

SSC721 – Teste e Inspeção de Software

Técnica de Teste Estrutural

Simone do Rocio Senger de Souza
srocio@icmc.usp.br

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação — ICMC/USP

- Exemplo de **erro** de fluxo de dados:

```

1  main(){
2      int x;
3      if (x==42){...}
4  }
```

- Referenciar uma variável sem esta ter sido inicializada.
 - Assumir que o compilador inicializa a variável com algum valor padrão quando ele não o faz. Qual a saída do programa abaixo?

```

1  #include <stdio.h>
2  main() {
3      int x;
4      printf ("%d", x);
5  }
```

- O teste baseado em fluxo de dados constitui uma ferramenta poderosa para identificar o uso incorreto de valores resultante de erros de codificação.
- Tornou-se popular com a publicação do trabalho de **Rapps e Weyker (1982)**:

“It is our belief that, just as one would not feel confident about a program without executing every statement in it as part of some test, one should not feel confident about a program without having seen the effect of using the value produced by each and every computation.”

- Critérios principais:
 - Família de critérios de Rapps e Weyuker
 - Família de critérios Potenciais-Usos (Maldonado)

- Uso de variável não inicializada.
- Atribuição de valor a uma variável mais de uma vez sem que tenha havido uma referência a essa variável entre essas atribuições.
- Liberação ou reinicialização de uma variável antes que ela tenha sido usada.
- Atribuir novo valor a um ponteiro sem que variável tenha sido liberada.

- Existem dois tipos de uso de variáveis:
 - Uso em computações, denominados **uso computacional**. Por exemplo:
 - $a = b * 1$.
 - Uso em condições, denominado **uso predicativo**. Por exemplo:
 - `if (a >= b)`.
- Independentemente do tipo de uso, é imprescindível que antes de ser usada a variável tenha sido **definida**.
 - A definição de uma variável ocorre quando ela recebe um valor. Por exemplo, via comando de atribuição:
 - $a = 10$ e $b = 5$.

- **Objetivo:** exercitar caminhos ligando definições globais a usos globais de variáveis do programa.
- **Critérios:**
 - Todas-Definições.
 - Todos-P-Usos.
 - Todos-P-Usos/Alguns-C-Usos.
 - Todos-C-Usos/Alguns-P-Usos.
 - Todos-Usos.
 - Todos-DU-Caminhos.

- Utilizam o **Grafo Def-Uso** (*Def-Use Graph*) para derivar os requisitos de teste.
 - Informações a respeito do fluxo de dados do programa.
 - Extensão do GFC.

Grafo Def-Uso

GFC + Definição e Uso de Variáveis

- **Definição:**
 - Atribuição de um valor a uma variável.
 - $a = 1$
- **Uso Predicativo (p-uso):**
 - A variável é utilizada em uma condição.
 - $\text{if } (a > 0)$
- **Uso Computacional (c-uso):**
 - A variável é utilizada em uma computação.
 - $b = a + 1$

O programa *Identifier* determina se um identificador é válido ou não. Um identificador válido deve começar com uma letra e conter apenas letras ou dígitos. Além disso, deve ter no mínimo um caractere e no máximo seis caracteres de comprimento.

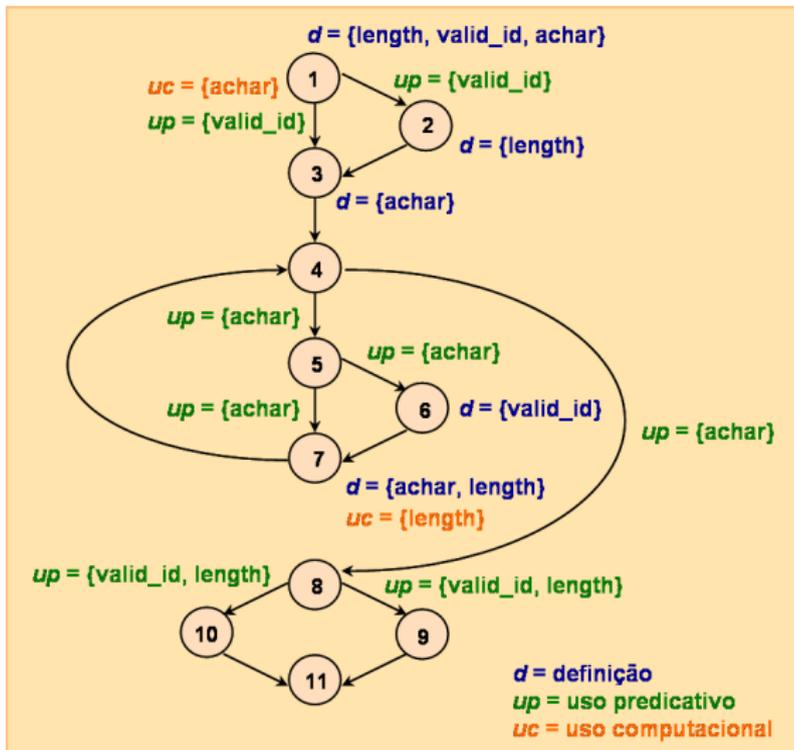
```

/* 01 */      {
/* 01 */      char  achar;
/* 01 */      int  length, valid_id;
/* 01 */      length = 0;
/* 01 */      printf ("Identificador: ");
/* 01 */      achar = fgetc (stdin);
/* 01 */      valid_id = valid_s(achar);
/* 01 */      if (valid_id)
/* 02 */          length = 1;
/* 03 */      achar = fgetc (stdin);
/* 04 */      while (achar != '\n')
/* 05 */      {
/* 05 */          if (!(valid_f(achar)))
/* 06 */              valid_id = 0;
/* 07 */          length++;
/* 07 */          achar = fgetc (stdin);
/* 07 */      }
/* 08 */      if (valid_id && (length >= 1) && (length < 6))
/* 09 */          printf ("Valido\n");
/* 10 */      else
/* 10 */          printf ("Invalido\n");
/* 11 */      }

```

Implementação do Programa *Identifier* (função main).

- Função `valid_s()`: determina se o primeiro caractere é válido.
- Função `valid_f()`: determina se o próximo caractere é válido.



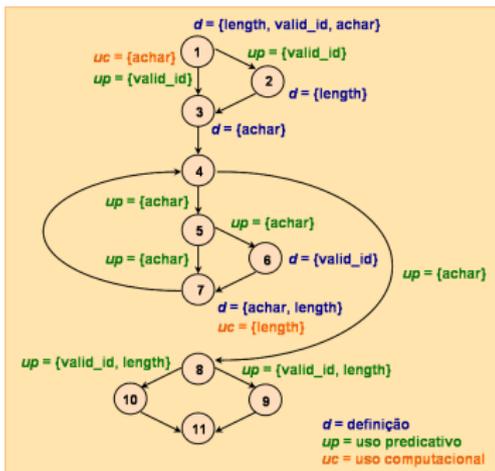
Requer que cada definição de variável seja exercitada pelo menos uma vez, não importa se por um c-uso ou por um p-uso.

- Para **todas as definições** de variáveis deve ser exercitado um **caminho livre de definição** para **pelo menos um de seus usos**.
 - Caminho onde a variável não é redefinida.

- Associações Definição-Uso

Tripla $\langle i, j, var \rangle$ ou $\langle i, (j, k), var \rangle$ indicando que a variável var é definida no nó i e existe um uso computacional de var no nó j ou um uso predicativo de var no arco (j, k) , respectivamente, bem como pelo menos um caminho livre de definição do nó i ao nó j ou ao arco (j, k) .

- Elementos Requeridos
(definição da variável *length* no nó 1):
 - Associações: $\langle 1,7,length \rangle$; $\langle 1,(8,9),length \rangle$ ou $\langle 1,(8,10),length \rangle$.
 - Basta ser executado um dos seguintes sub-caminhos: (1,3,4,5,7); (1,3,4,5,6,7); (1,3,4,8,9); (1,3,4,8,10).



- Para satisfazer o critério Todas-Definições, a análise anterior deve ser realizada para **toda definição** que ocorre no programa.

Técnica Estrutural

Critérios da Técnica Estrutural

Critérios de Fluxo de Controle

Critério Baseado na Complexidade

Critérios Baseados em Fluxo de Dados

Critérios de Rapps e Weyker

Grafo Def-Uso

Critério Todas-Definições

Critério Todos-Usos

Critério Todos-DU-Caminhos

Limitações

Critérios Potenciais-Usos

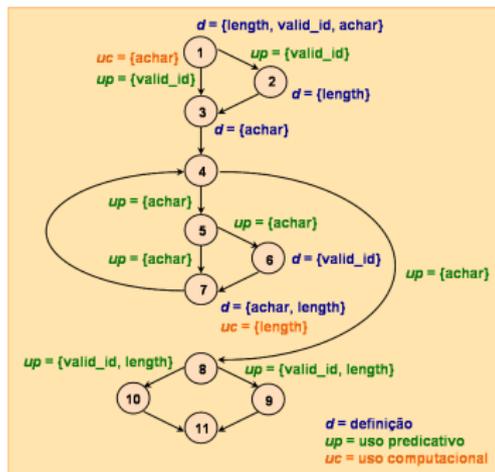
Exercício

Nó	Variável	Caminhos Requeridos
1	length	(1,3,4,5,7)
		(1,3,4,5,6,7)
		(1,3,4,8,9) ×
		(1,3,4,8,10)
	valid_id	(1,2,3,4,8,9)
		(1,3,4,8,10)
	achar	(1,3,4,5,7)
		(1,3,4,5,6)
		(1,3,4,8)
2	length	(2,3,4,5,7)
		(2,3,4,5,6,7)
		(2,3,4,8,9)
		(2,3,4,8,10) ×
3	achar	(3,4,5,7)
		(3,4,5,6)
		(3,4,8)
6	valid_id	(6,7,4,8,9) ×
		(6,7,4,8,10)
7	length	(7,4,5,7)
		(7,4,5,6,7)
		(7,4,8,9)
		(7,4,8,10)
	achar	(7,4,5,7)
		(7,4,5,6)
		(7,4,8)

Requer que todas as associações entre uma definição de variável e seus subseqüentes usos (c-usos e p-usos) sejam exercitadas pelos casos de teste, através de pelo menos um caminho livre de definição.

- Para **todas as definições** de variáveis deve ser exercitado um caminho para **todos os seus c-usos** e para **todos os seus p-usos**.

- Elementos Requeridos (definição da variável *length* no nó 1):
 - Associações: $\langle 1,7, \text{length} \rangle$; $\langle 1, (8,9), \text{length} \rangle$ e $\langle 1, (8,10), \text{length} \rangle$.



- Para satisfazer o critério Todos-Usos, a análise anterior deve ser realizada para **todas** as demais variáveis e associações pertinentes.

Associações Requeridas
$\langle 1, 7, \{\text{length}\} \rangle$
$\langle 1, (8, 9), \{\text{length}, \text{valid_id}\} \rangle \times$
$\langle 1, (8, 10), \{\text{length}, \text{valid_id}\} \rangle$
$\langle 1, (1, 2), \{\text{valid_id}\} \rangle$
$\langle 1, (1, 3), \{\text{valid_id}\} \rangle$
$\langle 1, 1, \{\text{achar}\} \rangle$
$\langle 1, (4, 5), \{\text{achar}\} \rangle$
$\langle 1, (4, 8), \{\text{achar}\} \rangle$
$\langle 1, (5, 6), \{\text{achar}\} \rangle$
$\langle 1, (5, 7), \{\text{achar}\} \rangle$
$\langle 2, 7, \{\text{length}\} \rangle$
$\langle 2, (8, 9), \{\text{length}\} \rangle$
$\langle 2, (8, 10), \{\text{length}\} \rangle \times$
$\langle 3, (4, 5), \{\text{achar}\} \rangle$
$\langle 3, (4, 8), \{\text{achar}\} \rangle$
$\langle 3, (5, 6), \{\text{achar}\} \rangle$
$\langle 3, (5, 7), \{\text{achar}\} \rangle$
$\langle 6, (8, 9), \{\text{valid_id}\} \rangle \times$
$\langle 6, (8, 10), \{\text{valid_id}\} \rangle$
$\langle 7, 7, \{\text{length}\} \rangle$
$\langle 7, (8, 9), \{\text{length}\} \rangle$
$\langle 7, (8, 10), \{\text{length}\} \rangle$
$\langle 7, (4, 5), \{\text{achar}\} \rangle$
$\langle 7, (4, 8), \{\text{achar}\} \rangle$
$\langle 7, (5, 6), \{\text{achar}\} \rangle$
$\langle 7, (5, 7), \{\text{achar}\} \rangle$

Técnica Estrutural

Critérios da Técnica Estrutural

Critérios de Fluxo de Controle

Critério Baseado na Complexidade

Critérios Baseados em Fluxo de Dados

Critérios de Rapps e Weyker

Grafo Def-Usos

Critério Todas-Definições

Critério Todos-Usos

Critério Todos-DU-Caminhos

Limitações

Critérios Potenciais-Usos

Exercício

- Os critérios Todos-P-Usos, Todos-P-Usos/Alguns-C-Usos e Todos-C-Usos/Alguns-P-Usos representam variações do critério Todos-Usos.

Critério	Descrição
Todos-P-Usos	Para todas as definições de variáveis deve ser exercitado um caminho para todos os seus p-usos.
Todos-P-Usos/ Alguns-C-Usos	Para todas as definições de variáveis deve ser exercitado um caminho para todos os seus p-usos e alguns c-usos.
Todos-C-Usos/ Alguns-P-Usos	Para todas as definições de variáveis deve ser exercitado um caminho para todos os seus c-usos e para alguns p-usos.

Requer que toda associação entre uma definição de variável e subseqüentes p-usos ou c-usos dessa variável seja exercitada por todos os caminhos livres de definição e **livres de laço** que cubram essa associação.

- Propriedades Mínimas de um Critério de Teste:
 - 1 Garantir, do ponto de vista de fluxo de controle, a cobertura de todos os **desvios condicionais**.
Ou seja, incluir o critério **Todos-Arcos**.
 - 2 Requerer, do ponto de vista de fluxo de dados, ao menos um **uso** de todo resultado computacional.
Ou seja, incluir o critério **Todas-Definições**.
 - 3 Requerer um conjunto de casos de teste **finito**.

- Hierarquia entre os Critérios



- A principal desvantagem dos critérios baseados em análise de fluxo de dados é que na presença de caminhos não executáveis estes **não garantem a inclusão do critério Todos-Arcos**.
- Diz-se que tais critérios não estabelecem uma **ponte** (*bridge the gap*) entre os critérios Todos-Arcos e Todos-Caminhos.
- Ainda, a maioria dos programas reais contém caminhos não executáveis.

- Os elementos requeridos são caracterizados independentemente da ocorrência **explícita** de uma referência (um uso) a uma definição de variável.
 - **Potencial-Associação (Potencial-Uso)**

Se um uso dessa definição pode existir, a potencial-associação entre a definição e o potencial-uso é caracterizada, e eventualmente requerida.

Requerem basicamente que caminhos livres de definição em relação a qualquer nó i que possua definição de variável e a qualquer variável x definida em i sejam executados, **independentemente** de ocorrer uso dessa variável nesses caminhos.

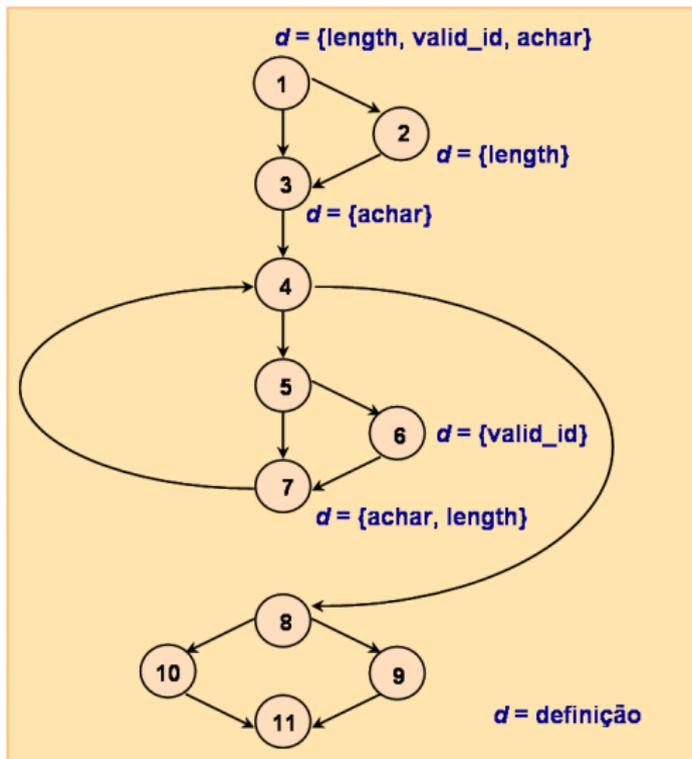
- É possível verificar, por exemplo, que o valor de x não foi alterado nesses caminhos (possivelmente devido a efeitos colaterais), ganhando-se maior confiança de que a computação correta é realizada.

- Critérios Básicos:
 - Todos-Potenciais-Usos
 - Todos-Potenciais-Usos/DU
 - Todos-Potenciais-DU-Caminhos

- Utilizam o **Grafo Def** para derivar os requisitos de teste.
- Associa-se, a cada nó do grafo, informações a respeito das **definições** que ocorrem nesses nós.
 - Extensão do grafo de programa.

Grafo Def

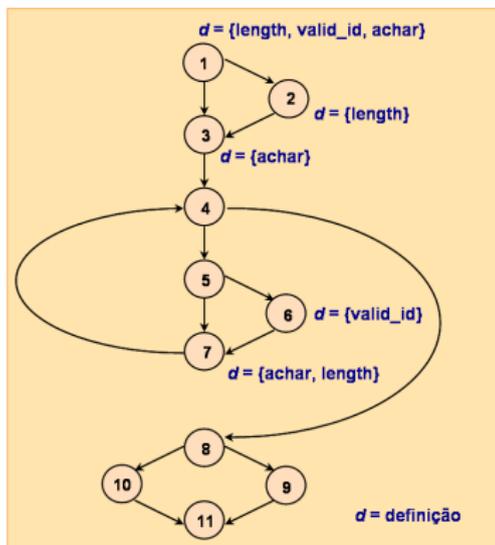
Grafo de Programa + Definição de Variáveis



Requer, para todo nó i e para toda variável x , para a qual existe uma definição em i , que pelo menos um caminho livre de definição com relação à variável x do nó i para todo nó e para todo arco possível de ser alcançado a partir de i por um caminho livre de definição com relação a x seja exercitado.

- Elementos Requeridos:

- Associações: $\langle 1, (1,2), \text{length} \rangle$; $\langle 1, (1,3), \text{length} \rangle$; $\langle 1, (5,6), \text{length} \rangle$; $\langle 1, (5,7), \text{length} \rangle$; $\langle 1, (8,9), \text{length} \rangle$; $\langle 1, (8,10), \text{length} \rangle$; $\langle 1, (6,7), \text{length} \rangle$.

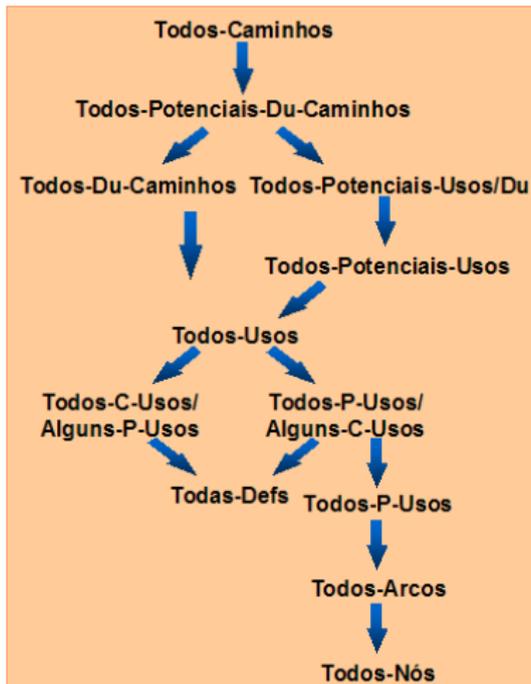


- Utilizando-se o conceito de potencial-uso, tem-se que a variável `length` definida no nó 1 poderia ter um uso predicativo no arco $(6, 7)$, o que faz com que a potencial-associação $\langle 1, (6, 7), \text{length} \rangle$ seja requerida pelo critério Todos-Potenciais-Usos.
- A potencial-associação $\langle 1, (6, 7), \text{length} \rangle$ não seria requerida pelos demais critérios de fluxo de dados que não fazem uso do conceito de potencial-uso.
- Toda associação é uma potencial-associação e, desse modo, as associações requeridas pelo critério Todos-Usos são um **subconjunto** das potenciais-associações requeridas pelo critério Todos-Potenciais-Usos.

Associações Requeridas

1) $\langle 1, (6, 7), \{\text{length}\} \rangle$	17) $\langle 2, (6, 7), \{\text{length}\} \rangle$
2) $\langle 1, (1, 3), \{\text{achar, length, valid_id}\} \rangle$	18) $\langle 2, (5, 6), \{\text{length}\} \rangle$
3) $\langle 1, (8, 10), \{\text{length, valid_id}\} \rangle$	19) $\langle 3, (8, 10), \{\text{achar}\} \rangle$
4) $\langle 1, (8, 10), \{\text{valid_id}\} \rangle$	20) $\langle 3, (8, 9), \{\text{achar}\} \rangle$
5) $\langle 1, (8, 9), \{\text{length, valid_id}\} \rangle \times$	21) $\langle 3, (5, 7), \{\text{achar}\} \rangle$
6) $\langle 1, (8, 9), \{\text{valid_id}\} \rangle$	22) $\langle 3, (6, 7), \{\text{achar}\} \rangle$
7) $\langle 1, (7, 4), \{\text{valid_id}\} \rangle$	23) $\langle 3, (5, 6), \{\text{achar}\} \rangle$
8) $\langle 1, (5, 7), \{\text{length, valid_id}\} \rangle$	24) $\langle 6, (8, 10), \{\text{valid_id}\} \rangle$
9) $\langle 1, (5, 7), \{\text{valid_id}\} \rangle$	25) $\langle 6, (8, 9), \{\text{valid_id}\} \rangle \times$
10) $\langle 1, (5, 6), \{\text{length, valid_id}\} \rangle$	26) $\langle 6, (5, 7), \{\text{valid_id}\} \rangle$
11) $\langle 1, (5, 6), \{\text{valid_id}\} \rangle$	27) $\langle 6, (5, 6), \{\text{valid_id}\} \rangle$
12) $\langle 1, (2, 3), \{\text{achar, valid_id}\} \rangle$	28) $\langle 7, (8, 10), \{\text{achar, length}\} \rangle$
13) $\langle 1, (1, 2), \{\text{achar, length, valid_id}\} \rangle$	29) $\langle 7, (8, 9), \{\text{achar, length}\} \rangle$
14) $\langle 2, (8, 10), \{\text{length}\} \rangle \times$	30) $\langle 7, (5, 7), \{\text{achar, length}\} \rangle$
15) $\langle 2, (8, 9), \{\text{length}\} \rangle$	31) $\langle 7, (6, 7), \{\text{achar, length}\} \rangle$
16) $\langle 2, (5, 7), \{\text{length}\} \rangle$	32) $\langle 7, (5, 6), \{\text{achar, length}\} \rangle$

- Hierarquia entre os Critérios



- Os critérios Potenciais-Usos são os únicos critérios baseados em fluxo de dados que satisfazem as três propriedades mínimas esperadas de um critério de teste.
 - Estabelecem uma **hierarquia** entre os critérios Todos-Arcos e Todos-Caminhos, mesmo na presença de caminhos não executáveis.
- Nenhum outro critério de teste baseado em fluxo de dados inclui os critérios Potenciais-Usos.