h"

using namespace std;

class EmployeeCadastro : public Cadastro, public Senha {
      public:
            EmployeeCadastro (string, int, string, string);
            virtual ~EmployeeCadastro ();

            string getJob () const;
            virtual void print () const;

      private:
            string job;
};

#endif
```


Exemplo 2

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 7
 * Arquivo employeecadastroCap13Ex7.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "employeecadastroCap13Ex7.h"

EmployeeCadastro::EmployeeCadastro (string n, int a, string s, string j)
                        : Cadastro (n, a), Senha (s), job (j) {
}

EmployeeCadastro::~EmployeeCadastro () {
      cout << "Destrutor da classe EmployeeCadastro..." << endl;
}

string EmployeeCadastro::getJob () const { return job; }

void EmployeeCadastro::print () const {
       Cadastro::print ();
       Senha::print ();
       cout << "Job: " << getJob () << "\n\n" << endl;
}
```


Exemplo 2

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 7
 * Arquivo clientcadastroCap13Ex7.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef CLIENTCADASTRO_H
#define CLIENTCADASTRO_H

#include <iostream>
#include <string>
#include "cadastroCap13Ex7.h"

using namespace std;

class ClientCadastro : public Cadastro {
      public:
            ClientCadastro (string, int, string);
            virtual ~ClientCadastro ();

            string getPreference () const;
            virtual void print () const;

      private:
            string preference;
};

#endif
```


Exemplo 2

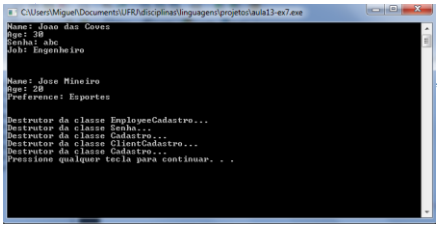
```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 7
 * Arquivo clientcadastroCap13Ex7.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "clientcadastroCap13Ex7.h"

ClientCadastro::ClientCadastro (string n, int a, string p)
                        : Cadastro (n, a), preference (p) {}

ClientCadastro::~ClientCadastro () {
     cout << "Destrutor da classe ClientCadastro..." << endl;
}

string ClientCadastro::getPreference () const { return preference; }

void ClientCadastro::print () const {
       Cadastro::print ();
       cout << "Preference: " << getPreference () << "\n\n" << endl;
}
```

Exemplo 2

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 7
 * Programa Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "employeecadastroCap13Ex7.h"
#include "clientcadastroCap13Ex7.h"

int main () {
    Cadastro *cad [2];

    cad [0] = new EmployeeCadastro ("Joao das Coves", 30, "abc", "Engenheiro");
    cad [1] = new ClientCadastro ("Jose Mineiro", 20, "Esportes");

    cad [0]->print ();
    cout << endl;
    cad [1]->print ();

    delete cad [0];
    delete cad [1];

    return 0;
}
```


Exemplo 2

```
/*
 * Aula 13 - Exemplo 7
 * Programa Principal
 * Autor: Miguel Campista
```



Leitura Recomendada

- Capítulos 13 do livro
  - Deitel, "*C++ How to Program*", 5th edition, Editora Prentice Hall, 2005