Programação Orientada a Objetos para Redes de Computadores

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

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

PARTE 2

Programação em C++ - Sobrecarga de operadores

Sobrecarga de Operadores

- Uso de operadores com objetos (sobrecarga de operadores)
  - São mais claros que as chamadas de função para determinadas classes
  - Os operadores são sensíveis ao contexto
- Exemplos
  - <<
    - Operador de inserção de fluxo e de bits de deslocamento para a esquerda
  - +
    - Executa aritmética em múltiplos itens (inteiros, pontos flutuantes etc.) de maneira diferente

Fundamentos de Sobrecarga de Operadores

- Tipos de sobrecarga de operadores
  - Predefinidos (`int`, `char`) ou definidos pelo usuário (classes)
  - É possível usar operadores existentes com tipos definidos pelo usuário
    - Não é possível criar novos operadores

Fundamentos de Sobrecarga de Operadores

- Operadores sobrecarregados
  - Criam uma função para a classe
    - Função **não-estática ou global**
      - Funções estáticas não precisam do objeto da classe, assim, não haveria como definir o contexto
  - Nome da função do operador
    - Palavra-chave `operator` seguida de um símbolo
      - Ex.: `operator+` para o operador de adição +
  - A sobrecarga de operadores contribui para a extensibilidade do C++
    - Característica desejável da linguagem

Fundamentos de Sobrecarga de Operadores

- Uso da sobrecarga de operadores deve ser empregada para o programa ficar mais claro
  - Ao invés de realizar as mesmas operações com funções
- Operadores sobrecarregados devem simular a funcionalidade de suas contrapartes predefinidas
  - Ex.: o operador + deve ser sobrecarregado para realizar adição, não subtração
- Uso excessivo ou inconsistente de sobrecarga de operadores deve ser evitado
  - Programa pode se tornar complexo e difícil de ler

Fundamentos de Sobrecarga de Operadores

- Usando operadores em um objeto de classe
  - Operador é sobrecarregado para essa classe
    - **Exceções**: Operadores que **não precisam ser sobrecarregados** para serem usados com objetos de uma classe
      - Operador de atribuição (=)
        - » Atribuição de membro a membro entre objetos
      - Operador de endereço (&)
        - » Retorna o endereço do objeto

Fundamentos de Sobrecarga de Operadores

- Com a sobrecarga é possível contar com uma notação concisa

```
object2 = object1.add( object2 );
```

versus

```
object2 = object1 + object2;
```

Restrições à Sobrecarga de Operadores

- Não é possível mudar...
  - Precedência do operador (ordem de avaliação)
    - Use parênteses para forçar a ordem dos operadores
  - Associatividade (se o operador for aplicado da esquerda para a direita ou da direita para a esquerda)
  - Número de operandos
    - Por exemplo, & é unário e só pode atuar em um único operando
  - Os operadores agem em tipos de dados predefinidos (isto é, não é possível alterar a adição de inteiros)

Restrições à Sobrecarga de Operadores

- Não é possível criar novos operadores
- Os operadores devem ser sobrecarregados explicitamente
  - Sobrecarregar + e = não sobrecarrega +=
- O operador ternário (`?:`) não pode ser sobrecarregado
  - Tentar sobrecarregar um operador não sobrecarregável é um erro de sintaxe

Sobrecarga de Operadores

Operadores que podem ser sobrecarregados							
+	-	*	/	%	^	&	|
~	!	=	<	>	+=	-=	*=
/=	%=	^=	&=	|=	<<	>>	>>=
<<=	==	!=	<=	>=	&&	||	++
--	->*	,	->	[]	()	new	delete
new[]	delete[]						

Operadores que não podem ser sobrecarregados			
.	.*	::	?:

Fçs Operadoras como Métodos *vs.* Fçs Globais

- Funções operadoras como funções-membro da classe
  - O objeto da extrema esquerda deve ser da mesma classe que a função operadora
    - Ex.: **`Miguel + Campista`**
  - Palavra-chave **`this`** obtém implicitamente o argumento do operando esquerdo
  - Operando único de um operador unário deve ser da própria classe
  - Os operadores `()`, `[]`, `->` ou qualquer operador de atribuição devem ser sobrecarregados como função-membro de uma classe

Fçs Operadoras como Métodos *vs.* Fçs Globais

- Se operando da esquerda precisar ser:
  - Um objeto de uma classe diferente da classe definida

    ou
  - Um tipo fundamental

  Função operadora deve ser global!

  - Função global pode ser `friend` se precisar acessar dados `private` ou `protected`

- Funções membro são chamadas quando:
  - Operando da esquerda é da própria classe
  - Só há um operando

Fçs Operadoras como Métodos *vs.* Fçs Globais

- Operador sobrecarregado <<
  - Operando esquerdo do tipo `ostream &`
    - Como o objeto `cout` em `cout << classObject`
  - De modo semelhante, o operador sobrecarregado >> tem o operador esquerdo de `istream &`
  - Portanto, ambos devem ser **funções globais**
    - São utilizados por classes diferentes
      - Se elas não fossem globais elas precisariam de um objeto da classe original à esquerda

Fçs Operadoras como Métodos *vs.* Fçs Globais

- Operadores comutativos
  - Podem exigir que a função seja global
    - Ex.: Talvez exijam que + seja comutativo
      - Logo, tanto "`a + b`" quanto "`b + a`" devem funcionar

E se os operadores fossem de classes diferentes?

Fçs Operadoras como Métodos *vs.* Fçs Globais

- Suponha que tivéssemos duas classes diferentes
  - O operador sobrecarregado só pode ser uma função-membro quando sua classe está à esquerda
    - `HugeIntClass + long int`
      - Pode ser uma função-membro
  - De outra maneira, é necessária uma função sobrecarregada global
    - `long int + HugeIntClass`
      - Função global pode trocar a ordem dos operandos e chamar a função membro

Fçs Operadoras como Métodos *vs.* Fçs Globais

- Operadores << e >>
  - Já sobrecarregados para processar cada tipo predefinido
  - Também podem processar uma classe definida pelo usuário
    - Sobrecarga usando funções globais **`friend`**
- Ex.: Classe `PhoneNumber`
  - Abriga um número de telefone
  - Imprime número formatado automaticamente
    - `(123) 456-7890`

Primeiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exemplo 1
 * Arquivo phonenumberCap11Ex1.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef PHONE_H
#define PHONE_H

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

using namespace std;

class PhoneNumber {
      friend ostream &operator<<(ostream &, const PhoneNumber &);
      friend istream &operator>>(istream &, PhoneNumber &);

      private:
              string areaCode;
              string exchange;
              string line;
};

#endif
```

Primeiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

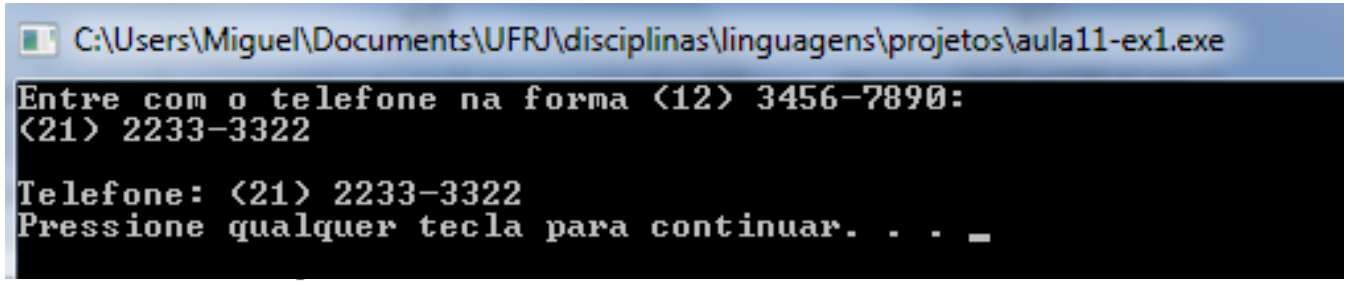
```
/*
 * Aula 11 - Exemplo 1
 * Arquivo phonenumberCap11Ex1.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "phonenumberCap11Ex1.h"

ostream &operator<<(ostream & output, const PhoneNumber & number) {
	output << "(" << number.areaCode << ") "
		<< number.exchange << "-" << number.line;
	return output; // permite cout << a << b << c
}

istream &operator>>(istream & input, PhoneNumber & number) {
	input.ignore(); // pula
	input >> setw (2) >> number.areaCode; // Entrada do cód. de área
	input.ignore (2); // pula ) e espaço
	input >> setw (4) >> number.exchange; // Entrada do prefixo
	input.ignore (); // pula traço (-)
	input >> setw (4) >> number.line; // Entrada de linha
	return input; // permite cin >> a >> b >> c;
}
```

Primeiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exemplo 1
 * Arquivo Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "phonenumberCap11Ex1.h"

int main() {
    PhoneNumber phone;

    cout << "Entre com o telefone na forma (12) 3456-7890:" << endl;

    // cin >> phone invoca operador>> emitindo implicitamente
    // a chamada da função global operator>>(cin, phone)
    cin >> phone;

    // cout << phone invoca operador<< emitindo implicitamente
    // a chamada da função global operator<<(cout, phone)
    cout << "\nTelefone: " << phone << endl;

    return 0;
}
```

Primeiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exemplo 1
 * Arquivo Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "phonenumberCap11Ex1.h"
```




```
    // cout << phone invoca operador<< emitindo implicitamente
    // a chamada da função global operator<<(cout, phone)
    cout << "\nTelefone: " << phone << endl;

    return 0;
}
```

Sobrecarregando Operadores Unários

- É possível sobrecarregar uma função-membro não-`static` sem nenhum argumento

ou

- Sobrecarregar operadores unários como função global com um argumento
  - O argumento deve ser um objeto de classe ou uma referência a um objeto de classe

- Lembre-se: as funções `static` acessam apenas dados `static`, portanto as funções não podem ser `static`

Sobrecarregando Operadores Unários

- Exemplo a ser apresentado
  - Sobrecarregue ! para verificar se a string está vazia
  - Se for uma função-membro não-`static`, não será necessário nenhum argumento
    - ```
      class String {
      public:
          bool operator!() const;
          …
      };
      ```
    - `!s` **torna-se** `s.operator!()`
  - Se for uma função global, necessita de um único argumento
    - `bool operator!( const String & )`
    - `!s` **torna-se** `operator!(s)`
      ```

Sobrecarregando Operadores Binários

- Função-membro não-`static`, um argumento

- Função global, dois argumentos
  - Um argumento deve ser objeto de classe ou referência

Sobrecarregando Operadores Binários

- Exemplo a ser apresentado: Carregando +=
  - Se for uma função-membro não-`static`, necessita de um argumento
    - ```
      class String {
      public:
          const String & operator+=( const String & );
          …
      };
      ```
    - `y += z` **torna-se** `y.operator+=( z )`
  - Se for uma função global, necessita de dois argumentos
    - `const String &operator+=(String &, const String &);`
    - `y += z` **torna-se** `operator+=( y, z )`
      ```

Estudo de Caso: Classe `Array`

- Arrays baseados em ponteiro no C++
  - Não há verificação de intervalo
  - Não podem ser comparados de maneira significativa com ==
  - Não há atribuição de array (os nomes de array são ponteiros `const`)
  - Se for passado um array a uma função, o tamanho deve ser passado como um argumento separado

Estudo de Caso: Classe Array

- Exemplo: Implemente uma classe `Array` com:
  - Verificação de intervalo
  - Atribuição de array
  - Arrays que conhecem seu próprio tamanho
  - Entrada/Saída de arrays inteiros com << e >>
  - Comparação entre arrays com == e !=

Estudo de Caso: Classe Array

- Construtor de cópia
  - Usado quando se precisa de uma cópia de um objeto:
    - É chamado sempre que um objeto é passado por valor para uma função
    - Inicializa um objeto com uma cópia de outro do mesmo tipo
      - `Array newArray ( oldArray );`

        ou

        `Array newArray = oldArray` (ambos são idênticos)
        - » `newArray` é uma cópia de `oldArray`

Estudo de Caso: Classe Array

- Construtor de cópia da classe **Array**
  - Evita problemas com dados manipulados por referências
    - Para isso, utiliza referência
  - Protótipo para a classe **Array**
    - `Array ( const Array & );`
    - Deve obter referência
      - Do contrário, o argumento será passado por valor por padrão...

Segundo Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exemplo 2
 * Arquivo arrayCap11Ex2.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef ARRAY_H
#define ARRAY_H

#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <iomanip>

using namespace std;

class Array {
      friend ostream &operator<<(ostream &, const Array &);
      friend istream &operator>>(istream &, Array &);

      public:
            Array (int = 10); // Construtor padrão
            Array (const Array &); // Construtor de cópia
            ~Array (); // destrutor
            int getSize () const;

            const Array &operator=(const Array &); // Operador de atribuição
            bool operator==(const Array &) const; // Operador de igualdade
            // Operador de desigualdade
            bool operator!=(const Array &right) const;
```

Segundo Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
            // Operador subscrito de objetos não-const
            // retorna lvalue modificável
            int &operator[] (int);

            // Operador subscrito de objetos const retorna rvalue
            int operator[] (int) const;
    private:
            int size; // Tamanho do array baseado em ponteiro
            int *ptr; // Ponteiro para o primeiro elemento do array
                      // baseado em ponteiro
};

#endif
```

Segundo Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exemplo 2
 * Arquivo arrayCap11Ex2.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */

#include "arrayCap11Ex2.h"

Array::Array (int arraySize) {
     size = (arraySize > 0 ? arraySize : 10); // valida arraySize
     ptr = new int [size]; // Cria espaço para array baseado em ponteiro

     for (int i = 0; i < size; i++)
         ptr [i] = 0; // Configura elemento do array baseado em ponteiro
}

// Copia o construtor da classe Array
// Deve receber uma referência para impedir a recursão infinita
Array::Array (const Array &arrayToCopy) : size (arrayToCopy.size) {
     ptr = new int [size]; // Cria espaço para array baseado em ponteiro

     for (int i = 0; i < size; i++)
         ptr [i] = arrayToCopy.ptr [i]; // Copia para o objeto
}

// Destrutor para a classe Array
Array::~Array () {
     delete [] ptr; // Libera espaço do array baseado em ponteiro
}
```

Segundo Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
// Retorna o número de elementos do Array
int Array::getSize () const { return size; }

// Operador de atribuição sobrecarregado
// retorno const evita: (a1 = a2) = a3
const Array &Array::operator=(const Array &right) {
     if (&right != this) {
          // Para arrays de tamanhos diferentes,
          // desaloca array do lado esquerdo original, então
          // aloca o novo array à esquerda
          if (size != right.size) {
               delete [] ptr; // Libera espaço
               size = right.size; // Redimensiona esse objeto
               ptr = new int [size]; // Cria espaço para cópia do array
          }
          for (int i = 0; i < size; i++)
               ptr [i] = right.ptr [i]; // Copia o array para o objeto
     }
     return *this;
}

bool Array::operator==(const Array &right) const {
     if (size != right.size)
          return false; // Arrays com tamanhos diferentes

     for (int i = 0; i < size; i++) {
          if (ptr [i] != right.ptr [i])
               return false; // Conteúdo do array não é igual
     }

     return true; // Arrays são iguais
}
```

Segundo Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
// Operador de desigualdade; retorna o oposto do operador ==
bool Array::operator!=(const Array &right) const {
     return ! (*this == right); // Invoca Array::operator ==
}

// Operador de subscrito sobrecarregado para Array não-const
// Retorno de referência cria um lvalue modificável
int &Array::operator[](int index) {
     // Verifica erro de índice fora do array
     if (index < 0 || index >= size) {
          cerr << "\nError: Subscript " << index
               << " fora do intervalo" << endl;
          exit (1);
     }

     return ptr [index]; // Retorno da referência
}

// Operador de subscrito sobrecarregado para Array const
// Retorno de referência const cria um rvalue
int Array::operator[](int index) const {
     // Verifica erro de índice fora do array
     if (index < 0 || index >= size) {
          cerr << "\nError: Subscript " << index
               << " fora do intervalo" << endl;
          exit (1);
     }

     return ptr [index]; // Retorno de cópia
}
```

Segundo Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
// Operador de entrada sobrecarregado para classe Array
// entrada de valores para o Array inteiro
istream &operator>>(istream &input, Array &a) {
     for (int i = 0; i < a.size; i++)
          input >> a.ptr [i];

     return input; // Permite cin >> x >> y;
}

// Operador de saída sobrecarregado para classe Array
ostream &operator<<(ostream &output, const Array &a) {
     int i;
     // Gera saída do array baseado em ptr private
     for (i = 0; i < a.size; i++) {
          output << setw (12) <<  a.ptr [i];

          if ((i + 1) % 4 == 0) // 4 números por linha de saída
               output << endl;
     }

     if (i % 4 != 0) // Termina a última linha de saída
          output << endl;

     return output; // Permite cout << x << y;
}
```

Segundo Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exemplo 2
 * Arquivo Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "arrayCap11Ex2.h"

int main() {
    Array integers1 (7); // Array de sete elementos
    Array integers2; // Array de 10 elementos por padrão

    // Imprime o tamanho e o conteúdo de integers1
    cout << "Tamanho do array integers1 eh: "
         << integers1.getSize ()
         << "\nArray antes da inicializacao:\n" << integers1;

    // Imprime o tamanho e o conteúdo de integers2
    cout << "Tamanho do array integers2 eh: "
         << integers2.getSize ()
         << "\nArray antes da inicializacao:\n" << integers2;

    // Insere e imprime integers1 e integers2
    cout << "\nEntre com 17 inteiros:" << endl;
    cin >> integers1 >> integers2;

    cout << "Depois da entrada os arrays contem:\n"
         << "integers1:\n" << integers1
         << "integers2:\n" << integers2;
```

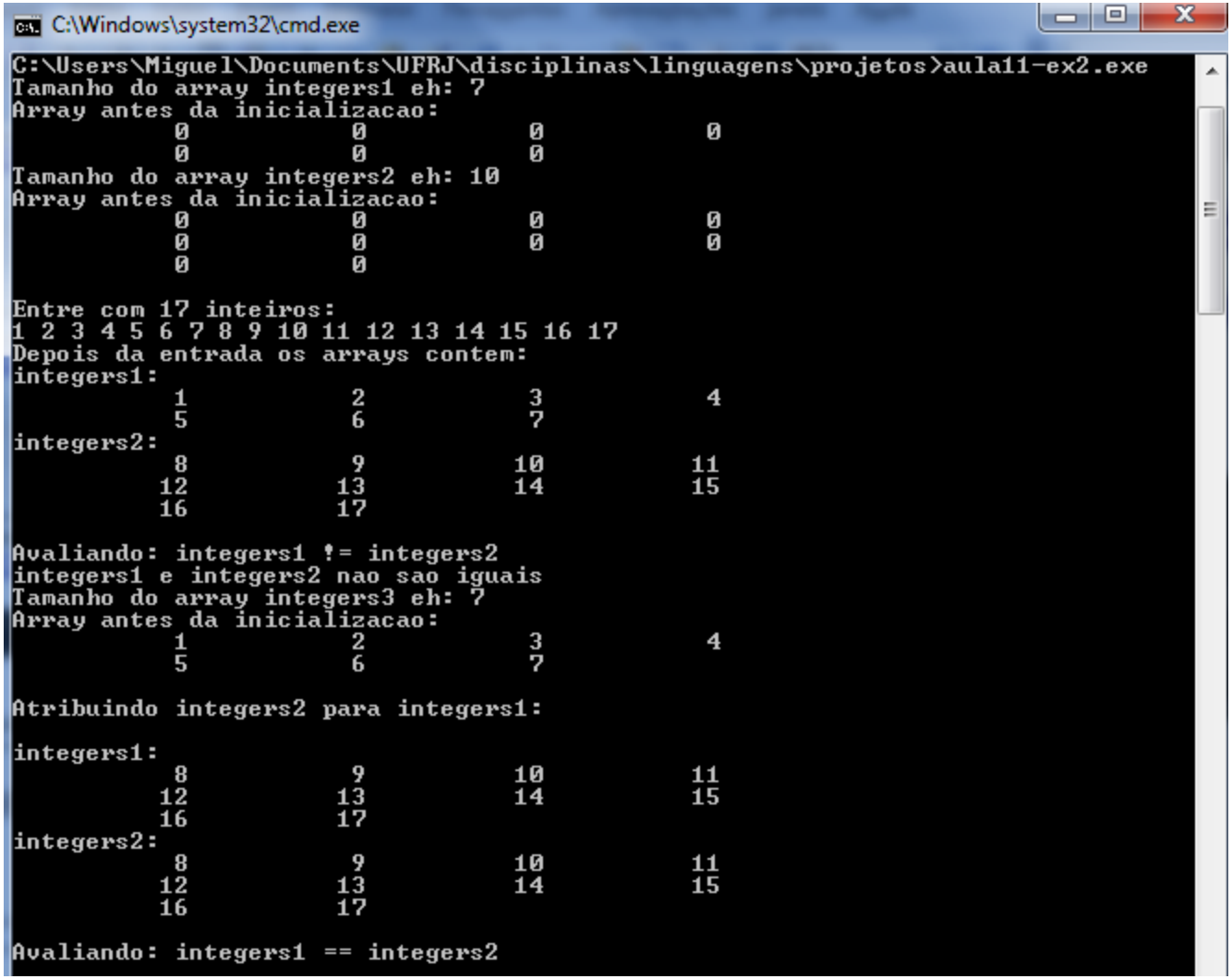
Segundo Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
// Utiliza o operador de desigualdade (!=) sobrecarregado
cout << "\nAvaliando: integers1 != integers2" << endl;

if (integers1 != integers2)
     cout << "integers1 e integers2 nao sao iguais" << endl;

// Cria array integers3 usando integers1 como um inicializador
// Imprime tamanho e conteúdo
Array integers3 (integers1); // Invoca o contrutor de cópia

cout << "Tamanho do array integers3 eh: "
     << integers3.getSize ()
     << "\nArray antes da inicializacao:\n" << integers3;

// Utiliza operador atribuição (=) sobrecarregado
cout << "\nAtribuindo integers2 para integers1:" << endl;
integers1 = integers2; // Note que o array alvo é menor

cout << "\nintegers1:\n" << integers1
     << "integers2:\n" << integers2;

// Utiliza operador de igualdade sobrecarregado (==) sobrecarregado
cout << "\nAvaliando: integers1 == integers2" << endl;

cout << "\nAvaliando: integers1 == integers2" << endl;

if (integers1 == integers2)
     cout << "integers1 e integers2 sao iguais" << endl;
```

Segundo Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
    // Utiliza operador de subscrito sobrecarregado para criar rvalue
    cout << "\nintegers1 [5] eh " << integers1 [5];

    // Utiliza operador de subscrito sobrecarregado para criar lvalue
    cout << "\n\nAtribuindo 1000 para integers1 [5]" << endl;
    integers1 [5] = 1000;
    cout << "integers1:\n" << integers1;



    // Tentativa de utilizar subscrito fora do intervalo
    cout << "\nTentativa de atribuir 1000 para integers1 [5]" << endl;
    integers1 [15] = 1000; // Erro: fora do intervalo

    return 0;
}
```

Segundo Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++



Segundo Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
// Utiliza operador de subscrito sobrecarregado para criar rvalue
cout << "\nintegers1 [5] eh " << integers1 [5];

// Utiliza operador de subscrito sobrecarregado para criar lvalue
```

```
Avaliando: integers1 == integers2
integers1 e integers2 sao iguais

integers1 [5] eh 13

Atribuindo 1000 para integers1 [5]
integers1:
         8          9         10         11
        12       1000         14         15
        16         17

Tentativa de atribuir 1000 para integers1 [5]

Error: Subscript 15 fora do intervalo

C:\Users\Miguel\Documents\UFRJ\disciplinas\linguagens\projetos>_
```

Construtor de Cópia

- O argumento para um construtor de cópia deve ser uma referência `const` para que o processo de cópia não altere o objeto original

- Observe que um construtor de cópia deve receber seu argumento por referência, não por valor
  - Do contrário, a chamada do construtor de cópia provoca recursão infinita (um erro de lógica fatal)
    - Receber um objeto por valor requer que o construtor de cópia faça uma cópia do objeto de argumento
    - Logo, toda vez que uma cópia por valor for realizada, um construtor de cópia é invocado formando o loop infinito

Construtor de Cópia

- Se o construtor de cópia simplesmente copiasse o ponteiro no objeto de origem para o ponteiro do objeto-alvo
  - Então ambos os objetos apontariam para a mesma memória dinamicamente alocada
  - Logo, o primeiro destrutor a executar excluiria a memória dinamicamente alocada, e o `ptr` do outro objeto seria indefinido, uma situação chamada de "ponteiro oscilante"
    - Provoca erro em tempo de execução quando o ponteiro é utilizado

Construtor de Cópia

- Construtor de cópia, um destrutor e um operador de atribuição sobrecarregado
  - Normalmente são fornecidos como um grupo para qualquer classe que aloca memória dinamicamente
- Erro de lógica
  - Não fornecer um operador de atribuição sobrecarregado e um construtor de cópia para uma classe quando os objetos dessa classe contêm ponteiros para memória alocada dinamicamente

Construtor de Cópia

- É possível impedir que um objeto de uma classe seja atribuído a outro
  - Isso é feito declarando o operador de atribuição como um membro `private` da classe
- É possível impedir que objetos de classe sejam copiados
  - Torne ambos, o operador de atribuição sobrecarregado e o construtor de cópia dessa classe, `private`

Conversão entre Tipos

- Conversão
  - Geralmente converte-se inteiros em pontos flutuantes etc.
  - Talvez seja necessário converter entre tipos definidos pelo usuário
- Operador de conversão (operador de coerção)
  - Converta
    - Uma classe em outra
    - Uma classe em um tipo predefinido (`int`, `char` etc.)
  - Deve ser uma função-membro não-`static`
  - Não especifique um tipo de retorno
    - Retorne um tipo implicitamente ao tipo para o qual está convertendo

Conversão entre Tipos

- Operador de (operador de coerção)
  - Exemplo
    - Protótipo
      - `A::operator char *() const;`
      - Converte objetos da classe `A` em um `char *` temporário
      - `static_cast< char * >( s )` chama `s.operator char *()`
    - Além disso,
      - `A::operator int() const;`
        - » Converte objeto da classe A em um inteiro
      - `A::operator OtherClass() const;`
        - » Converte objeto da classe A em objeto da classe OtherClass

Conversão entre Tipos

- A conversão evita a necessidade de sobrecarga
  - Suponha que uma classe `String` possa ser convertida em `char *`
  - `cout << s; // s é uma String`
    - O compilador converte implicitamente `s` em `char *` como saída
    - Não há necessidade de sobrecarregar `<<`

Estudo de Caso: Classe `String`

- Construção e manipulação da classe `String`
  - Semelhante à classe `string` da biblioteca-padrão

- Construtor de conversão
  - Qualquer construtor de um único argumento pode ser visto como um construtor de conversão
    - Transforma objetos de outros tipos em objetos de classe
      - Ex.: `String s1("happy"); //cria uma String de um char *`

- Sobrecarga de um operador de chamada de função ()
  - Funções podem aceitar listas de parâmetros arbitrariamente longas e complexas

Terceiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exercício 3
 * Arquivo sobrecargaCap11Ex3.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef STRING_H
#define STRING_H

#include <iostream>
#include <iomanip>
#include <cstring>
#include <cstdlib>

using namespace std;

class String {
      friend ostream &operator<<(ostream &, const String &);
      friend istream &operator>>(istream &, String &);

      public:
            String (const char * = ""); // Construtor de convesão padrão
            String (const String &); // Construtor de cópia
            ~String (); // Destrutor

            const String &operator=(const String &); // Operador de atribuição
            const String &operator+=(const String &); // Operador de concatenação

            bool operator!() const; // A String está vazia?
            bool operator==(const String &) const; // teste s1 == s2
            bool operator<(const String &) const; // teste s1 < s2
```

Terceiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
        // teste s1 != s2
        bool operator!=( const String &right ) const {
             return !( *this == right );
        }
        // teste s1 > s2
        bool operator>(const String &right) const {
             return right < *this;
        }
        // teste s1 <= s2
        bool operator<=(const String &right) const {
             return !(right < *this);
        }
        // teste s1 >= s2
        bool operator>=(const String &right) const {
             return !(*this < right);
        }

        char &operator[](int); // operador de subscrito
                               // (lvalue modificável)
        char operator[](int) const; // operador de subscrito
                                    // (rvalue)
        String operator()(int, int = 0) const; // retorna uma substring
        int getLength () const; // retorna o comprimento da string
    private:
         int length; // comprimento da string (sem contar o terminador nulo)
         char *sPtr; // ponteiro para iniciar string baseada em ponteiro

         void setString (const char *);
};

#endif
```

```
/*
 * Aula 11 - Exxercício 3
 * Arquivo sobrecargaCap11Ex3.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "sobrecargaCap11Ex3.h"

String::String (const char *s) : length ((s != 0) ? strlen (s) : 0) {
      cout << "Construtor de conversao e (padrao): " << s << endl;
      setString (s);
}

String::String (const String &copy) : length (copy.length) {
      cout << "Construtor de copia: " << copy.sPtr << endl;
      setString (copy.sPtr);
}

String::~String () {
      cout << "Destrutor: " << sPtr << endl;
      delete [] sPtr;
}

const String &String::operator=(const String &right) {
      cout << "operator= chamado" << endl;

      if (&right != this) {
            delete [] sPtr;
            length = right.length;
            setString (right.sPtr);
      } else {
            cout << "Tentativa de atribuicao de uma String para ela mesma"
                 << endl;
      }
      return *this;
}
```

```
const String &String::operator += (const String &right) {
      size_t newLength = length + right.length;
      char *tempPtr = new char [newLength + 1];

      strcpy (tempPtr, sPtr);
      strcpy (tempPtr + length, right.sPtr);

      delete [] sPtr;
      sPtr = tempPtr;
      length = newLength;
      return *this;
}

bool String::operator!() const {
     return length == 0;
}

bool String::operator==(const String &right) const {
     return strcmp (sPtr, right.sPtr) == 0;
}

bool String::operator<(const String &right) const {
     return strcmp (sPtr, right.sPtr) < 0;
}

char &String::operator[](int subscript) {
     if (subscript < 0 || subscript >= length) {
           cerr << "Error: Subscript " << subscript
                << " out of range" << endl;
           exit (1);
     }
     return sPtr [subscript];
}
```

Terceiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
char String::operator[](int subscript) const {
     if (subscript < 0 || subscript >= length) {
          cerr << "Error: Subscript " << subscript
               << " out of range" << endl;
          exit (1);
     }
     return sPtr [subscript];
}

String String::operator()(int index, int subLength) const {
     if (index < 0 || index >= length || subLength < 0)
          return "";

     int len;

     if (subLength == 0 || (index + subLength > length))
          len = length - index;
     else
          len = subLength;

     char * tempPtr = new char [len + 1];

     strncpy (tempPtr, &sPtr [index], len);
     tempPtr [len] = '\0';

     String tempString (tempPtr);
     delete [] tempPtr;
     return tempString;
}
```

Terceiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
int String::getLength () const {
      return length;
}

void String::setString (const char * string2) {
      sPtr = new char [length + 1];

      if (string2 != 0)
            strcpy (sPtr, string2);
      else
            sPtr [0] = '\0';
}

ostream &operator<<(ostream &output, const String &s) {
      output << s.sPtr;
      return output;
}

istream &operator>>(istream &input, String &s) {
      char temp [100];
      input >> setw(100) >> temp;
      s = temp;
      return input;
}
```

Terceiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exxercício 3
 * Arquivo Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include <iostream>
#include "sobrecargaCap11Ex3.h"

int main() {
    String s1 ("Feliz");
    String s2 (" aniversario");
    String s3;

    // testa igualdade e relacionais sobrecarregados
    cout << "s1 eh \"" << s1 << "\"; s2 eh \"" << s2
         << "\"; s3 eh \"" << s3 << '\"'
         << boolalpha << "\n\nOs resultados da comparacao s2 e s1:"
         << "\ns2 == s1 permite " << ( s2 == s1 )
         << "\ns2 != s1 permite " << ( s2 != s1 )
         << "\ns2 >  s1 permite " << ( s2 > s1 )
         << "\ns2 <  s1 permite " << ( s2 < s1 )
         << "\ns2 >= s1 permite " << ( s2 >= s1 )
         << "\ns2 <= s1 permite " << ( s2 <= s1 );


    // teste operador de String sobrecarregado vazio (!)
    cout << "\n\nTestando !s3:" << endl;

    if ( !s3 ) {
         cout << "s3 esta vazio; atribuindo s1 a s3;" << endl;
         s3 = s1; // testa atribuição sobrecarregada
         cout << "s3 eh \"" << s3 << "\"";
    }
```

Terceiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
// testa o operador de concatenação de String sobrecarregado
cout << "\n\ns1 += s2 permite s1 = ";
s1 += s2; // testa concatenação sobrecarregada
cout << s1;

// testa  construtor de conversão
cout << "\n\ns1 += \" para vc\" permite" << endl;
s1 += " para vc"; // testa  construtor de conversão
cout << "s1 = " << s1 << "\n\n";

// testa o operador de de chamada de função sobrecarregado ()
// para string
cout << "O subscrito de s1 comecando na\n"
     << "posicao 0 para 14 caracteres, s1(0, 14), eh:\n";
cout << s1( 0, 14 ) << "\n\n";

// testa a opção de substring "to-end-of-String"
cout << "O subscrito de s1 comecando na\n"
     << "posicao 15, s1(15), eh:\n";
cout << s1( 15 ) << "\n\n";

// testa construtor de cópia
String *s4Ptr = new String( s1 );
cout << "\n*s4Ptr = " << *s4Ptr << "\n\n";

// testa operador de atribuição (=) com auto-atribuição
cout << "atribuindo *s4Ptr to *s4Ptr" << endl;
*s4Ptr = *s4Ptr; // testa atribuição sobrecarregada
cout << "*s4Ptr = " << *s4Ptr << endl;

// testa destrutor
delete s4Ptr;
```

Terceiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
    // testa usando operador de subscrito lvalue para criar lvalue modificável
    s1[ 0 ] = 'H';
    s1[ 6 ] = 'B';
    cout << "\ns1 depois s1[0] = 'H' e s1[6] = 'B' eh: "
         << s1 << "\n\n";

    // testa subscrito fora de intervalo
    cout << "Tentativa de atribuir 'd' para s1[30] permite:" << endl;
    s1[ 30 ] = 'd'; // ERROR: subscrito fora de intervalo

    return 0;
}
```

Terceiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
C:\Users\Miguel\Documents\UFRJ\disciplinas\linguagens\projetos>aula11-ex3.exe
Construtor de conversao e (padrao): Feliz
Construtor de conversao e (padrao):  aniversario
Construtor de conversao e (padrao):
s1 eh "Feliz"; s2 eh " aniversario"; s3 eh ""

Os resultados da comparacao s2 e s1:
s2 == s1 permite false
s2 != s1 permite true
s2 >  s1 permite false
s2 <  s1 permite true
s2 >= s1 permite false
s2 <= s1 permite true

Testando !s3:
s3 esta vazio; atribuindo s1 a s3;
operator= chamado
s3 eh "Feliz"

s1 += s2 permite s1 = Feliz aniversario

s1 += " para vc" permite
Construtor de conversao e (padrao):  para vc
Destrutor:  para vc
s1 = Feliz aniversario para vc

O subscrito de s1 comecando na
posicao 0 para 14 caracteres, s1(0, 14), eh:
Construtor de conversao e (padrao): Feliz aniversa
Construtor de copia: Feliz aniversa
Destrutor: Feliz aniversa
Feliz aniversa

Destrutor: Feliz aniversa
O subscrito de s1 comecando na
posicao 15, s1(15), eh:
Construtor de conversao e (padrao): io para vc
Construtor de copia: io para vc
Destrutor: io para vc
io para vc

Destrutor: io para vc
Construtor de copia: Feliz aniversario para vc

*s4Ptr = Feliz aniversario para vc
```

Terceiro Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
atribuindo *s4Ptr to *s4Ptr
operator= chamado
Tentativa de atribuicao de uma String para ela mesma
*s4Ptr = Feliz aniversario para vc
Destrutor: Feliz aniversario para vc

s1 depois s1[0] = 'H' e s1[6] = 'B' eh: Heliz Bniversario para vc

Tentativa de atribuir 'd' para s1[30] permite:
Error: Subscript 30 out of range

C:\Users\Miguel\Documents\UFRJ\disciplinas\linguagens\projetos>_
```

```
    // testa subscrito fora de intervalo
    cout << "Tentativa de atribuir 'd' para s1[30] permite:" << endl;
    s1[ 30 ] = 'd'; // ERROR: subscrito fora de intervalo

    return 0;
}
```

Estudo de Caso: Classe String

- Construtor de conversão é utilizado para realizar uma conversão implícita
  - O C++ pode aplicar apenas uma chamada de construtor de conversão implícita para tentar atender às necessidades de outro operador sobrecarregado
    - Uma única conversão definida pelo usuário
      - O compilador não consegue realizar uma série de conversões implícitas
  - O compilador não atenderá às necessidades de um operador sobrecarregado para realizar uma série de conversões implícitas definidas pelo usuário

Estudo de Caso: Classe `String`

- Sobrecarregar o operador de concatenação += com uma versão adicional que aceita um único argumento do tipo `const char *` é mais eficiente do que ter apenas uma versão que aceita um argumento `String`
  - Sem a versão `const char *` do operador +=, um argumento `const char *` seria primeiro convertido em um objeto `String` com o construtor de conversão da classe `String`
  - Então o operador += que recebe um argumento `String` seria chamado para realizar a concatenação

Exemplo 1

- Escreva um programa que defina uma classe **`Agenda`** que contém um **`vector`** para armazenar os contatos. O objetivo é, na função principal, concatenar os contatos de duas agendas em uma só utilizando operadores sobrecarregados. A concatenação deve usar o operador "+".

Exemplo 1

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

int main () {
    Agenda a1 (10);
    Agenda a2 (10);
    string n;

    cout << "Entre com os nomes da agenda a1..." << endl;
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        cout << "Entre com o nome: ";
        getline (cin, n);
        if (a1.insereContato (n) == -1)
            break;
    }

    cout << endl;
    cout << "Entre com os nomes da agenda a2..." << endl;
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        cout << "Entre com o nome: ";
        getline (cin, n);
        if (a2.insereContato (n) == -1)
            break;
    }

    cout << endl;
    cout << "Agenda 1:\n" << a1 << "\nAgenda 2\n" << a2;
```

Exemplo 1

```
    // Concatenação das agendas...
    // Operação poderia ser realizada apenas com a sentença a1 + a2
    // Fazendo a acumulação, após a soma a1 = a1
    // A sobrecarga do = não realiza nenhuma operação.
    a1 = a1 + a2;

    cout << endl;
    cout << "Agenda Concatenada:\n" << a1 << endl;

    // Chamada do construtor
    Agenda a3;
    // Uso do operador = sobrecarregado
    // a3 poderia também ser inicializado utilizando o construtor de cópia
    // Para isso, ele seria inicializado como Agenda a3 = a1;
    // Ou ainda Agenda a3 (a1);
    a3 = a1;

    cout << "Agenda a3:\n" << a3 << endl;

    return 0;
}
```

Exemplo 1

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <string>
#include <iterator>

#ifndef AGENDA_H
#define AGENDA_H

using namespace std;

class Agenda {
    friend ostream &operator<< (ostream &, Agenda &);
    public:
        Agenda (unsigned = 1);
        Agenda (const Agenda &);
        ~Agenda ();

        int insereContato(string);
        string getContato (int);
        int getSize ();

        Agenda &operator+(Agenda &);
        Agenda &operator=(Agenda &);

    private:
        static int numAgendas;
        int id;
        unsigned maxContatos;
        vector <string> v;
};

#endif
```

Exemplo 1

```
#include "agendaOperadorSobrecarregado.h"

int Agenda::numAgendas = 0;

void debug (vector <string> &v) {
    vector<string>::iterator it = v.begin ();
    while (it != v.end ()) {
        cout << "Nome: " << *it << endl;
        it++;
    }
}

Agenda::Agenda (unsigned s) : id (++numAgendas), maxContatos (s) {}

Agenda::Agenda (const Agenda &a) : id (++numAgendas),
                    maxContatos (a.maxContatos),
                    v (a.v) { cout << "Construtor de cópia!\n"; }

Agenda::~Agenda () {
    cout << "No destrutor do id " << id << "..." << endl;
}
```

Exemplo 1

```
int Agenda::insereContato (string n) {
    vector<string>::iterator it;

    if (v.size () >= maxContatos) {
        cout << "Agenda lotada!" << endl;
        return -1;
    }

    if (!v.size ()) {
        v.push_back (n);
        return 0;
    } else {
        it = v.begin();

        if (n > *(--v.end())) {
            v.push_back (n);
            return 0;
        } else {
            while (n > *it)
                it++;

            if (n != *it) {
                v.insert (it, n);
                return 0;
            } else {
                cout << "Nome já existe. ";
                cout << "Nenhuma operação foi realizada." << endl;
                return 1;
            }
        }
    }
}
```

Exemplo 1

```
string Agenda::getContato (int idx) {
    return v.at (idx);
}

int Agenda::getSize () {
    return v.size ();
}

Agenda &Agenda::operator+(Agenda &a) {
    unsigned i = 0;
    while (i < a.v.size ()) {
        this->insereContato (a.getContato (i));
        i++;
    }
    return *this;
}

Agenda &Agenda::operator=(Agenda &a) {
    if (this != &a) {
        maxContatos = a.maxContatos;
        v = a.v;
    } else
        cout << "\nTermos eram iguais..." << endl;

    return *this;
}
```

Exemplo 1

```
ostream &operator<< (ostream &output, Agenda &a) {
    unsigned int i = 0;
    while (i < a.v.size ()) {
        output << a.v.at (i) << endl;
        i++;
    }
    return output;
}
```

Sobrecarregando ++ e --

- Operadores de incremento/decremento podem ser sobrecarregados
  - Suponha que queiramos adicionar 1 a um objeto `Date`, `d1`
  - Protótipo (função-membro)
    - `Date &operator++();`
    - `++d1` **torna-se** `d1.operator++()`
  - Protótipo (função global)
    - `Date &operator++( Date & );`
    - `++d1` **torna-se** `operator++( d1 )`

Sobrecarregando ++ e --

- Para distinguir entre incremento prefixado e pós-fixado
  - O incremento pós-fixado tem um parâmetro fictício por convenção para o compilador identificá-lo
    - Um `int` com valor `0`
  - Protótipo (função-membro)
    - `Date operator++( int );`
    - `d1++` **torna-se** `d1.operator++( 0 )`
  - Protótipo (função global)
    - `Date operator++( Date &, int );`
    - `d1++` **torna-se** `operator++( d1, 0 )`

Sobrecarregando ++ e --

- Valores de retorno
  - Incremento prefixado
    - Retorna por referência (`Date &`) com o novo valor
    - *lvalue* (pode ser atribuído)
  - Incremento pós-fixado
    - Retorna por valor
      - Retorna um objeto temporário com um valor antigo já que o atual já foi incrementado
    - *rvalue* (não pode estar no lado esquerdo da atribuição)
- Tudo isso também se aplica aos operadores de decremento

Sobrecarregando ++ e --

- O objeto extra que é criado pelo operador de incremento (ou decremento) pós-fixado pode provocar um problema de desempenho significativo devido ao retorno da função ser feito por valor
  - Especialmente quando o operador é utilizado em um loop já que múltiplas cópias por valor podem ser necessárias
    - Por essa razão, só se deve utilizar o operador de incremento (ou decremento) pós-fixado quando a lógica do programa exigir pós-incremento (ou pós-decremento)

Estudo de caso: Classe `Date`

- Exemplo de classe **`Date`**
  - Operador de incremento sobrecarregado
    - Muda dia, mês e ano
  - Operador sobrecarregado `+=`
  - Função para testar anos bissextos
  - Função para determinar se o dia é o último do mês

Quarto Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exemplo 4
 * Arquivo dateCap11Ex4.h
 * Autor: Miguel Campista
 */
#ifndef DATE_H
#define DATE_H

#include <iostream>

using namespace std;

class Date {
   friend ostream &operator<<( ostream &, const Date & );
public:
   Date( int m = 1, int d = 1, int y = 1900 );
   void setDate( int, int, int );
   Date &operator++();
   Date operator++( int );
   const Date &operator+=( int );
   bool leapYear( int ) const;
   bool endOfMonth( int ) const;
private:
   int month;
   int day;
   int year;

   static const int days[];
   void helpIncrement();
};

#endif
```

Quarto Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exemplo 4
 * Arquivo dateCap11Ex4.cpp
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "dateCap11Ex4.h"

// inicialização de membro estático em escopo de arquivo
const int Date::days[] =
   { 0, 31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31 };

Date::Date( int m, int d, int y ) {
   setDate( m, d, y );
}

// atribuição de mês, dia e ano
void Date::setDate( int mm, int dd, int yy ) {
   month = ( mm >= 1 && mm <= 12 ) ? mm : 1;
   year = ( yy >= 1900 && yy <= 2100 ) ? yy : 1900;

   // Testa ano bissexto
   if ( month == 2 && leapYear( year ) )
      day = ( dd >= 1 && dd <= 29 ) ? dd : 1;
   else
      day = ( dd >= 1 && dd <= days[ month ] ) ? dd : 1;
}

// Operador de incremento prefixado sobrecarregado
Date &Date::operator++() {
   helpIncrement();
   return *this;
}
```

Quarto Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
Date Date::operator++( int ) {
   Date temp = *this;
   helpIncrement();

   return temp;
}

const Date &Date::operator+=( int additionalDays ) {
   for ( int i = 0; i < additionalDays; i++ )
      helpIncrement();

   return *this; // permite cascateamento
}

bool Date::leapYear( int testYear ) const {
   if ( testYear % 400 == 0 ||
      ( testYear % 100 != 0 && testYear % 4 == 0 ) )
      return true;
   else
      return false;
}

bool Date::endOfMonth( int testDay ) const {
   if ( month == 2 && leapYear( year ) )
      return testDay == 29;
   else
      return testDay == days[ month ];
}
```

Quarto Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

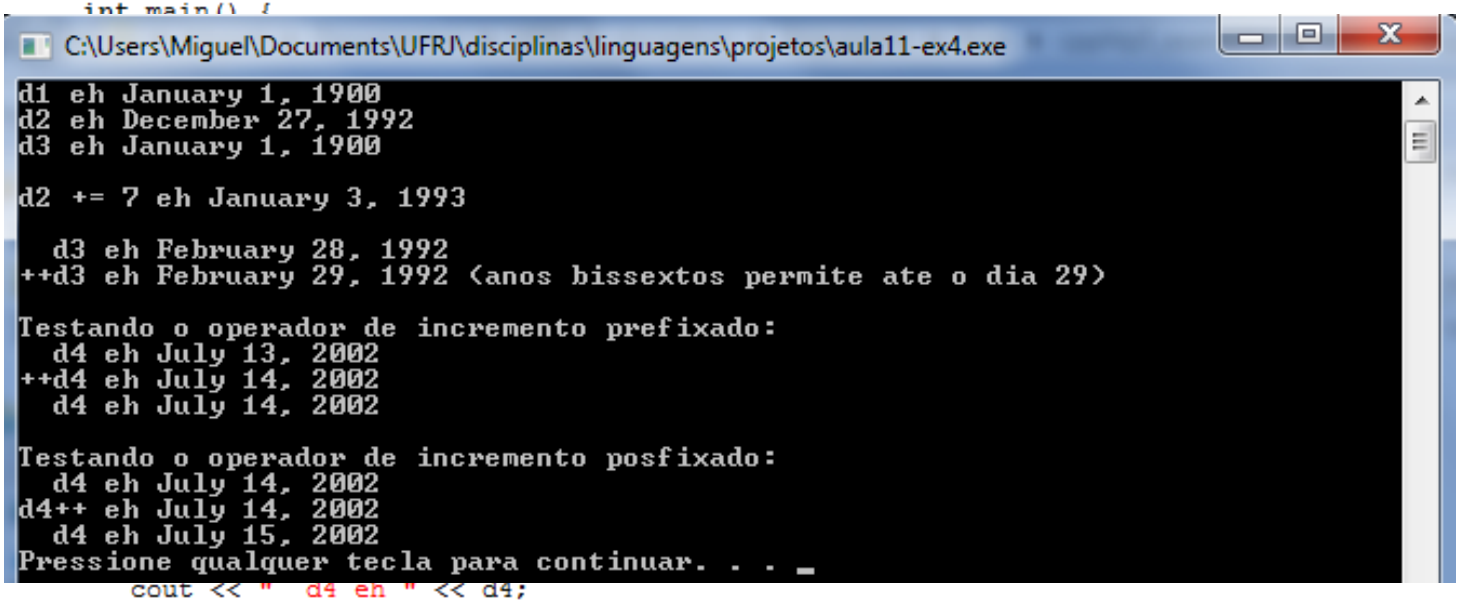
```
void Date::helpIncrement() {
   if ( !endOfMonth( day ) )
      day++;
   else if ( month < 12 ) {
      month++;
      day = 1;
   } else {
      year++;
      month = 1;
      day = 1;
   }
}

ostream &operator<<( ostream &output, const Date &d )
{
   static char *monthName[ 13 ] = { "", "January", "February",
      "March", "April", "May", "June", "July", "August",
      "September", "October", "November", "December" };
   output << monthName[ d.month ] << ' ' << d.day << ", " << d.year;
   return output;
}
```

Quarto Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exemplo 4
 * Arquivo Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "dateCap11Ex4.h"

int main() {
   Date d1;
   Date d2( 12, 27, 1992 );
   Date d3( 0, 99, 8045 );

   cout << "d1 eh " << d1 << "\nd2 eh " << d2 << "\nd3 eh " << d3;
   cout << "\n\nd2 += 7 eh " << ( d2 += 7 );

   d3.setDate( 2, 28, 1992 );
   cout << "\n\n  d3 eh " << d3;
   cout << "\n++d3 eh " << ++d3 << " (anos bissextos permite ate o dia 29)";

   Date d4( 7, 13, 2002 );

   cout << "\n\nTestando o operador de incremento prefixado:\n"
      << "  d4 eh " << d4 << endl;
   cout << "++d4 eh " << ++d4 << endl;
   cout << "  d4 eh " << d4;

   cout << "\n\nTestando o operador de incremento posfixado:\n"
      << "  d4 eh " << d4 << endl;
   cout << "d4++ eh " << d4++ << endl;
   cout << "  d4 eh " << d4 << endl;

   return 0;
}
```

Quarto Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exemplo 4
 * Arquivo Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include "dateCap11Ex4.h"

int main() {
```




```
        cout << "  d4 eh " << d4;

        cout << "\n\nTestando o operador de incremento posfixado:\n"
           << "  d4 eh " << d4 << endl;
        cout << "d4++ eh " << d4++ << endl;
        cout << "  d4 eh " << d4 << endl;

        return 0;
    }
```

Classe `string` da Biblioteca-padrão

- Classe predefinida no C++
  - Disponível para uso por qualquer pessoa
  - Classe `string`
    - Semelhante à classe `String` desenvolvida

- Refaça a classe `String` usando `string`

Classe `string` da Biblioteca-padrão

- Classe `string`
  - Cabeçalho `<string>`, namespace `std`
  - Pode inicializar `string s1( "hi" );`
  - `<<` sobrecarregado (como em `cout << s1`)
  - Operadores relacionais sobrecarregados `==`, `!=`, `>=`, `>`, `<=`, `<`
  - Operador de atribuição `=`
  - Concatenação (`+=` sobrecarregado)

Classe `string` da Biblioteca-padrão

- Classe `string`
  - Função-membro de substring `substr`
    - `s1.substr( 0, 14 );`
      - Inicia na posição 0, obtém 14 caracteres
    - `s1.substr( 15 );`
      - Início da substring na posição 15, até o fim
  - `[]` sobrecarregado
    - Acessa um caractere
    - Não há verificação de intervalo (se o subscrito for inválido)

Classe `string` da Biblioteca-padrão

- Classe `string`
  - Função-membro `at`
    - Acessa um caractere
      - Ex.: `s1.at( 10 );`
    - Tem verificação de limites. Lança uma exceção se o subscrito for inválido
      - Terminará o programa

Quinto Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
/*
 * Aula 11 - Exemplo 5
 * Arquivo Principal
 * Autor: Miguel Campista
 */
#include <iostream>
#include <string>

using namespace std;

int main() {
   string s1( "Feliz" );
   string s2( " aniversario" );
   string s3;

    // testa igualdade e relacionais sobrecarregados
    cout << "s1 eh \"" << s1 << "\"; s2 eh \"" << s2
         << "\"; s3 eh \"" << s3 << '\"'
         << "\n\nOs resultados da comparacao s2 e s1:"
         << "\ns2 == s1 permite " << ( s2 == s1 )
         << "\ns2 != s1 permite " << ( s2 != s1 )
         << "\ns2 >  s1 permite " << ( s2 > s1 )
         << "\ns2 <  s1 permite " << ( s2 < s1 )
         << "\ns2 >= s1 permite " << ( s2 >= s1 )
         << "\ns2 <= s1 permite " << ( s2 <= s1 );

    // teste função membro vazia de String
    cout << "\n\nTestando s3.empty():" << endl;

    if ( s3.empty() ) {
         cout << "s3 esta vazio; atribuindo s1 a s3;" << endl;
         s3 = s1;
         cout << "s3 is \"" << s3 << "\"";
    }
```

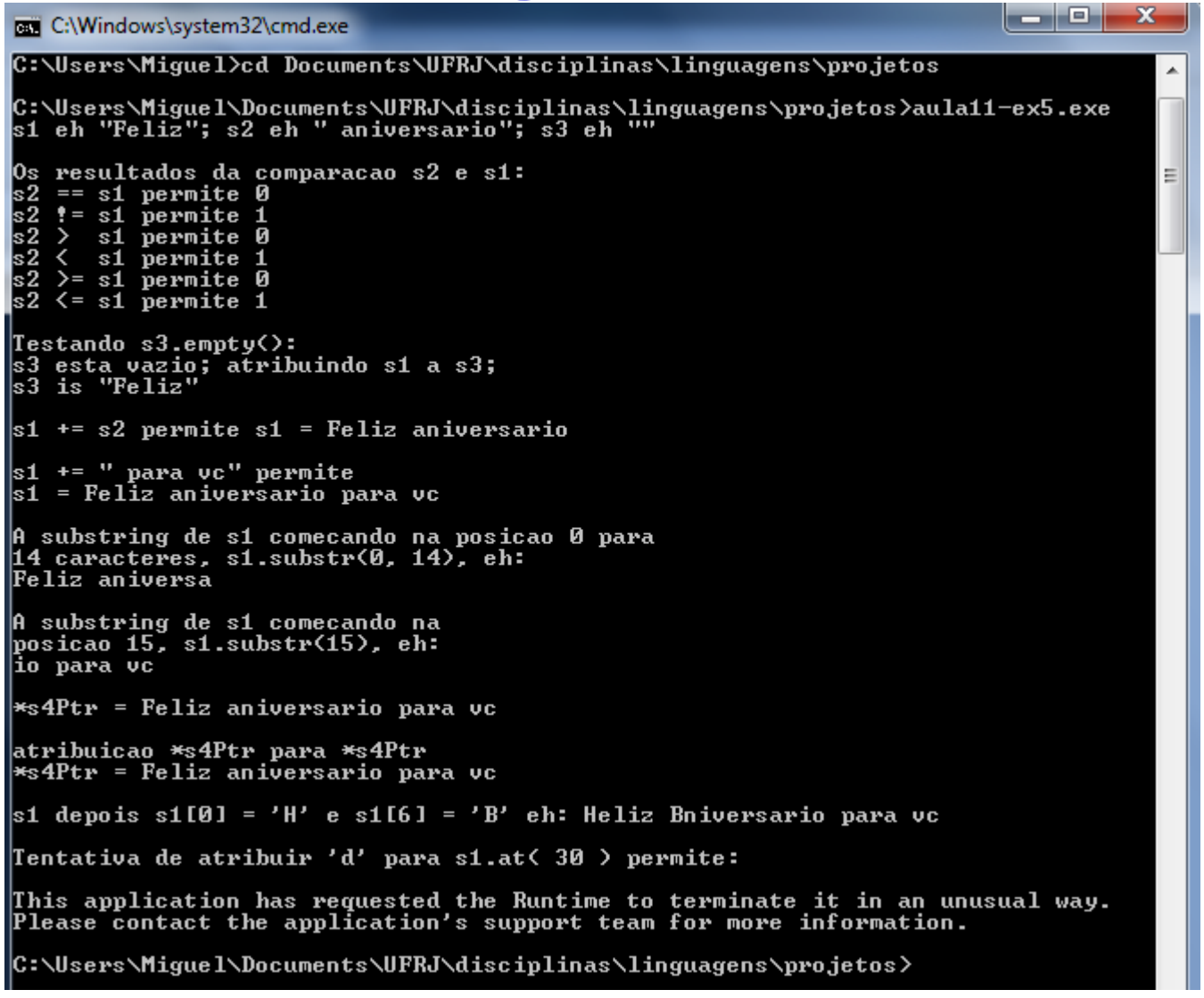
Quinto Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
// testa operador sobrecarregado de concatenção de string
cout << "\n\ns1 += s2 permite s1 = ";
s1 += s2;
cout << s1;

// testa operador sobrecarregado de concatenação com string do tipo C
cout << "\n\ns1 += \" para vc\" permite" << endl;
s1 += " para vc";
cout << "s1 = " << s1 << "\n\n";

// testa função membro de string substr
cout << "A substring de s1 comecando na posicao 0 para\n"
     << "14 caracteres, s1.substr(0, 14), eh:\n"
     << s1.substr( 0, 14 ) << "\n\n";

// testa opção "to-end-of-string" substr
cout << "A substring de s1 comecando na\n"
     << "posicao 15, s1.substr(15), eh:\n"
     << s1.substr( 15 ) << endl;

// testa construtor de cópia
string *s4Ptr = new string( s1 );
cout << "\n*s4Ptr = " << *s4Ptr << "\n\n";

// testa operador de atribuição (=) com auto-atribuição
cout << "atribuicao *s4Ptr para *s4Ptr" << endl;
*s4Ptr = *s4Ptr;
cout << "*s4Ptr = " << *s4Ptr << endl;

// testa destrutor
delete s4Ptr;
```

Quinto Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++

```
    // testa operador de subscrito para criar lvalue
    s1[ 0 ] = 'H';
    s1[ 6 ] = 'B';
    cout << "\ns1 depois s1[0] = 'H' e s1[6] = 'B' eh: "
         << s1 << "\n\n";

    // testa subscrito fora do intervalo com a função membro "at" de string
    cout << "Tentativa de atribuir 'd' para s1.at( 30 ) permite:" << endl;
    s1.at( 30 ) = 'd'; // ERROR: subscrito fora do intervalo

    return 0;
}
```

Quinto Ex. de Operadores Sobrecarregados em C++



Leitura Recomendada

- Capítulo 11 do livro
  - Deitel, "*C++ How to Program*", 5th edition, Editora Prentice Hall, 2005