

# Estruturas de Dados I

## Revisão de Tipos e Módulos

Igor Machado Coelho

30/08/2020

- 1 Revisão de Tipos e Módulos
- 2 Tipos em C/C++
- 3 Modularização e Testes
- 4 Agradecimentos

## Section 1

# Revisão de Tipos e Módulos

# Pré-Requisitos

São requisitos para essa aula o conhecimento de:

- Introdução/Fundamentos de Programação (em alguma linguagem de programação)
- Interesse em aprender C/C++
- Familiaridade com uso e instalação de compiladores/IDEs ou uso de ferramentas de programação online

# Ambiente de Programação

Exemplos serão dados com base no sistema GNU/Linux e compiladores GCC, mas existem ferramentas equivalentes para Windows e demais sistemas operacionais. A IDE Visual Studio Code suporta a linguagem C++ tanto para Linux (nativamente) quanto para Windows (com a instalação do compilador MinGW).

Também é possível praticar diretamente em um navegador web com plataformas online: [onlinegdb.com/online\\_c++\\_compiler](https://onlinegdb.com/online_c++_compiler). Neste caso, o aluno pode escolher o compilador de C ou da linguagem C++ (considerando padrão C++17).

## Section 2

# Tipos em C/C++

# Conceitos de C/C++

Compreender a lógica da programação é a habilidade mais importante para um programador! Com ela, você pode facilmente trocar de linguagem de programação, conhecendo apenas alguns comandos básicos.

O primeiro conceito a ser revisado é de variável. Uma variável consiste de um identificador válido (mesmo para Python) e armazena algum tipo de dado da memória do computador.

A linguagem C/C++ é **fortemente tipada**, portando o programador deve dizer explicitamente qual o tipo de dado deseja armazenar em cada variável.

```
int x = 5; // armazena o inteiro 5 na variável x
char y = 'A'; // armazena o caractere 'A' na variável y
float z = 3.7 ; // armazena o real 3.7 na variável z
```

# Tipos de Variáveis

**Pergunta/Resposta:** Cuidado com tipos. Quais são os valores armazenados nas variáveis abaixo (C++)?

```
int    x1 = 5;           // => 5
int    x2 = x1 + 8;      // => 13
int    x3 = x2 / 2;      // => 6
float  x4 = x2 / 2;      // => 6.0
float  x5 = x2 / 2.0;    // => 6.5
auto   x6 = 13;          // => 13 (C warning: Wimplicit-int)
auto   x7 = x2 / 2;      // => ? (C warning: Wimplicit-int)
auto   x8 = x2 / 2.0;    // => ? (C warning: Wimplicit-int)
```

Verifiquem essas operações de variáveis, escrevendo na saída padrão (tela do computador).



## Impressão de Saída Padrão

Para imprimir na saída padrão utilizaremos o comando `printf`. Este comando é dividido em duas partes, sendo que na primeira colocamos a mensagem formatada e, a seguir, colocamos as variáveis cujo conteúdo será impresso.

**Pergunta:** como podemos misturar um texto (também chamado de cadeia de caracteres ou string) com o conteúdo de variáveis?

## Impressão de Saída Padrão

Para imprimir na saída padrão utilizaremos o comando `printf`. Este comando é dividido em duas partes, sendo que na primeira colocamos a mensagem formatada e, a seguir, colocamos as variáveis cujo conteúdo será impresso.

**Pergunta:** como podemos misturar um texto (também chamado de cadeia de caracteres ou string) com o conteúdo de variáveis?

**Resposta:** através dos padrões de formatação (`%d`, `%f`, `%c`, ...).

```
int x1 = 7;    printf("x1 é %d", x1); // x1 é 7
float x6 = x1 / 2.0;
printf("metade de %d é %f", x1, x6); // metade de 7 é 3.5
char b = 'L';
printf("isto é uma %cetra", b) ; // isto é uma Letra
printf("Olá mundo! \n"); // Olá mundo! (quebra de linha)
```

# Condicionais e Laços de Repetição

Condicionais podem ser feitos através dos comandos if ou if else.

```
int x = 12;
if ( x > 10)
    printf("x maior de 10\n");
else
    printf("x menor ou igual a 10\n")
```

Laços de repetição podem ser feitos através de comandos while ou for. Um comando for é dividido em três partes: inicialização, condição de continuação e incremento.

```
for (int i=0; i < 10 ; i++) {
    printf("i : %d\n" , i);
}

int j=0;
while (j < 10) {
    printf("j : %d\n", j);
    j++;
}
```

# Tipos Compostos

Além dos tipos primitivos apresentados anteriormente (int, float, char, ...), a linguagem C/C++ nos permite criar tipos compostos. Tarefa: estude demais tipos primitivos como double e long long, bem como os modificadores unsigned, signed, short e long.

Os tipos compostos podem ser vetores (arrays) ou agregados (structs, ...).

# Tipos Compostos

Além dos tipos primitivos apresentados anteriormente (int, float, char, ...), a linguagem C/C++ nos permite criar tipos compostos. Tarefa: estude demais tipos primitivos como double e long long, bem como os modificadores unsigned, signed, short e long.

Os tipos compostos podem ser vetores (arrays) ou agregados (structs, ...).

```
int v[8]; // cria um vetor com 8 inteiros  
v[0] = 3; // atribui o valor 3 à primeira posição  
v[7] = 5; // atribui o valor 5 à última posição
```

v:		3										5	
		0		1		2		3		4		5	

# Tipos Agregados I

## Comparação C/C++:

*// Em C (tipo agregado P)*

```
struct P
```

```
{
```

```
    int x;
```

```
    char y;
```

```
};
```

*// declara variável tipo P*

```
struct P p1;
```

*// designated initializers*

```
struct P p2 = {.x=10, .y='Y'};
```

*// Em C++ (tipo agregado P)*

```
class P
```

```
{
```

```
    public:
```

```
        int x;
```

```
        char y;
```

```
};
```

*// declara variável tipo P*

```
P p1;
```

*// designated initializers*

```
auto p2 = P{.x=10, .y='Y'};
```

## Tipos Agregados II

Retomamos o exemplo da estrutura P anterior e nos perguntamos, como acessar as variáveis internas do agregado P?

Assim como na inicialização designada, podemos utilizar o operador ponto (.) para acessar campos do agregado.

Exemplo:

```
auto p1 = P{.y = 'A'}; // compilador GCC8 (no mínimo)

p1.x = 20;                // atribui 20 à variável x de p1
p1.x = p1.x + 1;          // incrementa a variável y de p1
printf("%d %c\n", p1.x, p1.y); // imprime '21 A'
```

## Espaço de Memória

Todas variáveis de um programa ocupam determinado espaço na memória principal do computador. **Assumiremos** que o tipo `int` (ou `float`) ocupa 4 bytes, enquanto um `char` ocupa apenas 1 byte.

No caso de vetores, o espaço ocupado na memória é multiplicado pelo número de elementos. Vamos calcular o espaço das variáveis:

```
int v [256];    // = 1024 bytes = 1 kibibyte = 1 KiB
char x [1000];  // = 1000 bytes = 1 kilobyte = 1 kB
float y [5];    // = 20 bytes
```

Já nos agregados, assumimos o espaço ocupado como a soma de suas variáveis internas (embora na prática o tamanho possa ser ligeiramente superior, devido a alinhamentos de memória).



# Tipos Genéricos

C++ permite a definição de tipos genéricos, ou seja, tipos que permitem que algum *outro tipo* seja passado como parâmetro.

Consideremos o agregado P que carrega um int e um char... como transformá-lo em um agregado genérico em relação à variável x?

```
template<typename T>
class G
{
public:
    T x;    // qual o tipo da variável x?
    char y;
};
// declara o agregado genérico G
G<float> g1 = {.x = 3.14, .y = 'Y'};
G<int> g2 = {.x = 3, .y = 'Y'};
```

# Rotinas I

A modularização de programas é muito importante, principalmente quando trechos de código são repetidos muitas vezes.

Nesses casos, é comum criar rotinas, como *funções e procedimentos*, que podem por sua vez receber parâmetros.

Tomemos por exemplo a função *quadrado* que retorna o valor passado elevado ao quadrado.

```
// função que retorna um 'int', com parâmetro 'p'
int quadrado (int p) {
    return p*p;
}
// variável do tipo 'int', com valor 25
int x = quadrado(5);
```

## Rotinas II

Quando nenhum valor é retornado (em um procedimento), utilizamos a palavra-chave `void`. Procedimentos são úteis mesmo quando nenhum valor é retornado. **Exemplo:** (de a até b):

```
void imprime (int a , int b) {  
    for (int i=a ; i<b ; i++)  
        printf("%d\n" , i ) ;  
}
```

Também é possível retornar múltiplos elementos (par ou tupla), através de um *structured binding* (requer `#include<tuple>`):

```
auto duplo(int p) {  
    return std::make_tuple(p+3, p+6);  
}  
  
auto [x1,x2] = duplo(10); // x1=13 x2=16
```

# Ponteiros I

Os parâmetros são sempre copiados (em C) ao serem passados para uma função ou procedimento. Como passar tipos complexos (estruturas e vetores de muitos elementos) sem perder tempo?

Nestes casos, a linguagem C oferece um tipo especial denominado ponteiro. A sintaxe do ponteiro simplesmente inclui um asterisco (\*) após o tipo da variável. **Exemplos:** `int* x;` `struct P* p1;`

Um ponteiro simplesmente armazena **o local** (endereço) onde determinada variável está armazenada na memória (basicamente, um número). Então quando um ponteiro é passado como parâmetro, **a cópia do ponteiro** pode ser utilizada para encontrar na memória a estrutura desejada.

O tamanho do ponteiro varia de acordo com a arquitetura, mas para endereçar 64-bits, ele ocupa 8 bytes.

## Ponteiros II

Em ponteiros para agregados, o operador de acesso (.) é substituído por uma seta (->). O operador & toma o endereço da variável:

```
struct P {  
    int x;  
    char y;  
};
```

```
void imprimir(struct P* p1, struct P p2) {  
    printf("%d %d\n", p1->x, p2.x);  
}
```

```
// ...
```

```
struct P p0 = {.x = 20, .y = 'Y'}; // cria variável 'p0'  
imprimir(&p0, p0); // resulta em '20 20'
```

## Alocação Dinâmica de Memória

Programas frequentemente necessitam de alocar mais memória para uso, o que é armazenado de forma segura em um ponteiro para o tipo da memória:

```
// Aloca (C) o agregado P  
struct P* vp =  
    malloc(1*sizeof(struct P));  
// inicializa campos de P  
vp->x = 10;  
vp->y = 'Y';  
// imprime x (valor 10)  
printf("%d\n", vp->x);  
// descarta a memória  
free(vp);
```

```
// Aloca (C++) o agregado P  
auto* vp = new P{  
    .x = 10,  
    .y = 'Y'  
};  
// imprime x (valor 10)  
printf("%d\n", vp->x);  
// descarta a memória  
delete vp;
```

## Rotinas III

O tipo de uma função é basicamente um ponteiro (endereço) da localização desta função na memória do computador. Por exemplo:

```
// o tipo da função 'quadrado' é: int (*)(int)
int quadrado(int p) {
    return p*p;
}
```

Este fato pode ser útil para receber funções como parâmetro, bem como armazenar funções anônimas (*lambdas*):

```
// armazena lambda no ponteiro de função 'quad'
int(*quad)(int) = [](int p) {
    return p*p;
};
printf("%d\n", quad(3)); // 9
```

## Rotinas IV

A linguagem C++ permite a inclusão de funções e variáveis dentro de agregados (em C, funções devem ser externas). Para acessar campos do agregado de dentro dessas funções, utilize o *ponteiro para o agregado*, chamado **this**:

```
// Em C (tipo agregado Z)
struct Z {
    int x;
};

// imprime campo x
void imprimex(struct Z* this)
{
    printf("%d\n", this->x);
}
```

```
// Em C++ (tipo agregado Z)
class Z
{
public:
    int x;
    // imprime campo x
    void imprimex() {
        printf("%d\n", this->x);
    }
};
```



# Conceitos I

C++17 com flag GCC *-fconcepts* (oficialmente sem flags no C++20) traz a possibilidade de definir conceitos (ou *concepts*). Esse recurso permite *definições genéricas* sobre algum tipo (inclusive tipos agregados com funções internas).

Por exemplo, podemos criar um *conceito* `TemImprimeX`, que exige que o agregado possua um método `imprimex()`:

```
template<typename Agregado>
concept bool
TemImprimeX = requires(Agregado a) {
    {
        a.imprimex()
    }
};
```

## Conceitos II

Assim, podemos utilizar um conceito mais específico ao invés de um tipo automático:

```
auto          a1 = Z{.x = 1}; // tipo automático
TemImprimeX  a2 = Z{.x = 2}; // tipo conceitual
Z            a3 = Z{.x = 3}; // tipo explícito
```

**Importante:** a noção de *conceitos* é fundamental para a compreensão de *tipos abstratos*, central no curso de estruturas de dados.

# Tipos

Fim do tópicos de tipos.

## Section 3

# Modularização e Testes

# Motivação: Modularização e Testes

Qualquer programa complexo necessita de divisão em partes, ou módulos, para maior controle e verificação da corretude das operações.

Nesse curso, vamos utilizar um padrão mínimo de modularização, para que seja possível efetuar testes no código (de forma sistemática).

# Modularização Básica

Um programa começa pelo seu “ponto de entrada” (ou *entrypoint*), tipicamente uma função `int main()`:

```
#include<iostream> // inclui arquivo externo
int main() {
    return 0;        // 0 significa: nenhum erro
}
```

A declaração de funções pode ser feita antes da definição:

```
int quadrado(int p); // declara a função 'quadrado'
int quadrado(int p) {
    return p*p;       // implementa a função 'quadrado'
}
```

Declarações vem em arquivos `.h`, enquanto as respectivas implementações em arquivo `.cpp` (ou juntas como `.hpp`).

## Executando o main.cpp

Quando utilizando o GCC e um *entrypoint* no arquivo main.cpp:

***Para compilar:*** `g++ -fconcepts -O3 main.cpp -o appMain`

***Para executar código:*** `./appMain`

**Importante:** consideramos um sistema GNU/Linux, mas caso seja Windows pode-se usar o compilador C/C++ **MinGW** e executar o aplicativo gerado com uma extensão `.exe` (padrão executável Windows).

# Organização em Arquivos I

Modularização mínima: 4 arquivos.

- um ponto de entrada (entrypoint) - geralmente `main.cpp` (dica: colocar na pasta `src/`)
- um (ou mais) arquivo(s) com demais módulos (dica: colocar na pasta `src/`)
- um (ou mais) arquivo(s) com seus testes - geralmente `teste.cpp` (dica: colocar na pasta `tests/`)
- um arquivo (na raiz) com informações de construção - geralmente `makefile` do GNU (com regras `all:` e `test:`)



# Organização em Arquivos II

Também é informativo um arquivo extra na raiz com explicações sobre o código (tipicamente `README.md` na linguagem markdown)

**Importante:** o arquivo do *entrypoint* deverá conter exclusivamente a função `int main()` (e seus respectivos `#include`), para viabilizar testes de código.

## Tipos na biblioteca padrão C++

Durante o curso estudaremos várias estruturas de dados, mas sempre que possível utilize as existentes na biblioteca padrão (STL). São “mais eficientes” e “à prova de erros”.

Por exemplo, é fácil definir um tipo agregado Par, que comporta dois elementos internos (tipo genérico). Porém, é mais vantajoso usar o existente na STL, chamado `std::pair` (o prefixo `std::` é chamado *namespace* e evita colisões de nomes):

```
#include<iostream> // funções de entrada/saída
#include<tuple>      // agregados de par e tupla
int main() {
    std::pair<int, char> p {5, 'C'}; // direct init.
    printf("%d %c\n", p.first, p.second); // 5 C
    // ...
}
```

## Relembrando (agregado Z)

```
// Em C++ (tipo agregado Z)  
class Z  
{  
public:  
    int x;  
    // imprime campo x  
    void imprimex() {  
        printf("%d\n", this->x);  
    }  
};
```

## Relembrando (conceito TemImprimeX)

```
template<typename Agregado>  
concept bool  
TemImprimeX = requires(Agregado a) {  
    {  
        a.imprimex()  
    }  
};
```

## Verificações com assert

Durante o desenvolvimento, é útil verificar partes do código com testes simples e necessários para a corretude do mesmo (em tempo real). Para isso, podemos utilizar o `assert()`. Exemplo:

```
int x = 10;  
x++;  
assert(x == 11); // x deveria ser 11
```

Da mesma forma, podemos verificar tipos, especialmente *conceitos*, em tempo de compilação:

```
// verifica se tipo agregado Z tem método imprimeX()  
static_assert(TemImprimeX<Z>);
```

## Testes com a biblioteca Catch2

Uma forma prática de testar um código modularizado com `main.cpp` separado do `resto.hpp`, é utilizando a biblioteca **Catch2**.

Basta criar um arquivo de teste, por exemplo, `teste.cpp`:

```
#include "resto.hpp"
```

```
#define CATCH_CONFIG_MAIN // catch2 main()
```

```
#include "catch.hpp"
```

```
TEST_CASE("Testa inicializacao do agregado Z")  
{  
    auto z1 = Z{.x = 10};  
    // verifica se, de fato, z1.x vale 10  
    REQUIRE(z1.x == 10);  
}
```

## Baixando o Catch2 e executando

Para baixar o arquivo `catch2.hpp`, basta acessar o site do projeto:  
[github.com/catchorg/Catch2](https://github.com/catchorg/Catch2). Link direto (Agosto 2020):

`github.com/catchorg/Catch2/releases/download/v2.13.1/catch.hpp`

***Para compilar:*** `g++ -fconcepts teste.cpp -o appTestes`

***Para executar testes:*** `./appTestes -d yes`

0.000 s: Testa inicializacao do agregado Z

=====

All tests passed (1 assertion in 1 test case)

**Importante:** Recomenda-se a opção `-fsanitize=address` e `-g3` para evitar bugs durante o desenvolvimento usando GCC.

## Continue Aprendendo

Nessa revisão sobre tipos, buscamos não aprofundar em nenhuma característica “avançada” de C/C++, embora alguns conceitos possam parecer novos. Tópicos recomendados (não cobertos no curso):

- Orientação a Objetos (outras disciplinas cobrem esse tópico)
- uso frequente de *referências* (ao invés de ponteiros)
- uso frequente de *move semantics* (ao invés de referências)
- uso frequente de *closures* (ao invés de funções e lambdas)
- uso frequente de memórias auto-gerenciáveis, como `std::unique_ptr` e `std::shared_ptr` (não requer `delete`)
- uso de *corrotinas* do C++20 (somente consideramos *rotinas* no curso), especialmente para elaboração de iteradores infinitos
- teste de microbenchmarks (recomendamos a biblioteca [Google Benchmark](#))



## Bibliografia Recomendada

Além da bibliografia do curso, recomendamos (para esse tópico):

- Livro “Introdução a estruturas de dados” de W. Celes e J. L. Rangel
- Livro “The C++ Programming Language” de Bjarne Stroustrup
- Dicas e normas C++:  
<https://github.com/isocpp/CppCoreGuidelines>

## Section 4

### Agradecimentos

# Pessoas

Em especial, agradeço aos colegas que elaboraram bons materiais, como o prof. Fabiano Oliveira (IME-UERJ), e o prof. Jayme Szwarcfiter cujos conceitos formam o cerne desses slides.

Estendo os agradecimentos aos demais colegas que colaboraram com a elaboração do material do curso de **Pesquisa Operacional**, que abriu caminho para verificação prática dessa tecnologia de slides.

# Software

Esse material de curso só é possível graças aos inúmeros projetos de código-aberto que são necessários a ele, incluindo:

- pandoc
- LaTeX
- GNU/Linux
- git
- markdown-preview-enhanced (github)
- visual studio code
- atom
- revealjs
- groomit-mpx (screen drawing tool)
- xournal (screen drawing tool)
- ...

# Empresas

Agradecimento especial a empresas que suportam projetos livres envolvidos nesse curso:

- github
- gitlab
- microsoft
- google
- ...

# Reprodução do material

Esses slides foram escritos utilizando pandoc, segundo o tutorial ilectures:

- <https://igormcoelho.github.io/ilectures-pandoc/>

Exceto expressamente mencionado (com as devidas ressalvas ao material cedido por colegas), a licença será Creative Commons.

**Licença:** CC-BY 4.0 2020

Igor Machado Coelho

This Slide Is Intentionally Blank (for goomit-mpx)