UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

DCC004 - Algoritmos e Estruturas de Dados II

Testes, geração de casos de teste e teste de unidade

Renato Martins
Email: renato.martins@dcc.ufmg.br
https://www.dcc.ufmg.br/~renato.martins/courses/DCC004

Material adaptado de PDS2 - Douglas Macharet e Flávio Figueiredo

DCC
DEPARTAMENTO DE
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Introdução

- Modificar um programa é difícil
  - Mais do que implementá-lo inicialmente
  - Modificações em cadeia no código
  - Correções introduzem (novos) erros
- Como diminuir a chance de erros futuros?
  - Testar o código durante desenvolvimento
  - O que é um erro no programa? E um teste?

Introdução

- O que é teste de software?
  - Atividade responsável por avaliar as capacidades de um programa, verificando o alcance de resultados previamente estabelecidos

“Testing is the process of executing a program with the intent of finding errors.”

- Glenford. F. Myers, The Art of Software Testing, p. 6

Introdução
Motivação

- Diminuir o número de erros ao cliente
  - Melhorar a qualidade do software
- Detectar problemas mais rapidamente e de forma antecipada
  - Minimizar o custo de correção
- Modelagem mais precisa
  - Pensar em possíveis testes (cenários) para o sistema ajudam a entender melhor o problema

Introdução
Motivação

Table 7-5. Hours to fix bug based on introduction point

	STAGE FOUND				
Stage Introduced	**Requirements**	**Coding/Unit Testing**	**Integration**	**Beta Testing**	**Post-product Release**
Requirements	1.2	8.8	14.8	15.0	18.7
Coding/Unit testing	NA	3.2	9.7	12.2	14.8
Integration	NA	NA	6.7	12.0	17.3

NA = Not applicable because cannot find a bug before it is introduced

https://blog.fullstory.com/what-we-learned-from-google-code-reviews-arent-just-for-catching-bugs/

Introdução
Princípios

- Teste ≠ Debugging
  - Caso o teste encontre um erro, o processo de depuração pode ser usado para corrigi-lo
- Programa → Paciente Doente
  - Teste de sucesso → Problemas detectados
  - Teste sem sucesso → Nenhum problema
- Ponto de vista psicológico
  - Análise e Codificação são tarefas construtivas
  - Teste é uma tarefa "destrutiva"

Tipos de Testes

- Testes de unidade
  - Programação/codificação (módulo específico)
  - Nível de classe
- Testes de integração
  - Projeto (diferentes módulos)
- Testes de validação
  - Requisitos
- Testes de sistemas
  - Demais Elementos

Tipos de Testes

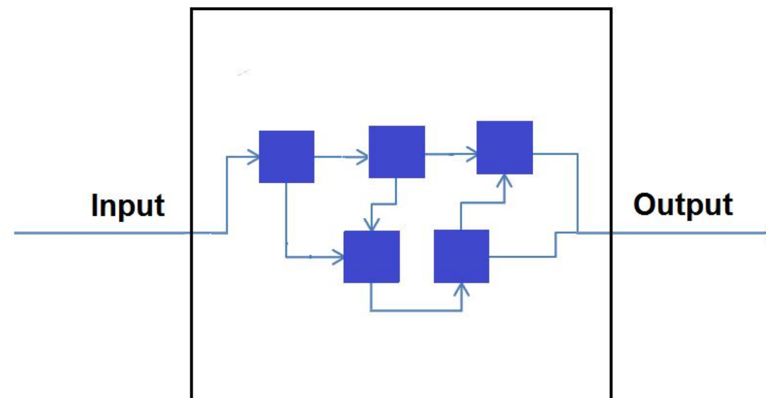
- Outros tipos de testes
  - Instalação
  - Segurança
  - Regressão
  - Performance
  - Usabilidade
  - [...]
  - Black-box vs White-box

Black-box v. White-box

- Black-box. Pouco, ou zero, acesso ao código.
- Por exemplo, podemos testar um sistema já pronto com usuários.

White-box testing

- Conhecemos o código e como o mesmo funciona. Podemos encaixar e manipular vários módulos do mesmo



Testes de unidade

- Testes de Unidade (White-box)
  - Nosso foco
  - Código feito para testar as classes
- Parece cíclico
  - Não é. Sabendo do contrato sabemos como usar os objetos de módulos
  - O teste é um código cliente
    - Pouca ou quase zero lógica

Teste de Unidade

- Trecho de código que chama outro trecho de código para verificar o comportamento apropriado de uma determinada hipótese
- Hipótese não validada (resultado incorreto),
- dizemos que o teste de unidade falhou
  - O objetivo é que todos os testes passem!
  - Resultados de acordo com o esperado

Testes de Unidade
O que é uma unidade?

- Menor unidade de classe testável
  - Método/bloco de código de um método
- Teste verifica uma hipótese para o método
  - As partes que utilizam o método devem ser testadas em outros casos de testes separados
- Diferentes aspectos podem ser testados
  - E/S, condições de contorno, exeções, ...

Testes de Unidade
Casos de teste

- Condição particular a ser testada
  - Valores de entrada
  - Restrições de execução
  - Resultado ou comportamento esperado

IEEE Standart 610 (1990) defines test case as follows:

1. A set of test inputs, execution conditions, and expected results developed for a particular objective, such as to exercise a particular program path or to verify compliance with a specific requirement.
2. (IEEE Std 829-1983) Documentation specifying inputs, predicted results, and a set of execution conditions for a test item.

Testes de Unidade
Casos de teste

- Refletem os requisitos que serão verificados
  - Casos Básicos
  - Positivo
    - Demonstrar que o requisito é atendido
  - Negativo
    - Requisito só é atendido sob certas condições
    - O que acontece em cenários com condições especiais ou dados inaceitáveis, anormais ou inesperados?

Testes de Unidade
Exemplo 1

- Programa para identificar triângulos
  - Entrada: 3 números inteiros (lados)
  - Saída: Equilátero, Isósceles, Escaleno
- Casos Positivos
  - Quantos casos de teste para equilátero?
    - [5,5,5]
  - Quantos casos de teste para isósceles?
    - [3,3,4]; [3,4,3]; [4,3,3]
  - Quantos casos de teste para escaleno?
    - [3,4,6]; [3,6,4]; [4,3,6]

Testes de Unidade
Exemplo 1

- Casos Negativos
  - Teste quando um dos lados é zero
  - Teste quando um dos lados é negativo
  - Teste verificando valores para triângulos válidos
    - Verificar diferentes permutações
    - [1,2,3]; [1,3,2]; [2,1,3]; [2,3,1]; [3,1,2]; [3,2,1]

Testes de Unidade
Vantagens

- Permitem a utilização de ferramentas que validam o código por condições fail/pass
- Podem ser feitos pelo implementador
- Ajudam a entender e manter o código
- Falhas detectadas durante as alterações
  - Se o código muda, o teste começa a falhar

Framework

- A automatização dos testes de unidade
  - Agilizar a verificação após mudanças
  - Evitar um trabalho tedioso (caro) → Falhas
- Doctest: https://github.com/onqtam/doctest
  - Estamos usando nas VPLs
  - Light, fast, single-header, free, feature-rich, ...
- Outras opções:
  - Catch2: https://github.com/catchorg/Catch2
  - GoogleTest: https://github.com/google/googletest

Framework

- Funcionamento baseado em asserções
- Diferentes níveis de severidade
  - REQUIRE / CHECK / WARNING
- Métodos auxiliares
  - Condições
    - `CHECK(thisReturnsTrue());`
  - Exceções
    - `CHECK_THROWS_AS(func(), std::exception);`

Framework - Macros doctest

- Existe uma série de macros no doctest
- A maioria é descrita aqui
- https://github.com/onqtam/doctest/blob/master/doc/markdown/assertions.md

Framework

- Criar um arquivo teste (!)
  - Geralmente um para cada classe
- Criar um método de teste (test case)
  - Criar um cenário de teste
  - Executar a operação sendo testada
  - Conferir o resultado retornado

Exemplo Simples

- Vamos fazer um código que gera um fatorial.

```
#ifndef PDS2_FAT_H
#define PDS2_FAT_H

int fatorial(int);

#endif
```

Exemplo Simples

- O código está incompleto
- Apenas para compilar

```
#include "fatorial.h"

int fatorial(int n) {
  return n;
}
```

O Teste

Abaixo temos um teste simples

Vamos entender o mesmo

```
#include "doctest.h"
#include "fatorial.h"

TEST_CASE("Testando o fatorial") {
   CHECK(fatorial(1) == 1);
   CHECK(fatorial(2) == 2);
   CHECK(fatorial(3) == 6);
   CHECK(fatorial(10) == 3628800);
}
```

Entendendo o nosso código

- Um teste de unidade é representado por um código C++
  - Temos algumas macros definidas pela biblioteca doctest (outras funcionam de forma similar)
- Por isso iniciamos com o include

Entendendo o nosso código

```
#include "doctest.h"
#include "fatorial.h"

TEST_CASE("Testando o fatorial") {
    CHECK(fatorial(2) == 2);
    CHECK(fatorial(3) == 6);
    CHECK(fatorial(4) == 24);
    CHECK(fatorial(10) == 3628800);
}
```

Include doctest e código além do código que será testado

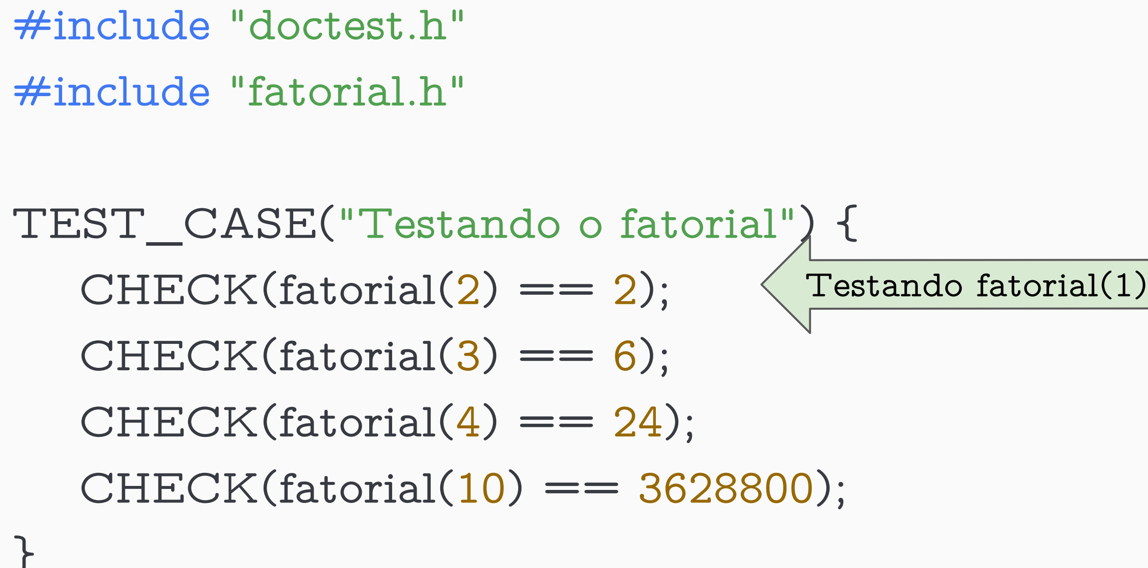
Test Cases

- Cada Test Case foca em uma funcionalidade. Geralmente método

```
#include "doctest.h"
#include "fatorial.h"

TEST_CASE("Testando o fatorial") {
    CHECK(fatorial(2) == 2);
    CHECK(fatorial(3) == 6);
    CHECK(fatorial(4) == 24);
    CHECK(fatorial(10) == 3628800);
}
```

Test Cases

- A macro CHECK verifica se o resultado é igual ao esperado



```
#include "doctest.h"
#include "fatorial.h"

TEST_CASE("Testando o fatorial") {
    CHECK(fatorial(2) == 2);
    CHECK(fatorial(3) == 6);
    CHECK(fatorial(4) == 24);
    CHECK(fatorial(10) == 3628800);
}
```

Executando

- Vamos usar um main a moda antiga
- Compilar tudo e rodar

```
$ g++ -std=c++14 *.cpp -o main
$ ./main
```

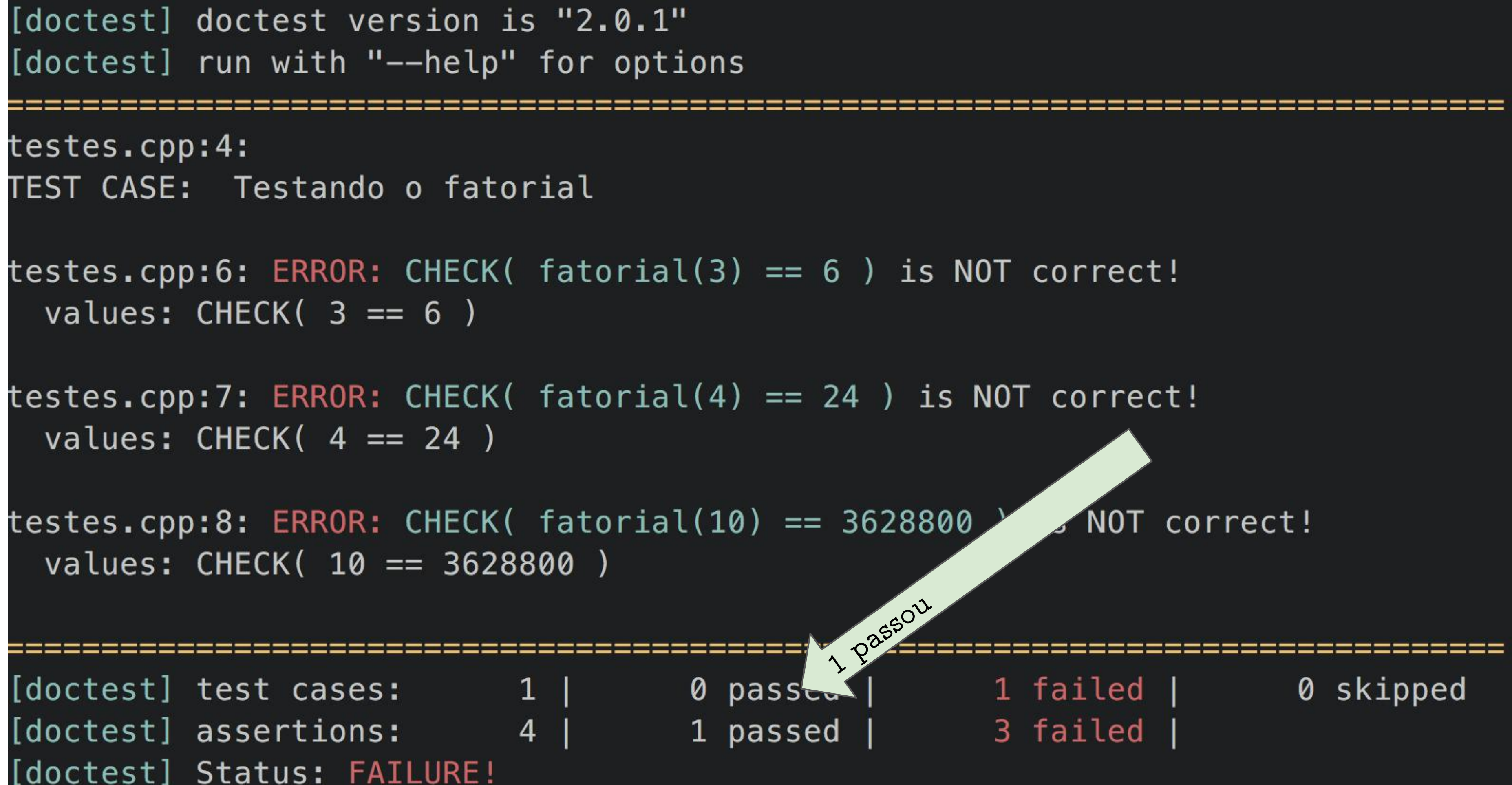
Saída

Parece que deu erro

```
[doctest] doctest version is "2.0.1"
[doctest] run with "--help" for options
===============================================================================
testes.cpp:4:
TEST CASE:  Testando o fatorial

testes.cpp:6: ERROR: CHECK( fatorial(3) == 6 ) is NOT correct!
  values: CHECK( 3 == 6 )

testes.cpp:7: ERROR: CHECK( fatorial(4) == 24 ) is NOT correct!
  values: CHECK( 4 == 24 )

testes.cpp:8: ERROR: CHECK( fatorial(10) == 3628800 ) is NOT correct!
  values: CHECK( 10 == 3628800 )

===============================================================================
[doctest] test cases:      1 |      0 passed |      1 failed |      0 skipped
[doctest] assertions:      4 |      1 passed |      3 failed |
[doctest] Status: FAILURE!
```

Saída

- Alguns testes passam



Saída

- Outros testes falham.

```
[doctest] doctest version is "2.0.1"
[doctest] run with "--help" for options
===============================================================================
testes.cpp:4:
TEST CASE:  Testando o fatorial

testes.cpp:6: ERROR: CHECK( fatorial(3) == 6 ) is NOT correct!
  values: CHECK( 3 == 6 )

testes.cpp:7: ERROR: CHECK( fatorial(4) == 24 ) is NOT correct!
  values: CHECK( 4 == 24 )

testes.cpp:8: ERROR: CHECK( fatorial(10) == 3628800 ) is NOT correct!
  values: CHECK( 10 == 3628800 )

===============================================================================
[doctest] test cases:      1 |      0 passed |      1 failed |      0 skipped
[doctest] assertions:      4 |      1 passed |      3 failed |
[doctest] Status: FAILURE!
```

Saída completa

```
$ ./main -s
```

- Use a opção -s

```
[doctest] doctest version is "2.0.1"
[doctest] run with "--help" for options
===============================================================================
testes.cpp:4:
TEST CASE:  Testando o fatorial

testes.cpp:5: SUCCESS: CHECK( fatorial(2) == 2 ) is correct!
  values: CHECK( 2 == 2 )

testes.cpp:6: ERROR: CHECK( fatorial(3) == 6 ) is NOT correct!
  values: CHECK( 3 == 6 )

testes.cpp:7: ERROR: CHECK( fatorial(4) == 24 ) is NOT correct!
  values: CHECK( 4 == 24 )

testes.cpp:8: ERROR: CHECK( fatorial(10) == 3628800 ) is NOT correct!
  values: CHECK( 10 == 3628800 )

===============================================================================
[doctest] test cases:      1 |      0 passed |      1 failed |      0 skipped
[doctest] assertions:      4 |      1 passed |      3 failed |
[doctest] Status: FAILURE!
```

Vamos corrigir o programa

- Nova versão do código
- Parece ok?
  - Ainda temos erro. fatorial(0);

```
#include "fatorial.h"

int fatorial(int n) {
  if (n <= 1) return n;
  return n * fatorial(n-1);
}
```

Rodando testes novamente

- Parece que tudo está executando corretamente
- Qual foi o problema?

```
[doctest] doctest version is "2.0.1"
[doctest] run with "--help" for options
===============================================================================
[doctest] test cases:      1 |      1 passed |      0 failed |      0 skipped
[doctest] assertions:      4 |      4 passed |      0 failed |
[doctest] Status: SUCCESS!
```

Nosso Teste

- Nunca vai testar fatorial(0)
- Deixa o código com erro

```
#include "doctest.h"
#include "fatorial.h"

TEST_CASE("Testando o fatorial") {
   CHECK(fatorial(2) == 2);
   CHECK(fatorial(3) == 6);
   CHECK(fatorial(4) == 24);
   CHECK(fatorial(10) == 3628800);
}
```

Teste Completo

- Dois casos. Um para o zero
  - Especial
- Outro geral. Valores comuns do fatorial

```
#include "doctest.h"
#include "fatorial.h"

TEST_CASE("1: fatorial of 0 is 1 (corner case)") {
   CHECK(fatorial(0) == 1);
}

TEST_CASE("2: fatorials of 1 and higher are computed (caso geral)") {
   CHECK(fatorial(1) == 1);
   CHECK(fatorial(2) == 2);
   CHECK(fatorial(3) == 6);
   CHECK(fatorial(10) == 3628800);
}
```

Valores inválidos

- Como que o código se comportaria com o fatorial(-20)?
- Ainda tem erro. Precisamos sinalizar que um valor inválido foi passado

Exceções

- Frequentemente uma função não consegue realizar a operação com uma dada entrada
- Ou o estado de um objeto é inválido
- Para sinalizar tal problema fazemos uso de exceções
- Interrompem o código
- Vamos explorar exceções na próxima aula

Código Final

```cpp
#include <stdexcept>

#include "fatorial.h"

int fatorial(int n) {
  if (n < 0) {
    throw std::invalid_argument("Não existe fatorial de n < 0");
  }
  if (n <= 1) {
    return 1;
  }
  return n * fatorial(n-1);
}
```

Teste Final

```
#include "doctest.h"
#include "fatorial.h"

TEST_CASE("Testando o caso especial") {
  CHECK(fatorial(0) == 1);
}

TEST_CASE("Testando o fatorial geral") {
  CHECK(fatorial(2) == 2);
  CHECK(fatorial(3) == 6);
  CHECK(fatorial(4) == 24);
  CHECK(fatorial(10) == 3628800);
}

TEST_CASE("Testando o caso invalido") {
  CHECK_THROWS(fatorial(-1));
}
```

Teste Final

```
#include "doctest.h"
#include "fatorial.h"

TEST_CASE("Testando o caso especial") {
  CHECK(fatorial(0) == 1);
}

TEST_CASE("Testando o fatorial geral") {
  CHECK(fatorial(2) == 2);
  CHECK(fatorial(3) == 6);
  CHECK(fatorial(4) == 24);
  CHECK(fatorial(10) == 3628800);
}

TEST_CASE("Testando o caso invalido") {
  CHECK_THROWS(fatorial(-1));
}
```

Verifica que lança uma exceção

Problemas ao usar doctest

- Temos dois mains, um do doctest
- Um main do código principal
- O g++ não deixa compilar tal caso
- Gerenciar testes, cobeturas, gdb etc etc
- Como resolver?

Problemas ao usar doctest

- Temos dois mains, um do doctest
- Um main do código principal
- O g++ não deixa compilar tal caso
- Gerenciar testes, cobeturas, gdb etc etc
- Como resolver?
  - Fazer um makefile que cuida de cada caso
  - Ou utilizar um já pronto

Usando o DocTest em projetos maiores

- Lembrando da nossa estrutura de projeto
- Adicionamos pastas para os testes

```
. raiz do projeto
|---- Makefile
|---- build/                    [diretório]
    |----                       [objetos compilados]
|---- third_party/              [bibliotecas de outras pessoas]
    |---- doctest.h
|---- include/                  [diretório]
|---- src/                      [diretório com código]
    |---- classe1.cpp
|---- tests/                    [diretório com código]
    |---- test_classe1.cpp
```

Cobertura de código

- Medida do grau que o código do programa é executado dado um conjunto de testes
  - Percentual do código que foi testado
- Quanto maior a cobertura, menor a chance do código conter erros não detectados

Cobertura de código

- Declaração
  - Testes que avaliam todas as linhas do código
  - Testes simples, porém pobres
- Decisões (branches)
  - Avaliar diferentes caminhos condicionais
- Condições
  - Parada, valores inválidos, valores limite, ...

Cobertura de código

Ferramentas

- gcov
  - é a ferramenta para C++ que verifica a cobertura
  - analisa o número de vezes que cada linha de um programa é executada durante uma execução
  - permite encontrar áreas do código que não são utilizadas ou que não são avaliadas nos testes
- LCOV
  - Formata relatórios em arquivos .html
  - Facilita identificar e verificar problemas

Cobertura de código

Ferramentas - Passo-a-Passo

1. Compilar todos os arquivos com o parâmetro "--coverage" (saída arquivos '.gcno').

```
g++ -c --coverage factorial.cpp
g++ --coverage -o TesteFactorial TesteFactorial.cpp factorial.o
```

2. Execute o arquivo executável (saída arquivos '.gcda').

```
./TesteFactorial
```

3. Gerar os relatórios de cobertura (saída arquivos '.gcov').

```
mkdir coverage
mv *.gcno *.gcda coverage/
gcov -lpr *.cpp -o coverage/
mv *.gcov coverage/
```

4. Gerar o relatório em html*.

```
lcov --no-external --capture --directory . --output-file
coverage/coverage.info
genhtml coverage/coverage.info --output-directory coverage
```

**Importante: Parece que o LCOV não é compatível com GCC 8.0.*

Exemplo Cobertura

- A linha abaixo indica que executamos todas as linhas do arquivo.
- Ou seja, cobrimos todos os casos!

```
$ g++ --coverage -std=c++14 *.cpp -o main
$ ./main
$ gcov fatorial.cpp
File 'fatorial.cpp'
Lines executed:100.00% of 6
fatorial.cpp:creating 'fatorial.cpp.gcov'
```

Exemplo Cobertura

- Se apagarmos o último teste
  - Aquele do valor negativo
- Não cobrimos mais tudo

```
File 'fatorial.cpp'
Lines executed:83.33% of 6
fatorial.cpp:creating 'fatorial.cpp.gcov'
```

Cobertura de Testes

- A Cobertura é um bom sinal que cobrimos todo o código
  - Ou boa parte do mesmo
- Porém
  - Não fala nada da qualidade dos testes
  - Podemos ter 100% de cobertura com erros de lógica ainda (exemplo Fatorial)

Escrevendo bons testes

- Bons testes cobrem a maioria dos (ou todos os) fluxos possíveis de execução
- Teste diferentes formas de escrever a mesma função (overloading)
- Além de diferentes implementações de uma mesma interface
  - Um teste por classe, no mínimo

Dicas Para Escrever Testes

- Teste caso base
  - Onde seu algoritmo com certeza funciona
- Teste os *corner cases*
  - Entradas especiais
  - Ordenar um vetor com 1 elemento
- Teste os valores inválidos

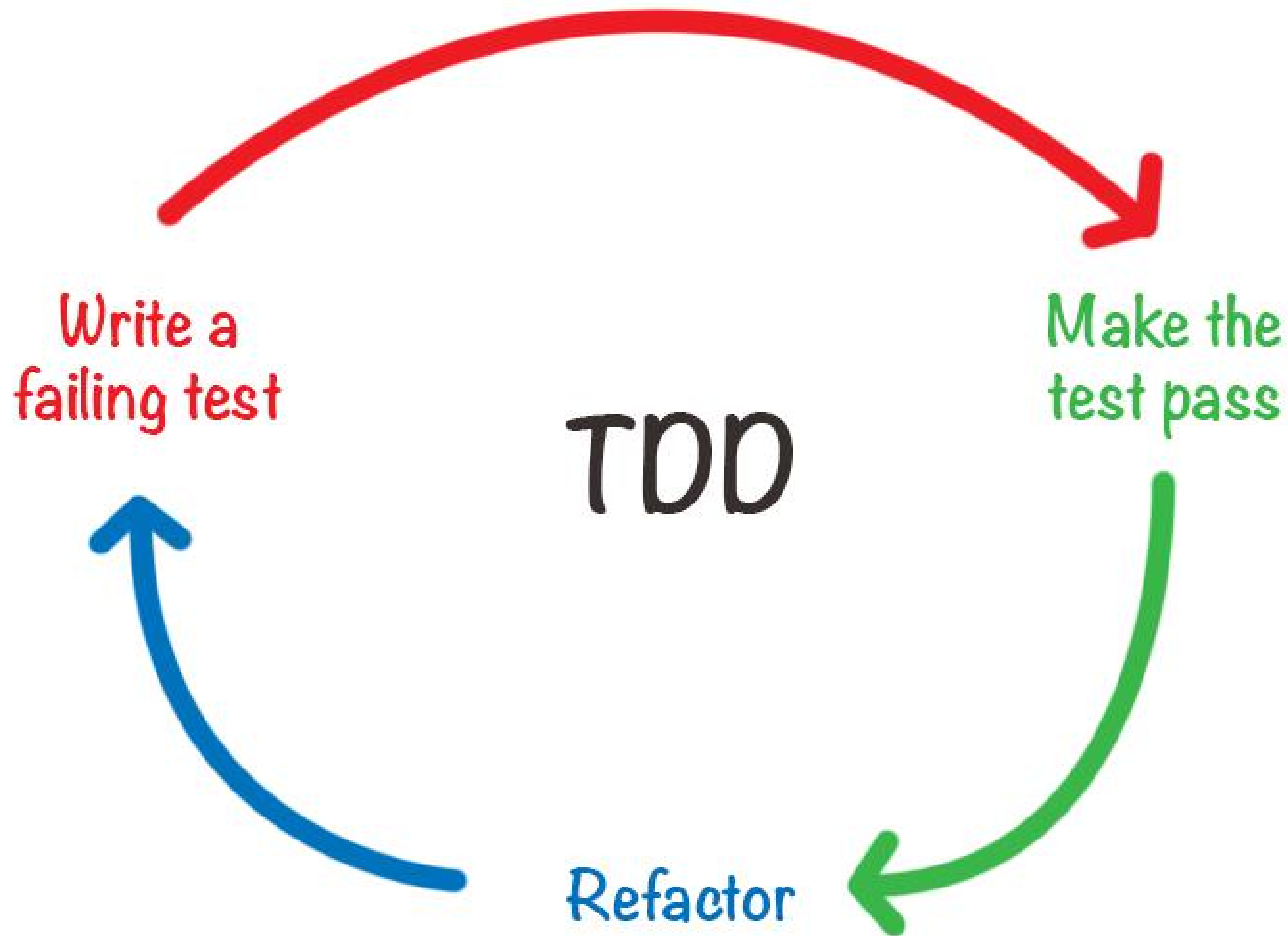
Metodologias de Desenvolvimento

- Quando devemos iniciar a fase de testes?
  - Depois de terminada a codificação?
  - Não é uma boa ideia! Por que?
- Desenvolvimento Orientado por Testes (TDD)
  - Foco deve ser no requisito, não no código!
  - Interface $\rightarrow$ Comportamento

Test Driven Development (TDD)

- Escrevemos os testes antes do código
  - Antes?!
- Prática extremamente recomendada
  - Código se adapta ao teste, não o contrário!
- Abordagem incremental
  - Pequenos passos (testes) ajudam a alcançar um resultado final de qualidade (projeto)
- Maneira de se desenvolver, não de testar!

Ciclo de Desenvolvimento



Test Driven Development (TDD)

- Tempo de detecção e quantidade diminuem
- Arquitetura do código melhora
  - Mais modular, flexível e extensível
  - Pequenos unidades independentes
- Confiança no código aumenta
  - Assim como a qualidade como um todo
- Custos reduzidos e prazos cumpridos!

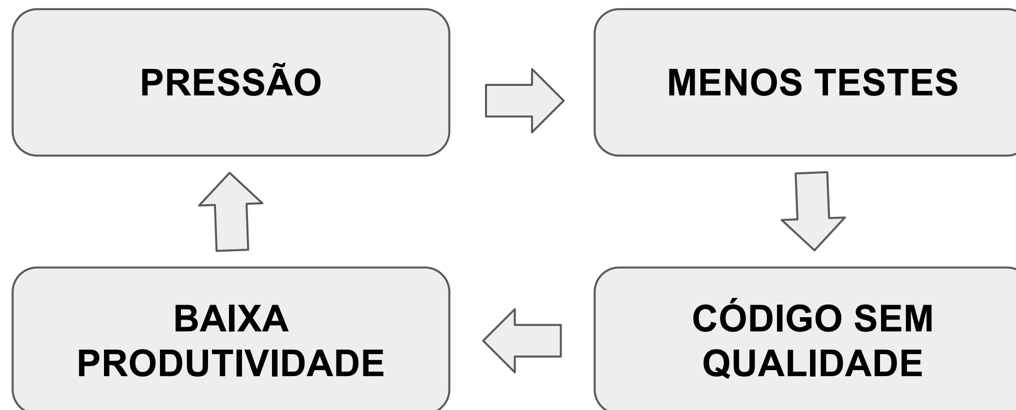
Test Driven Development (TDD)

- Até o momento a maioria dos VPLs seguiram uma abordagem TDD
  - Sem o refactor
- Temos os testes antes
- Depois nos preocupamos com a classe em si. O teste guia o código da classe

Test Driven Development (TDD)

Programadores sabem que devem escrever o teste antes, mas são poucos o que fazem

Gera um ciclo vicioso!



Test Driven Development (TDD)

- Exige comprometimento da equipe!
- Não garante o sucesso do projeto
  - Os testes foram bem feitos?
  - Robustos, fácil manutenção, realmente testado, ...
- Refatoração ajuda no aumento da qualidade

Exercício

- Como testar peças de xadrez? Isto é, temos uma interface Peca com o método

```
boolean podeMover(int x, int y);
```

- Diversas peças implementa a mesma.
- Uma classe Tabuleiro com um método

```
void move(Peca &peca, int x, int y);
```

Exercício

- Precisamos de testes para cada classe que implementa a interface Peca
- Além de um teste para Tabuleiro
  - O mesmo que conhece o tamanho