

Busca DFS

S 18.1 e 18.2

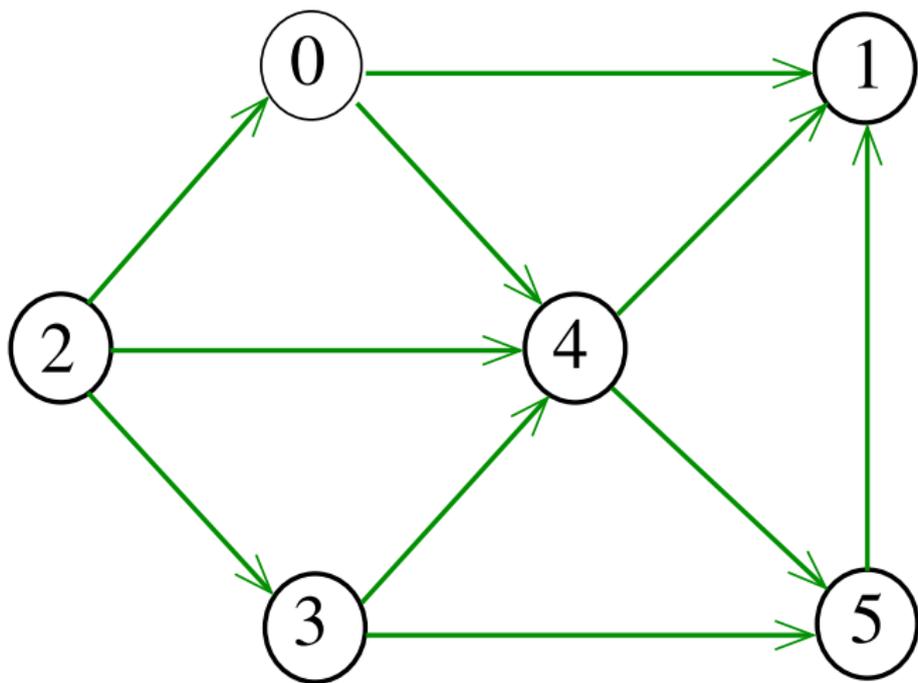
Busca ou varredura

Um algoritmo de **busca** (ou **varredura**) examina, sistematicamente, todos os vértices e todos os arcos de um digrafo.

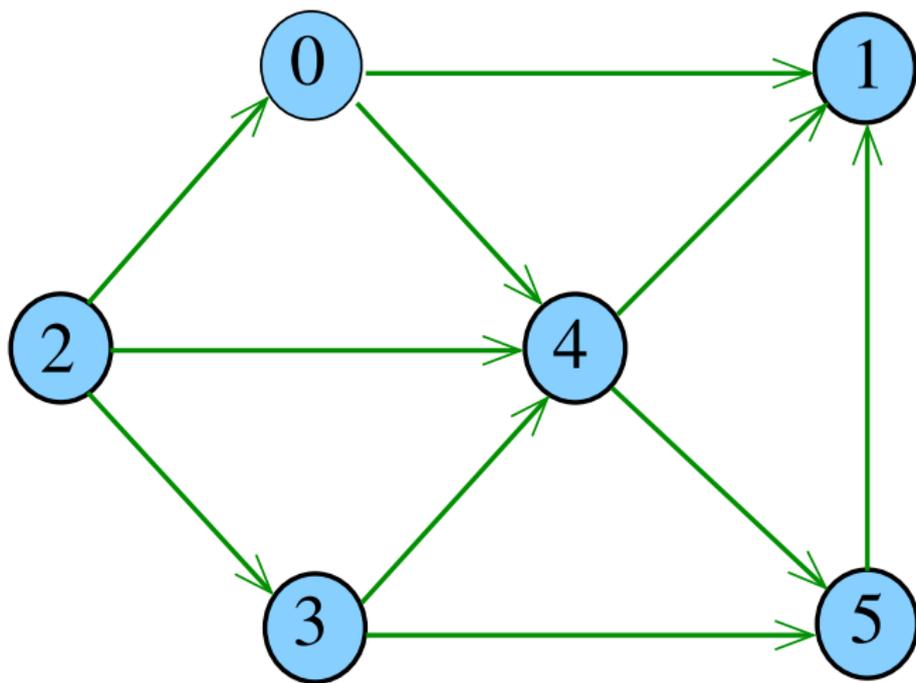
Cada arco é examinado **uma só vez**.

Depois de visitar sua ponta inicial o algoritmo percorre o arco e visita sua ponta final.

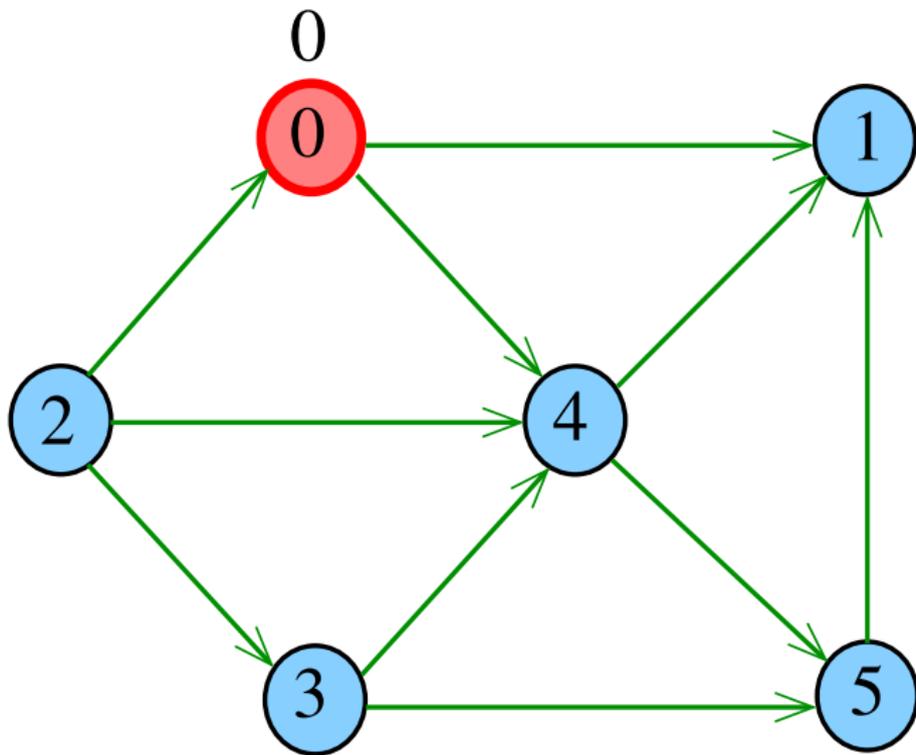
DIGRAPHdfs(G)



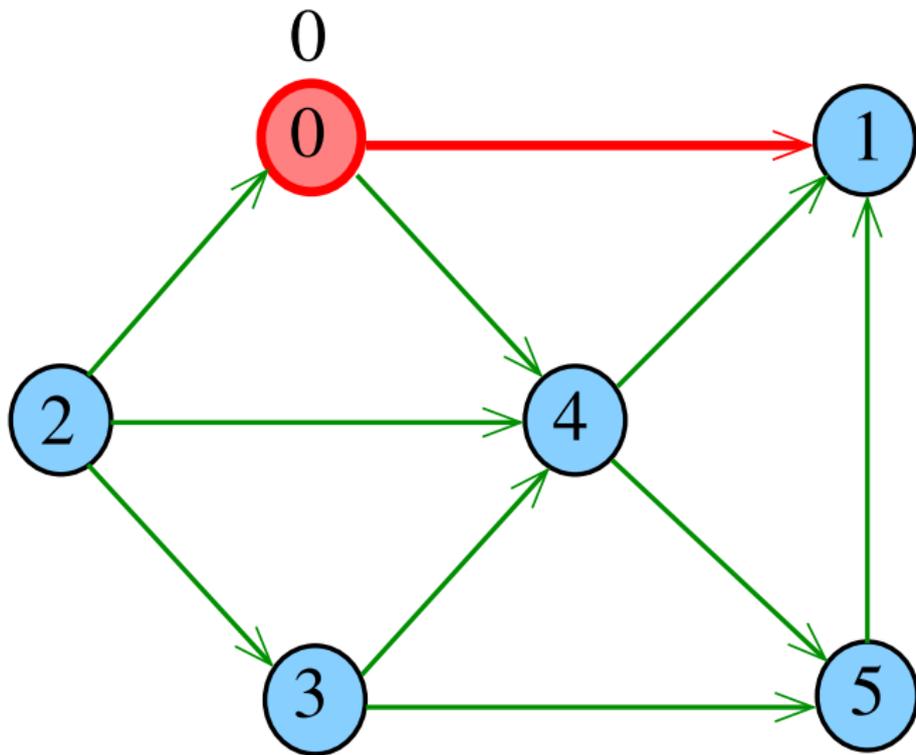
DIGRAPHdfs(G)



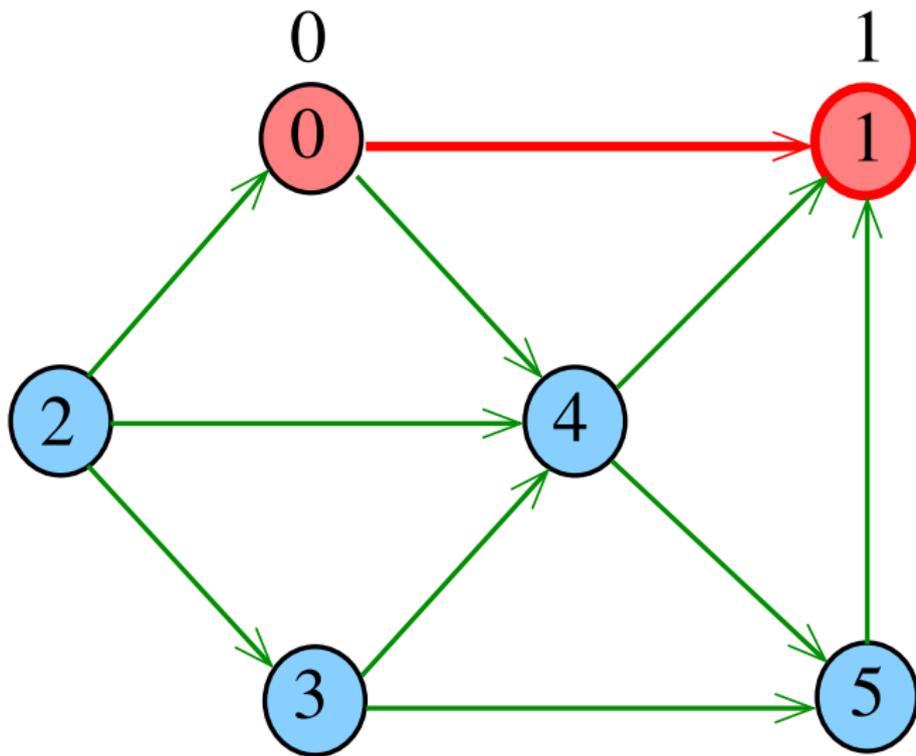
dfsR(G,0)



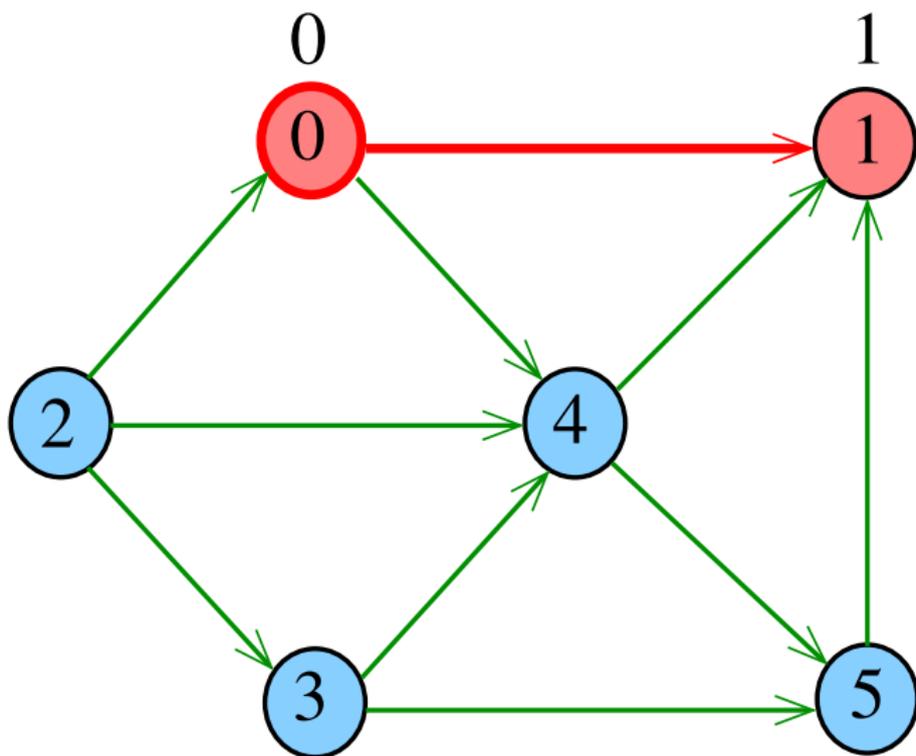
dfsR(G,0)



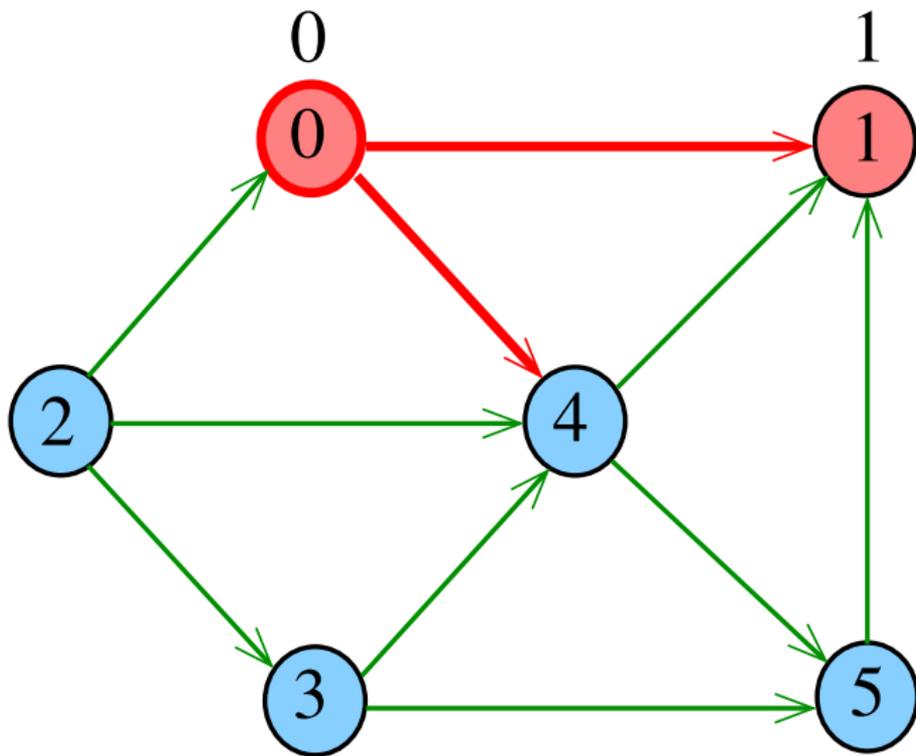
dfsR(G,1)



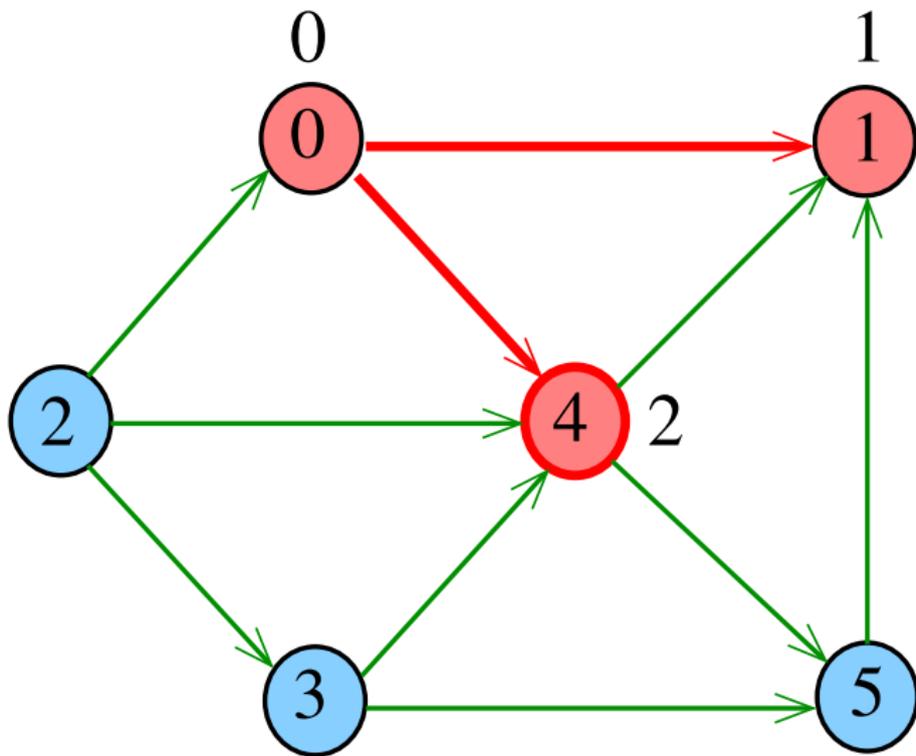
dfsR(G,0)



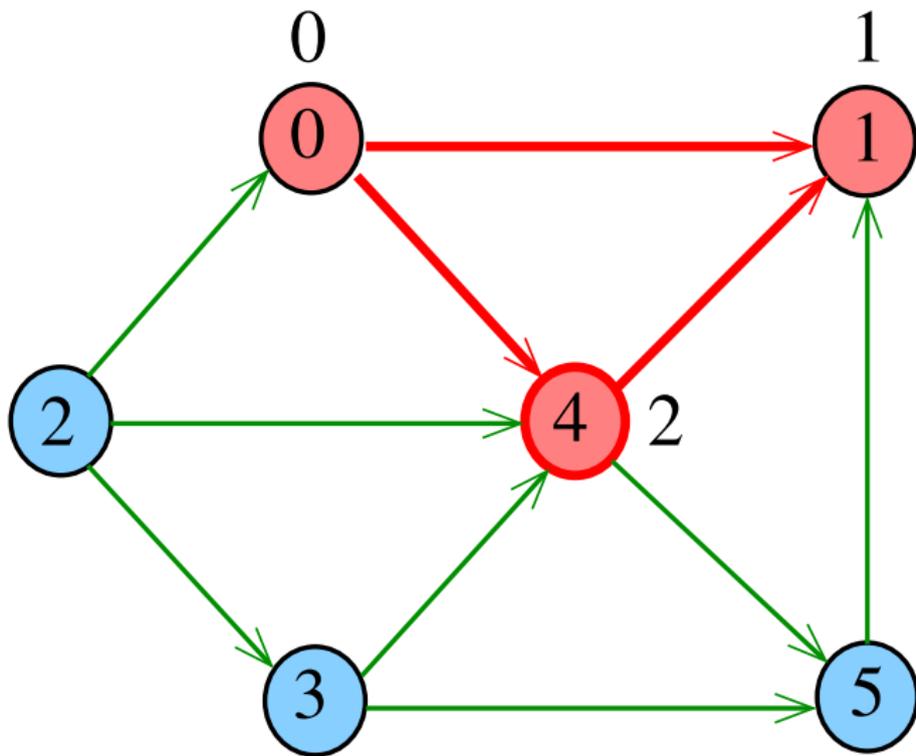
dfsR(G,0)



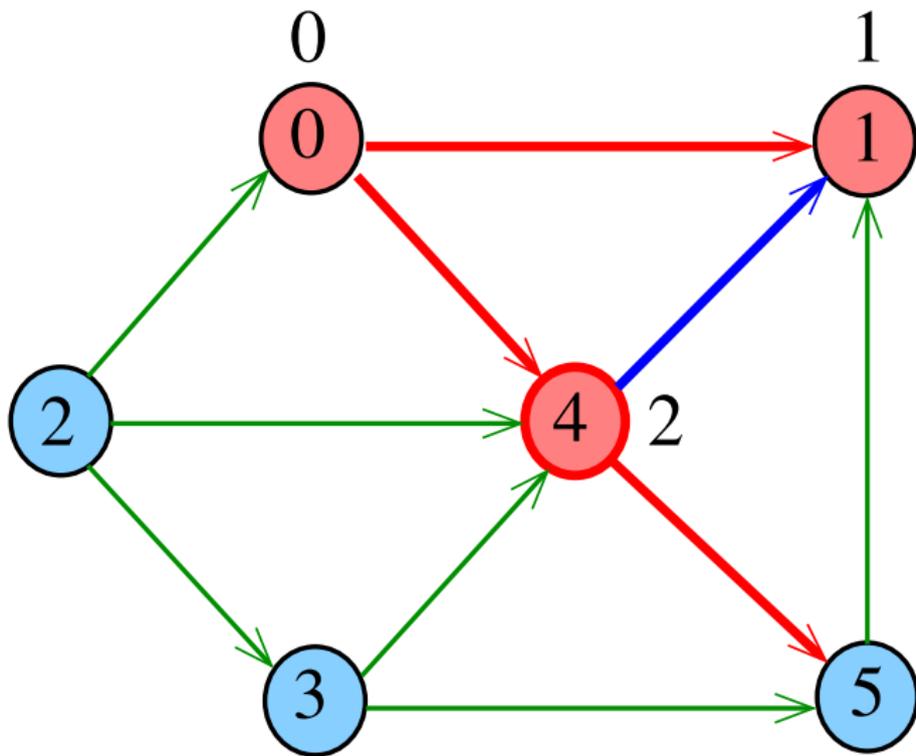
dfsR(G,4)



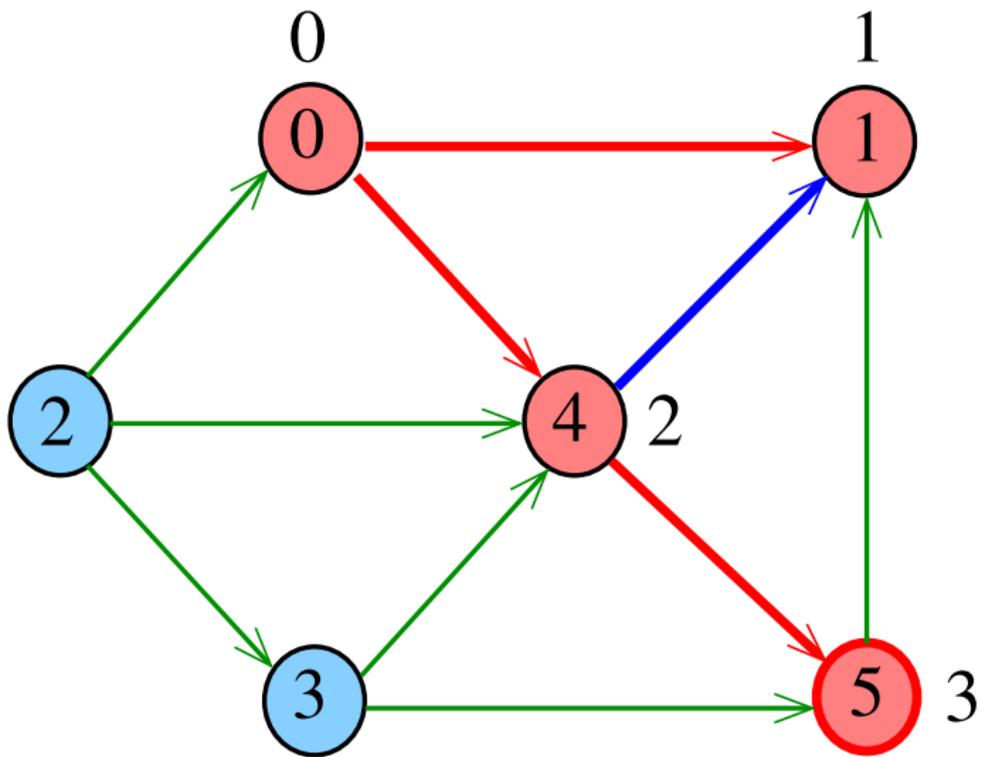
dfsR(G,4)



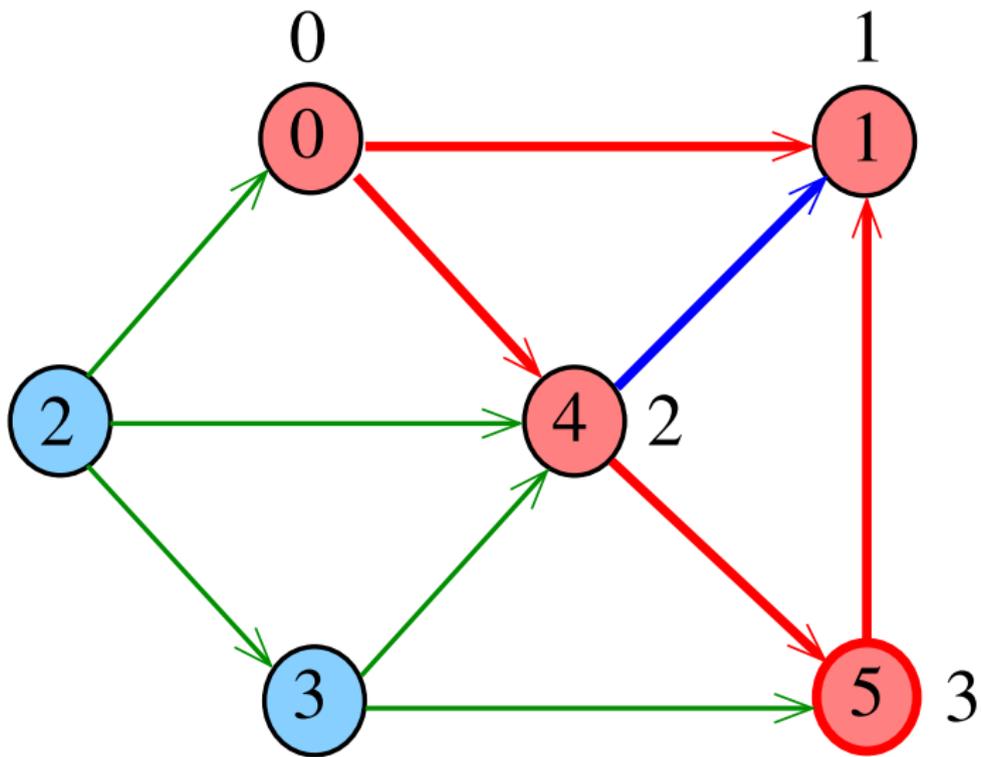
dfsR(G,4)



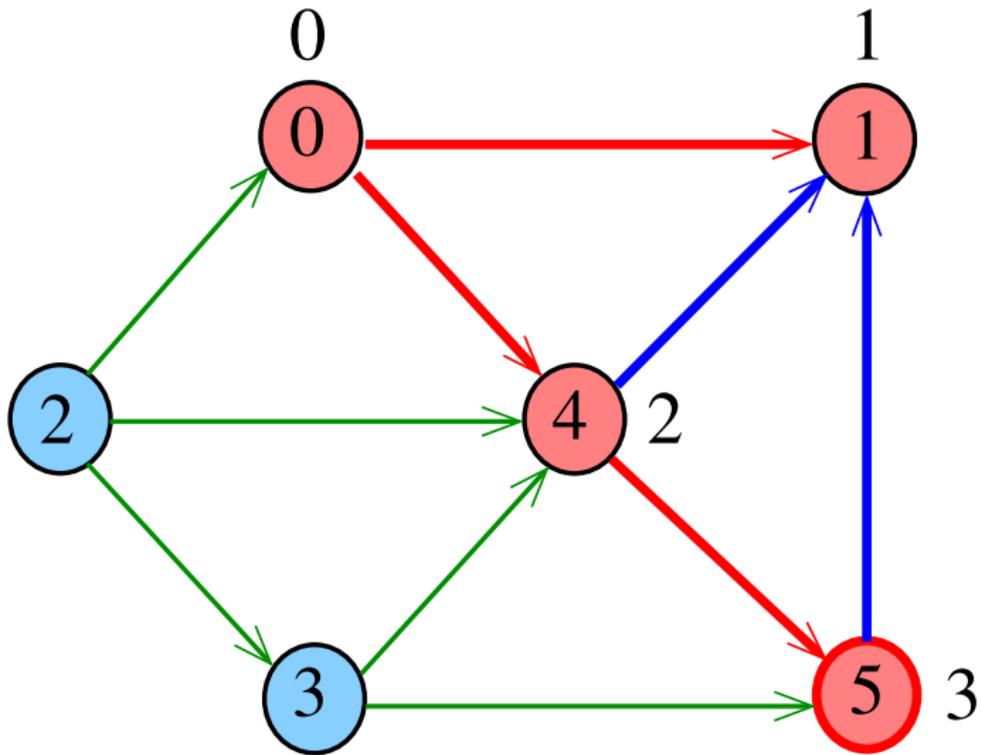
dfsR(G,5)



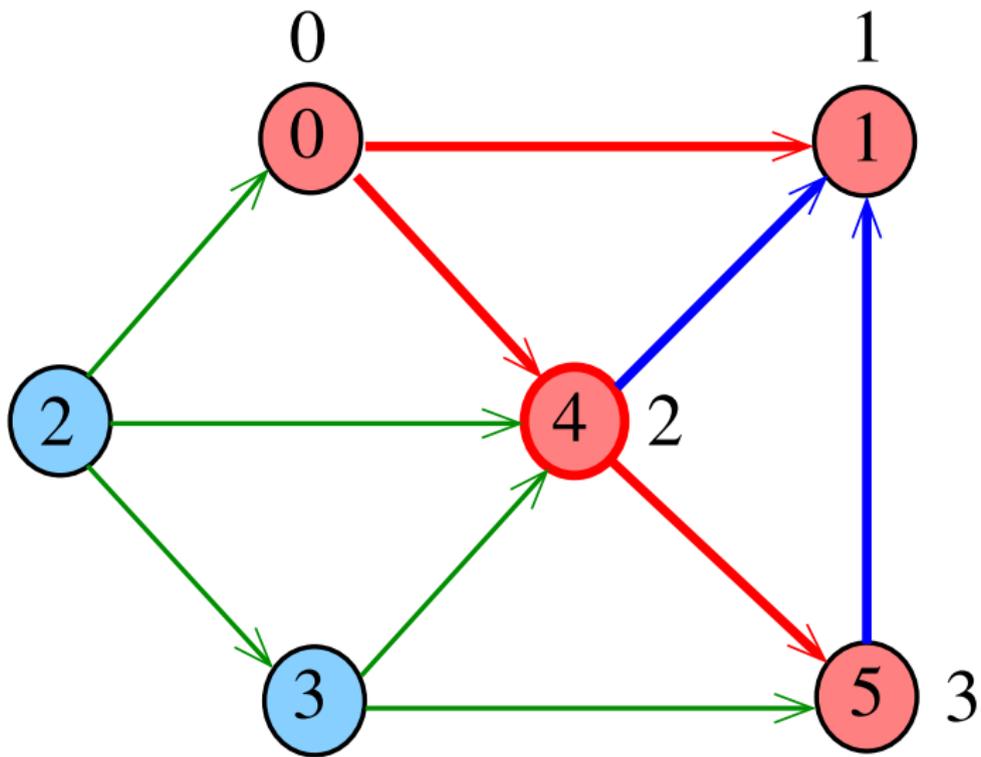
dfsR(G,5)



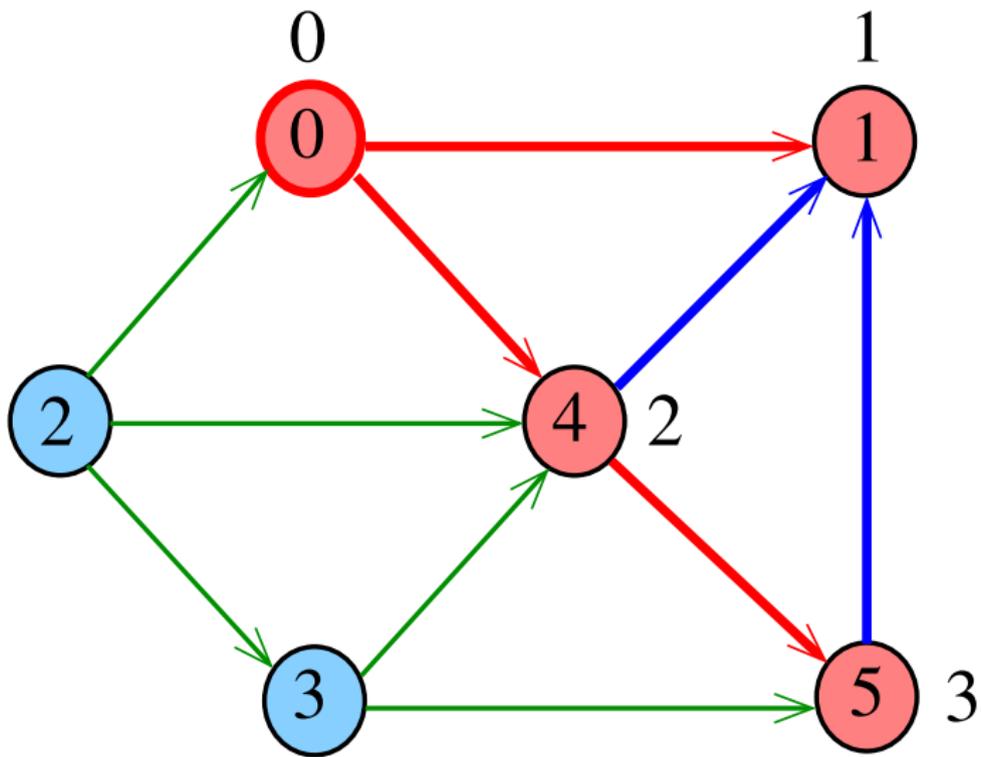
dfsR(G,5)



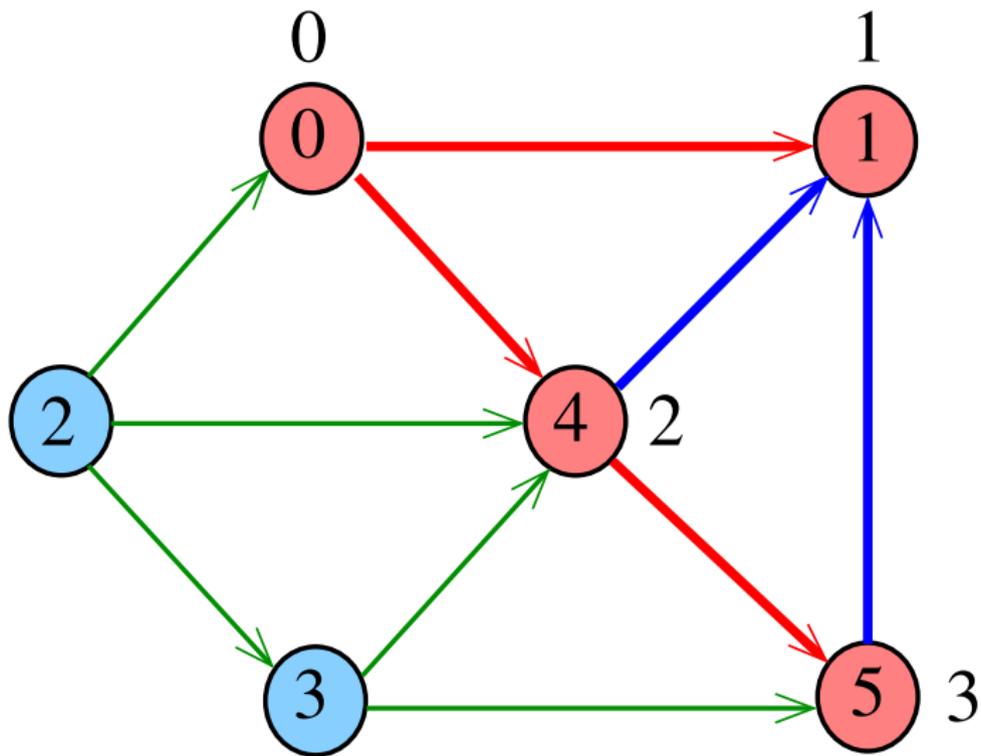
dfsR(G,4)



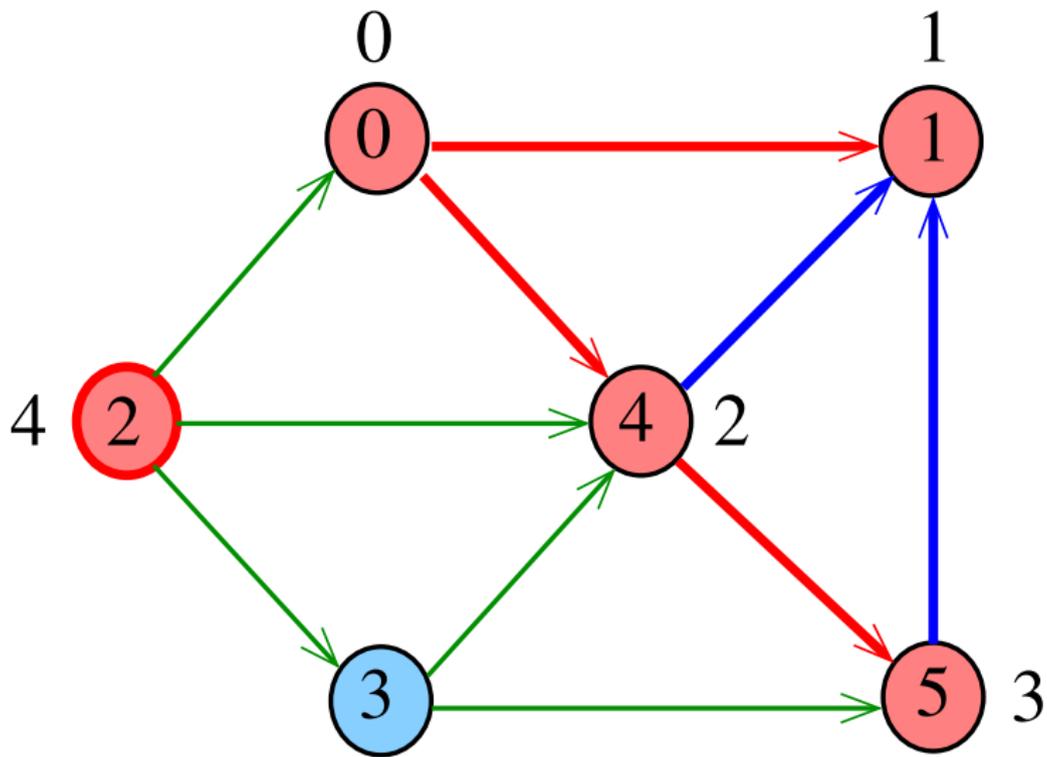
dfsR(G,0)



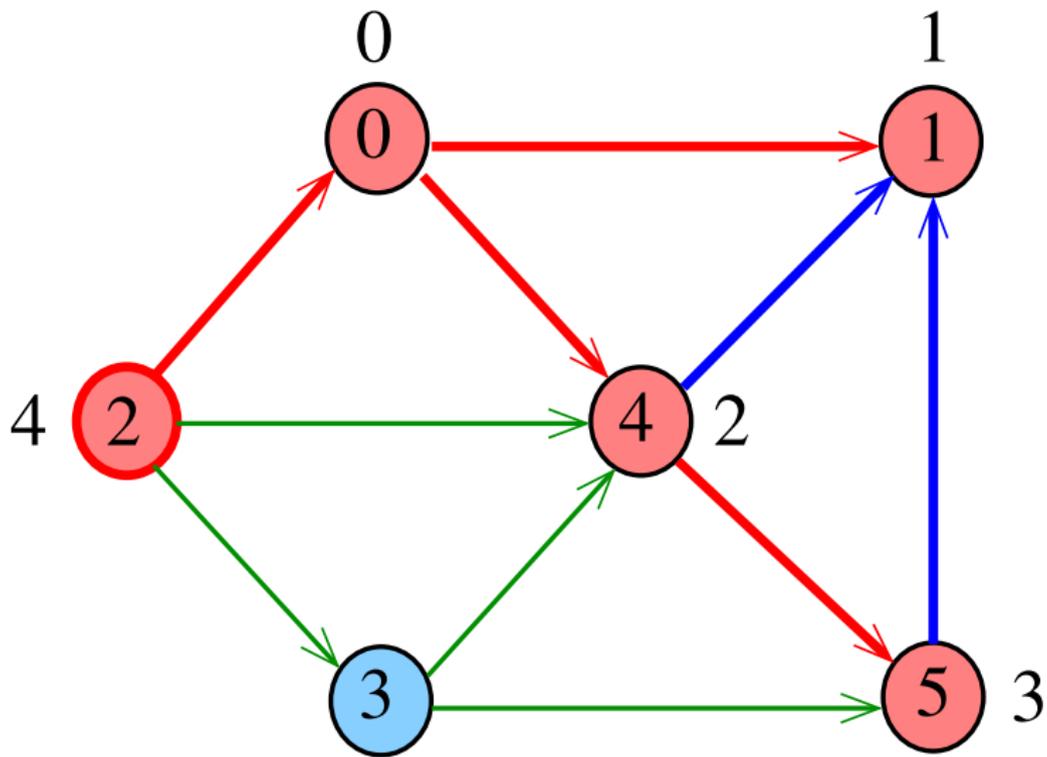
DIGRAPHdfs(G)



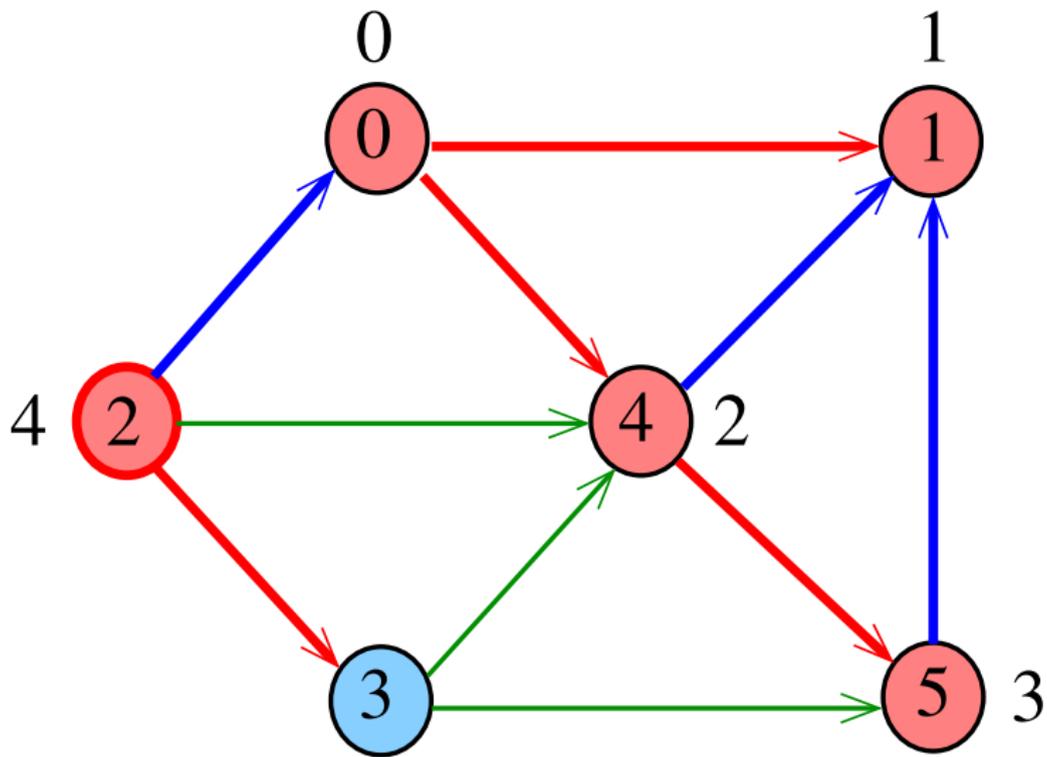
dfsR(G,2)



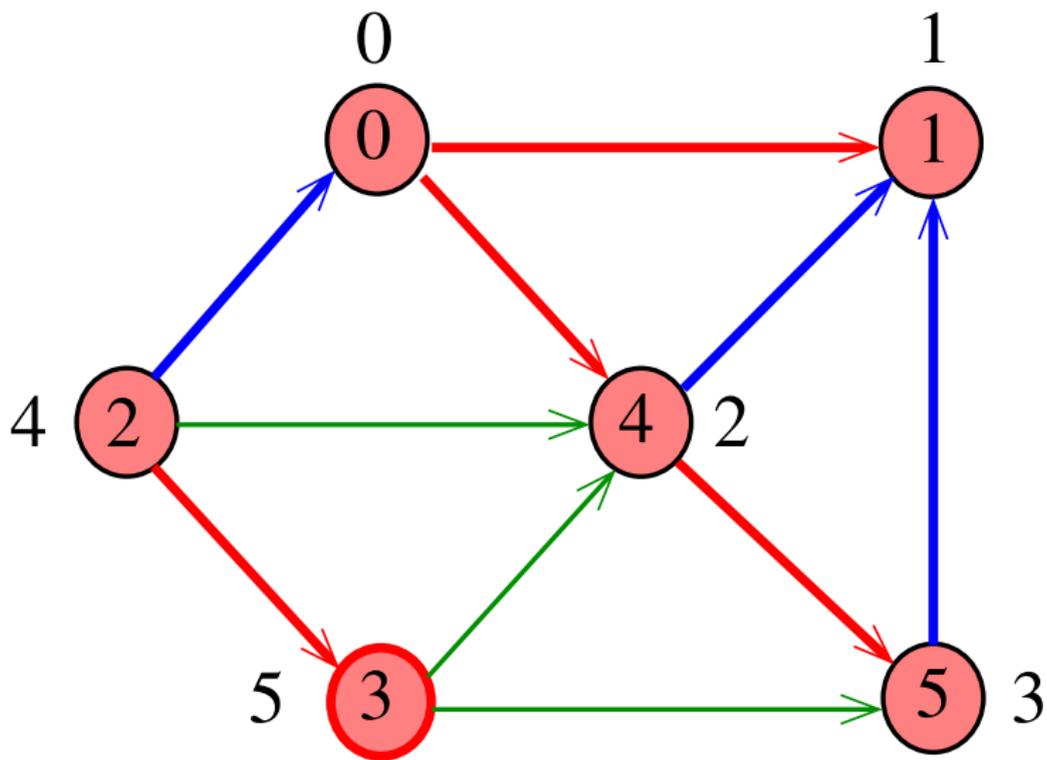
dfsR(G,2)



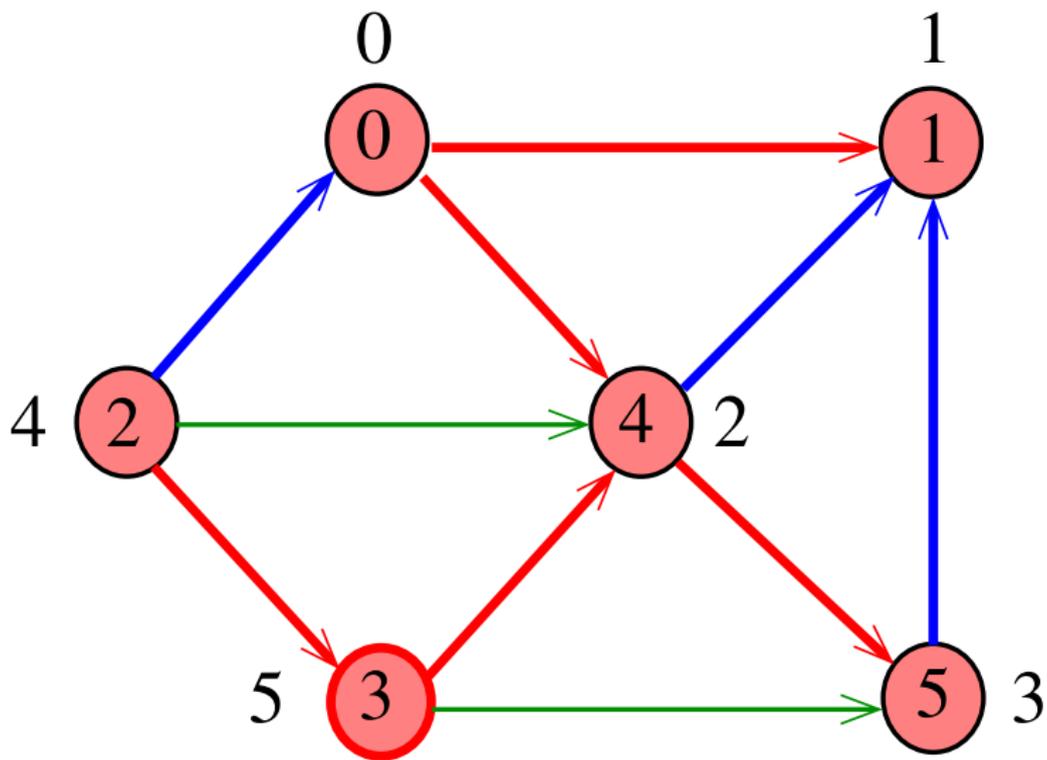
dfsR(G,2)



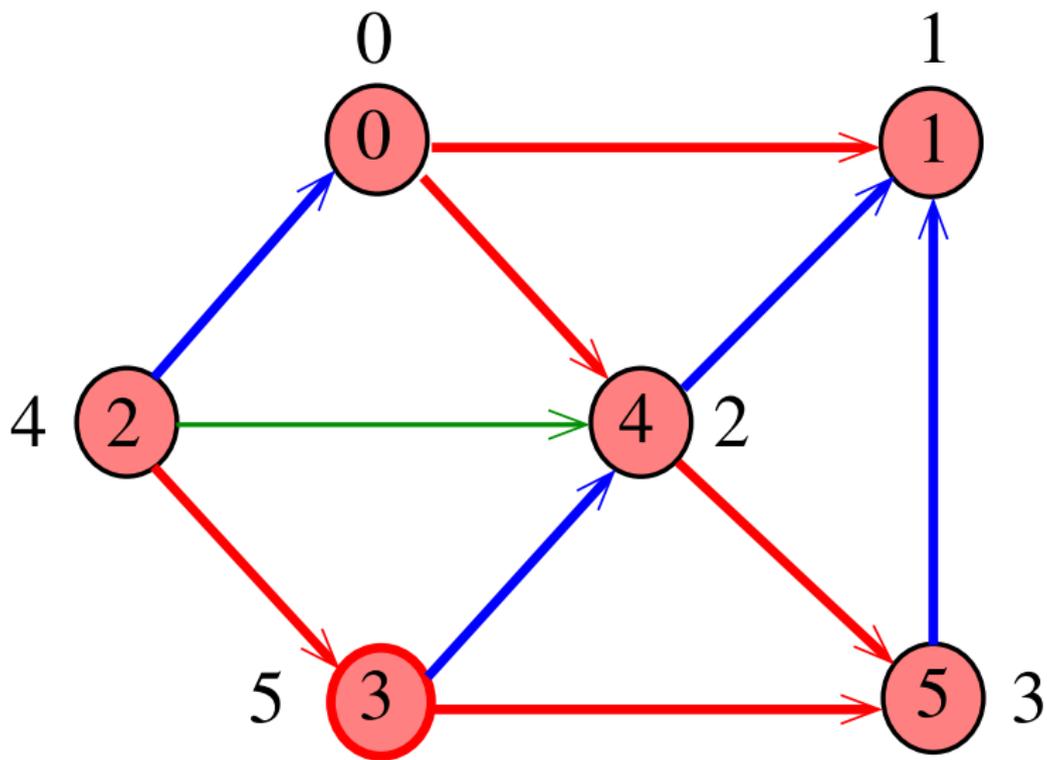
dfsR(G,3)



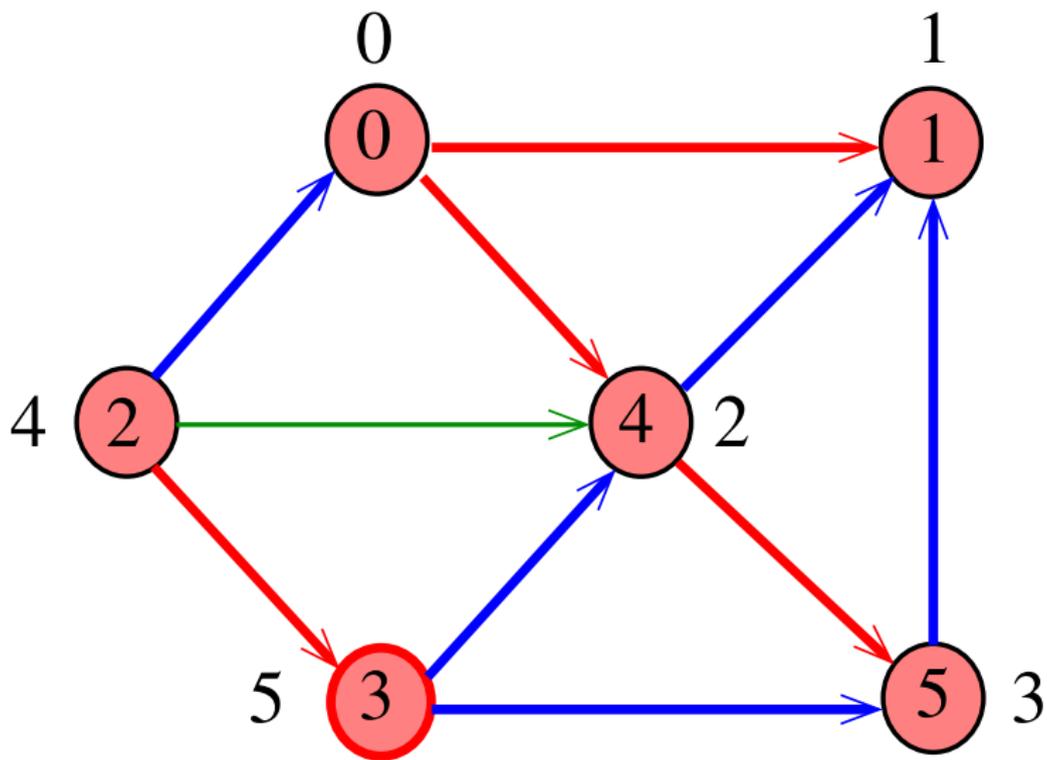
dfsR(G,3)



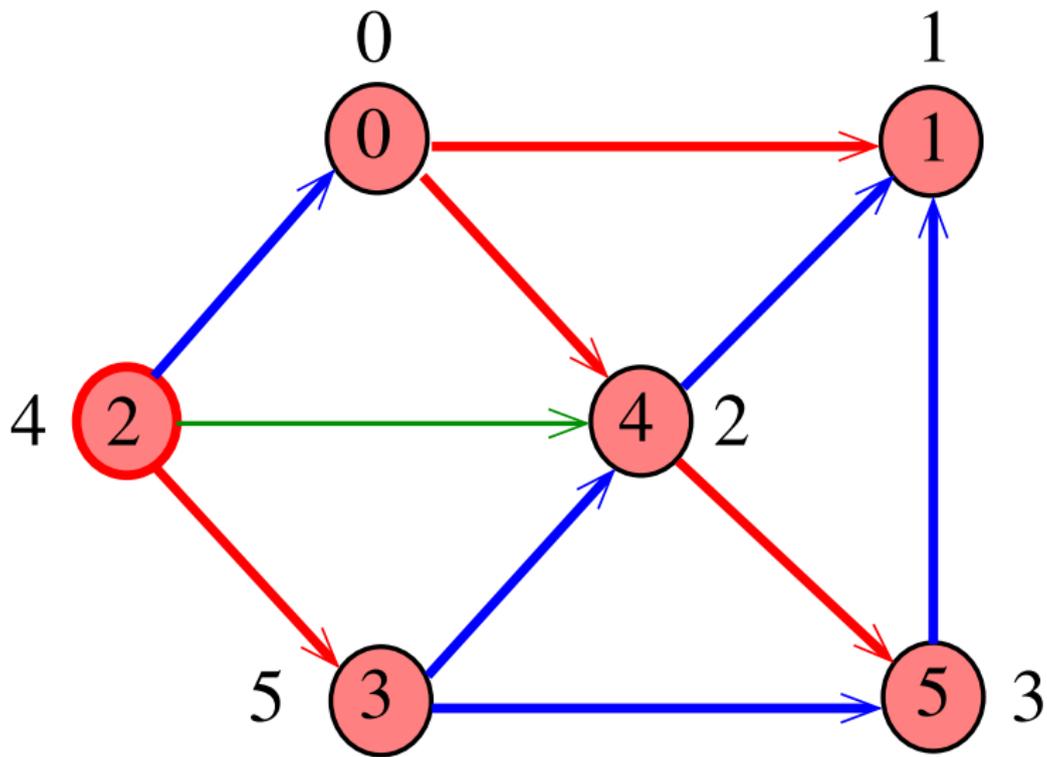
dfsR(G,3)



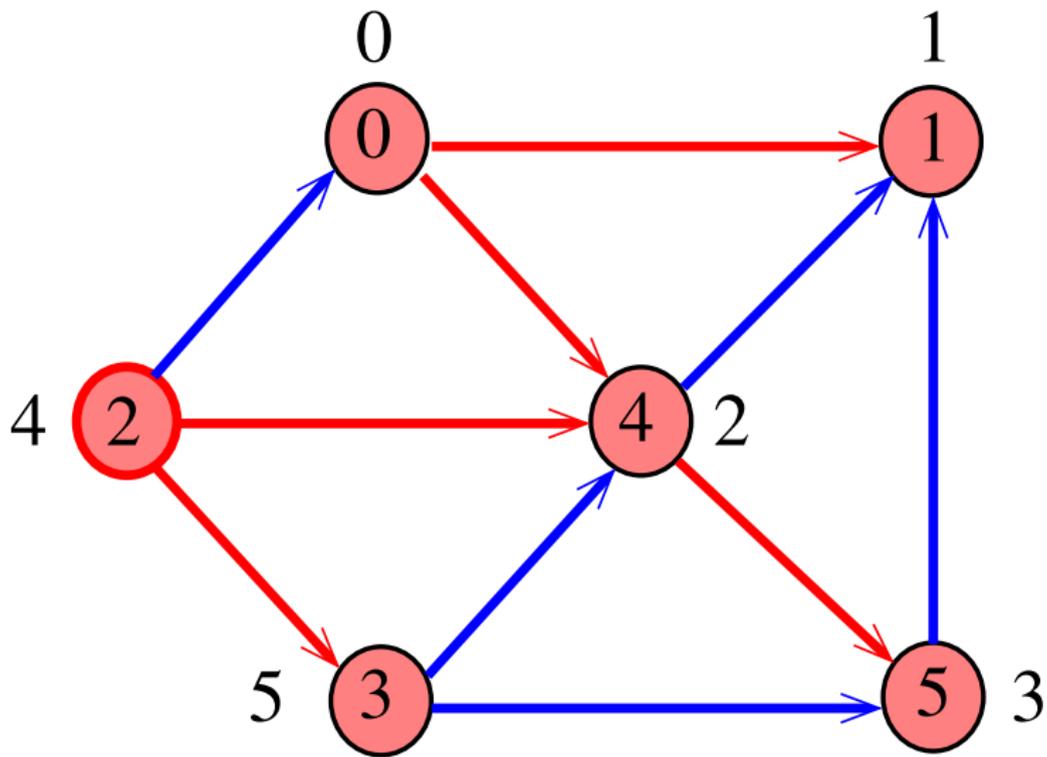
dfsR(G,3)



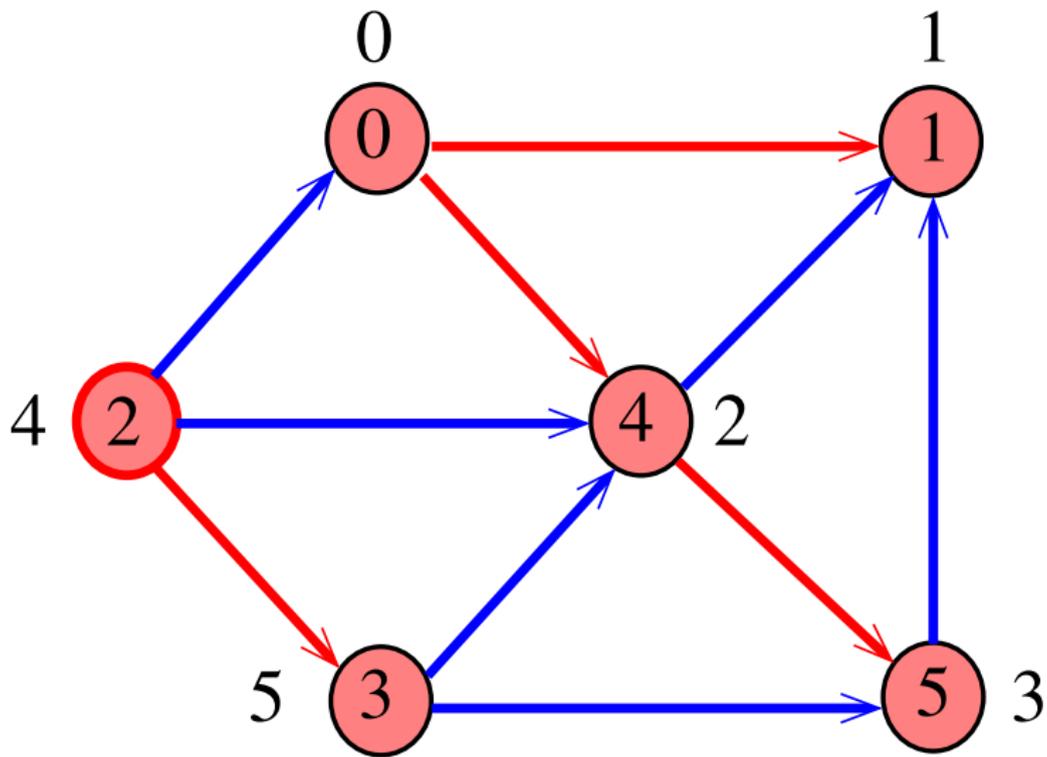
dfsR(G,2)



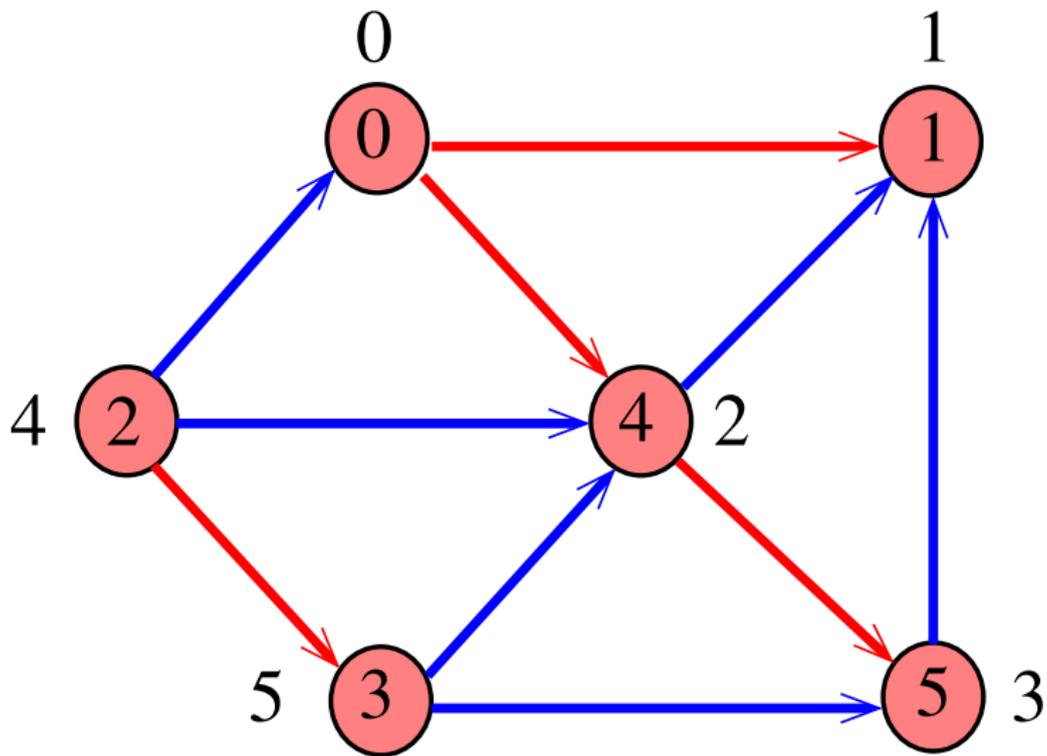
dfsR(G,2)



dfsR(G,2)



DIGRAPHdfs(G)



DIGRAPHdfs

```
static int cnt, lbl[maxV];  
void DIGRAPHdfs (Digraph G) {  
    Vertex v;  
1   cnt = 0;  
2   for (v = 0; v < G->V; v++)  
3       lbl[v] = -1;  
4   for (v = 0; v < G->V; v++)  
5       if (lbl[v] == -1)  
6           dfsR(G, v);  
}
```

dfsR

dfsR supõe que o digrafo G é representado por uma matriz de adjacência

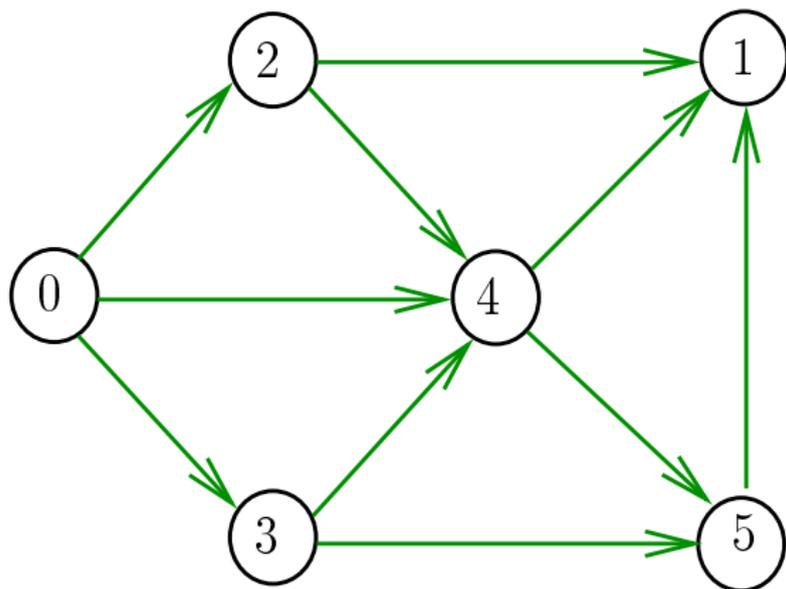
```
void dfsR (DigraphG, Vertex v) {  
    Vertex w;  
    1  lbl[v] = cnt++;  
    2  for (w = 0; w < G->V; w++)  
    3      if (G->adj[v][w] != 0)  
    4          if (lbl[w] == -1)  
    5              dfsR(G, w);  
}
```

dfsR

`dfsR` supõe que o digrafo `G` é representado por listas de adjacência

```
void dfsR (Digraph G, Vertex v) {  
    link p;  
1   lbl[v] = cnt++;  
2   for (p = G->adj[v]; p != NULL; p = p->next)  
3       if (lbl[p->w] == -1)  
4           dfsR(G, p->w);  
}
```

DIGRAPHdfs(G)



dfsR(G, 0)

0-2 dfsR(G, 2)

2-1 dfsR(G, 1)

2-4 dfsR(G, 4)

4-1

4-5 dfsR(G, 5)

5-1

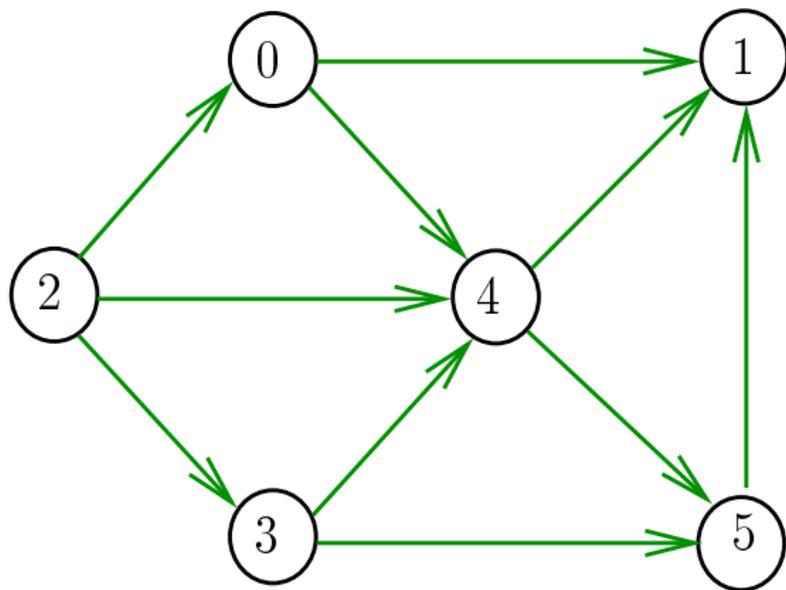
0-3 dfsR(G, 3)

3-4

3-5

0-4

DIGRAPHdfs(G)



```
dfsR(G, 0)
  0-1 dfsR(G, 1)
    0-4 dfsR(G, 4)
      4-1
      4-5 dfsR(G, 5)
        5-1
dfsR(G, 2)
  2-0
  2-3 dfsR(G, 3)
    3-4
    3-5
  2-4
```

Consumo de tempo

O consumo de tempo da função `DIGRAPHdfs` para **vetor de listas de adjacência** é $\Theta(V + A)$.

O consumo de tempo da função `DIGRAPHdfs` para **matriz de adjacência** é $\Theta(V^2)$.

Busca DFS (CLRS)

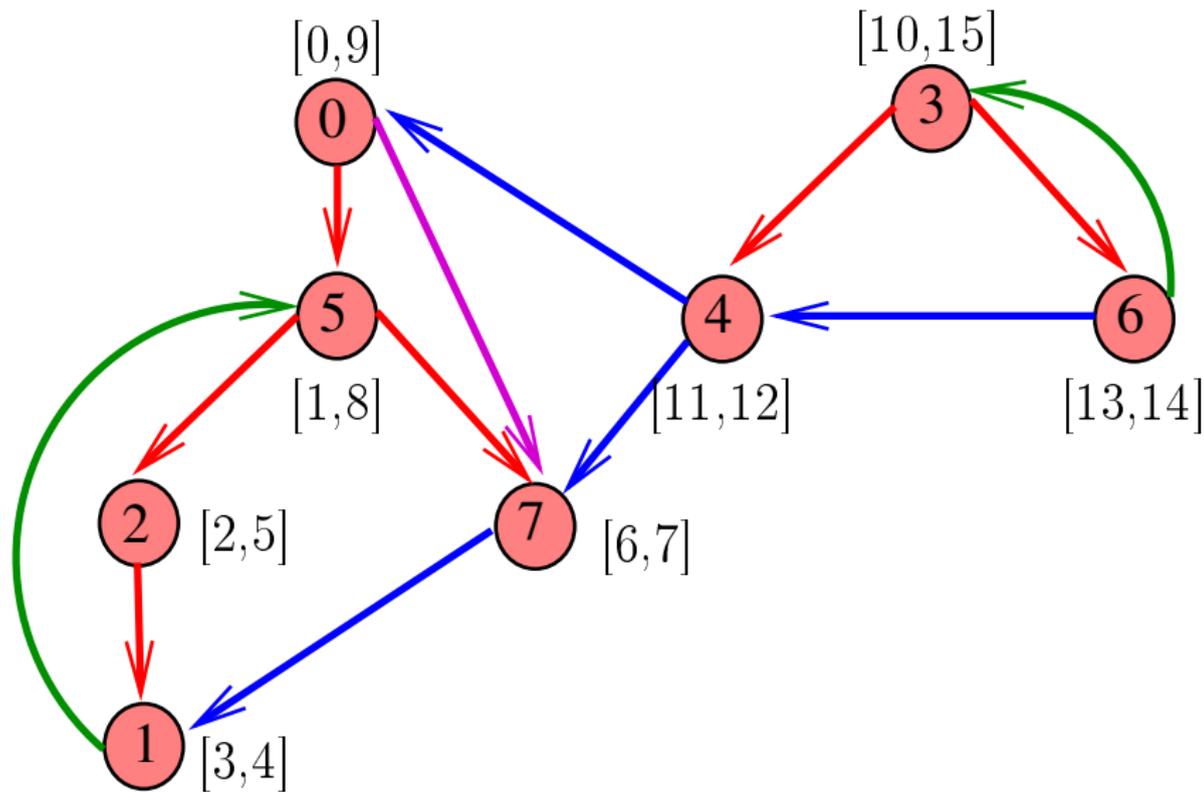
Vamos supor que nossos digrafos têm no máximo `maxV` vértices

```
#define maxV 10000
static int time, parnt[maxV], d[maxV],
f[maxV];
```

`DIGRAPHdfs` visita todos os vértices e arcos do digrafo `G`.

A função registra em `d[v]` o 'momento' em que `v` foi descoberto e em `f[v]` o momento em que ele foi completamente examinado

Busca DFS (CLRS)



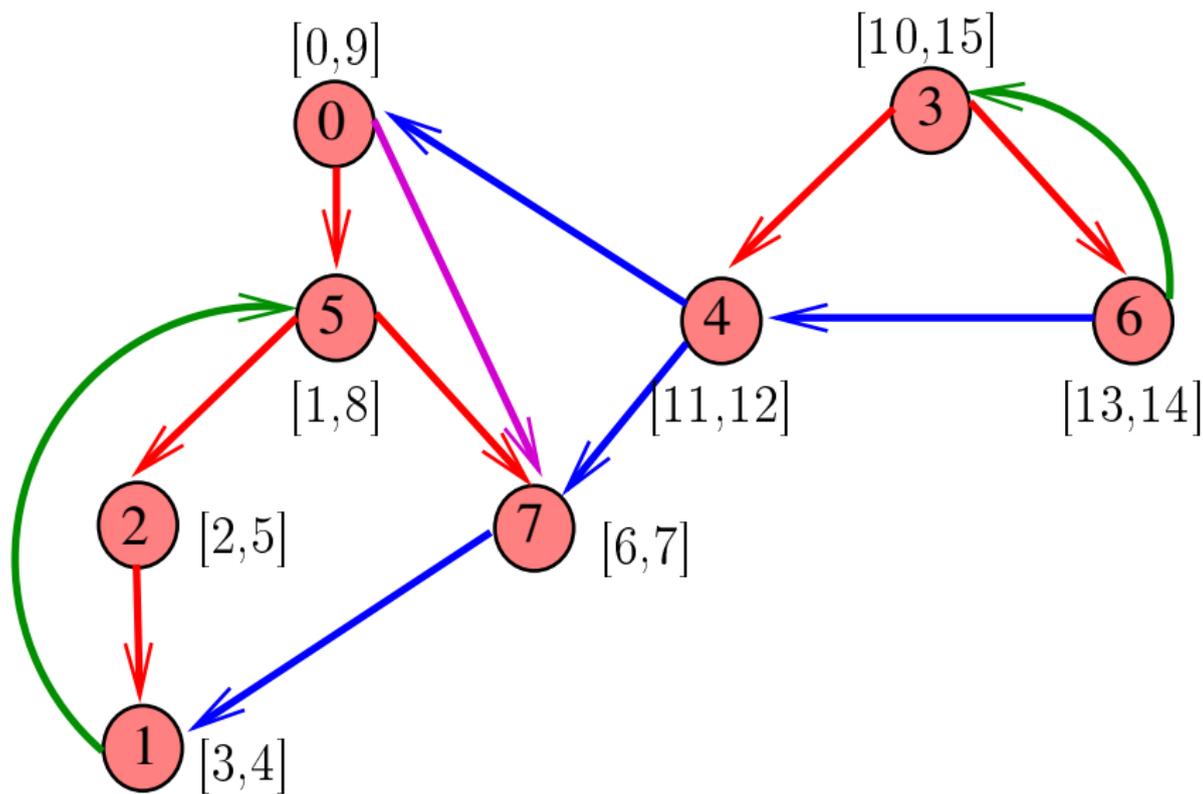
DIGRAPHdfs

```
void DIGRAPHdfs (Digraph G) {  
    Vertex v;  
1   time = 0;  
2   for (v = 0; v < G->V; v++)  
3       d[v] = f[v] = parnt[v] = -1;  
4   for (v= 0; v < G->V; v++)  
5       if (d[v] == -1)  
6           dfsR(G, v);  
}
```

dfsR

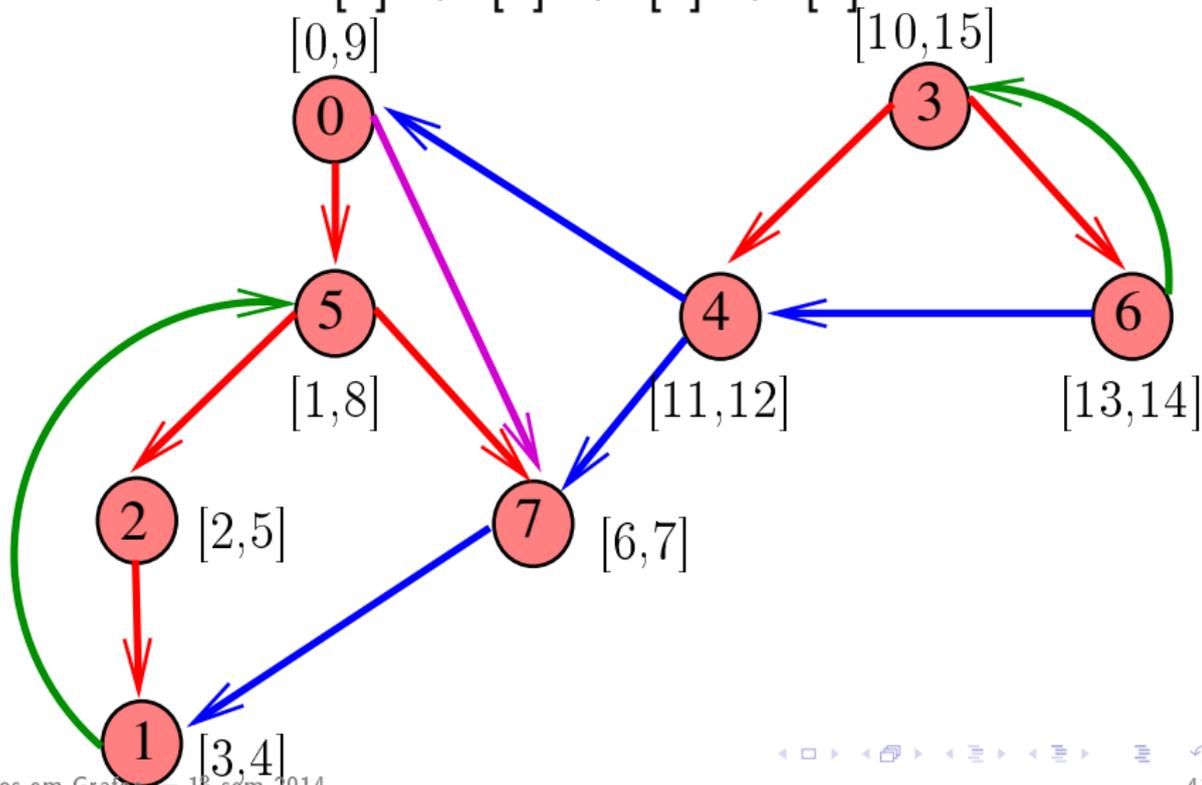
```
void dfsR (Digraph G, Vertex v) {  
    link p;  
1   d[v] = time++;  
2   for (p = G->adj[v]; p; p= p->next)  
3       if (d[p->w] == -1) {  
4           parnt[p->w] = v;  
5           dfsR(G, p->w);  
6       }  
7   f[v] = time++;  
}
```

Classificação dos arcos



Arcos de arborescência ou descendentes

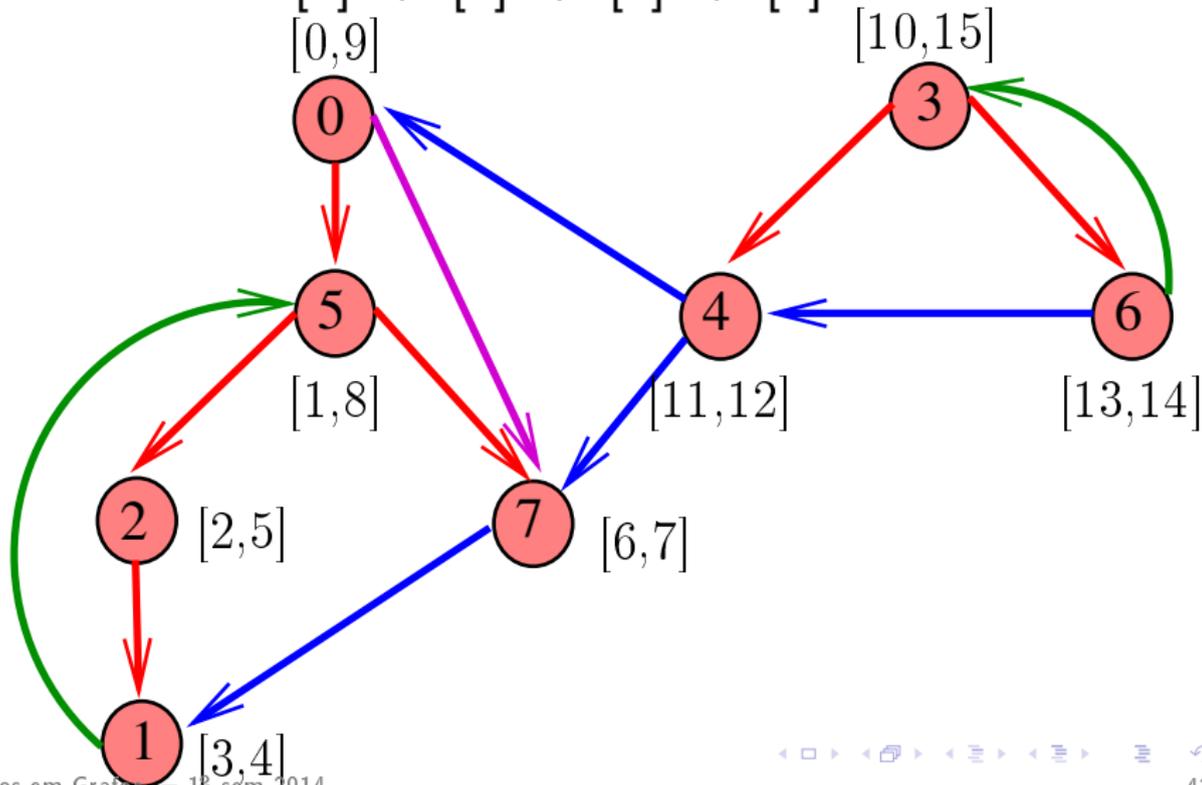
$v-w$ é **arco de arborescência** ou **descendente** se e somente se $d[v] < d[w] < f[w] < f[v]$



Arcos de retorno

$v-w$ é **arco de retorno** se e somente se

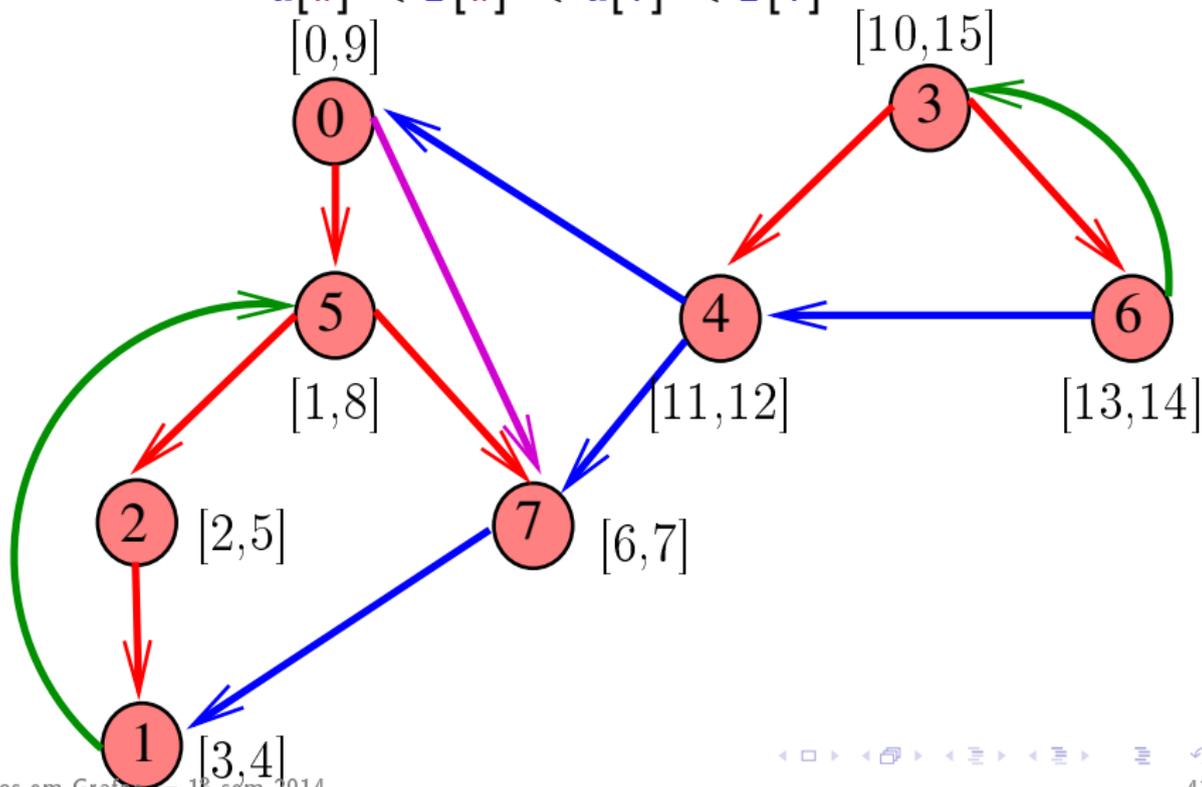
$$d[w] < d[v] < f[v] < f[w]$$



Arcos cruzados

$v-w$ é arco **cruzado** se e somente se

$$d[w] < f[w] < d[v] < f[v]$$



Conclusões

$v-w$ é:

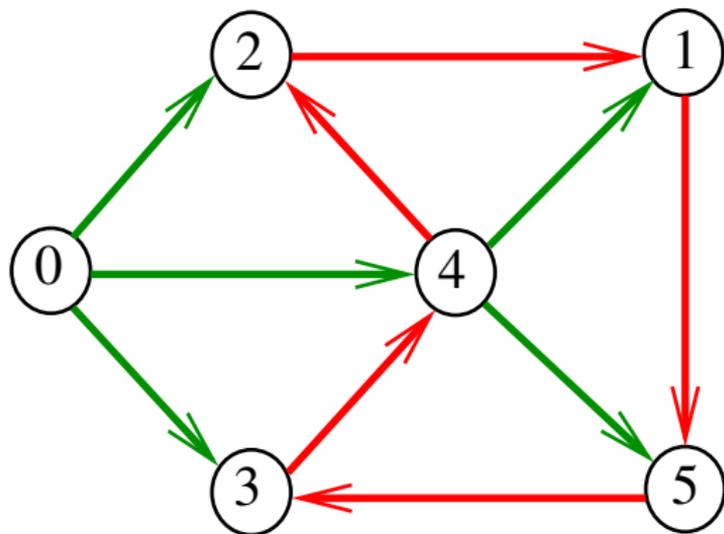
- **arco de arborescência** se e somente se $d[v] < d[w] < f[w] < f[v]$ e $\text{parnt}[w] = v$;
- **arco descendente** se e somente se $d[v] < d[w] < f[w] < f[v]$ e $\text{parnt}[w] \neq v$;
- **arco de retorno** se e somente se $d[w] < d[v] < f[v] < f[w]$;
- **arco cruzado** se e somente se $d[w] < f[w] < d[v] < f[v]$;

Ciclos em digrafos

Ciclos

Um **ciclo** num digrafo é qualquer seqüência da forma $v_0-v_1-v_2-\dots-v_{k-1}-v_p$, onde $v_{k-1}-v_k$ é um arco para $k = 1, \dots, p$ e $v_0 = v_p$.

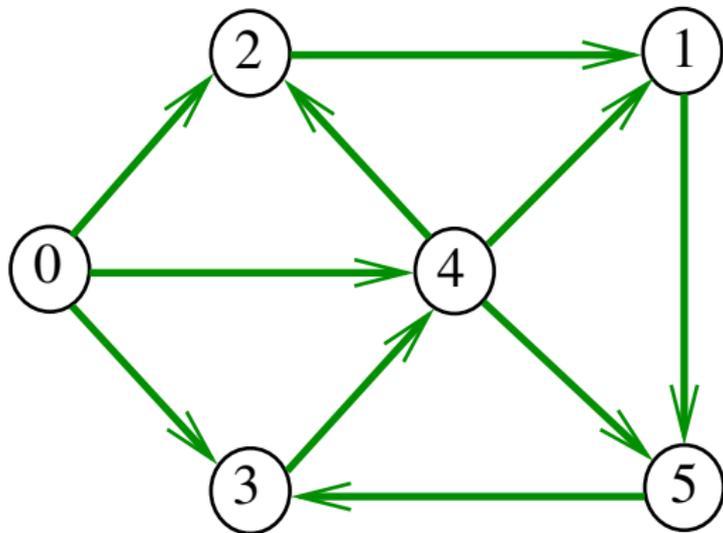
Exemplo: 2-1-5-3-4-2 é um ciclo



Procurando um ciclo

Problema: decidir se dado digrafo G possui um ciclo

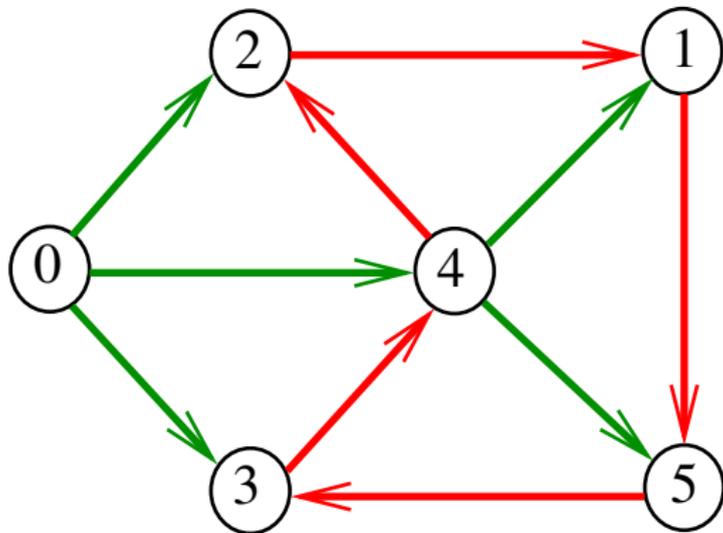
Exemplo: para o grafo a seguir a resposta é **SIM**



Procurando um ciclo

Problema: decidir se dado digrafo G possui um ciclo

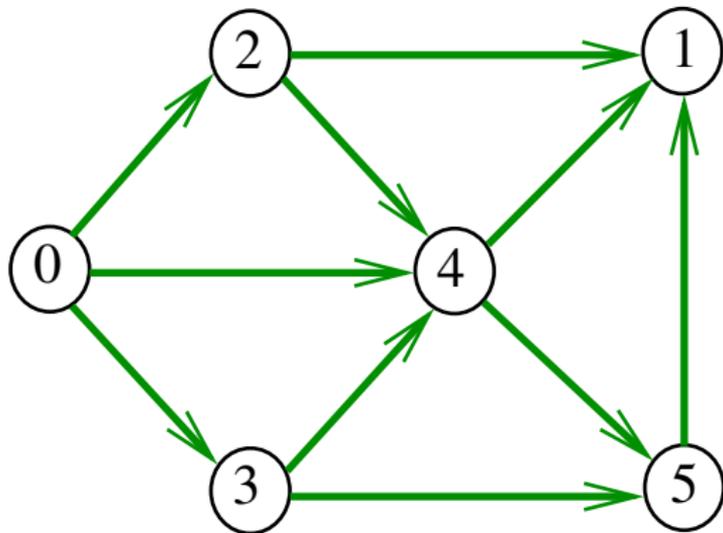
Exemplo: para o grafo a seguir a resposta é **SIM**



Procurando um ciclo

Problema: decidir se dado digrafo G possui um ciclo

Exemplo: para o grafo a seguir a resposta é **NÃO**



DIGRAPHcycle1

Recebe um digrafo G e devolve **1** se existe um ciclo em G e devolve **0** em caso contrário
Supõe que o digrafo tem no máximo maxV vértices.

```
int DIGRAPHcycle1 (Digraph G);
```

Primeiro algoritmo

```
int DIGRAPHcycle1 (Digraph G) {  
    Vertex v;  
    link p;  
1   for (v = 0; v < G->V; v++)  
2       for (p=G->adj[v]; p ; p=p->next)  
3           if (DIGRAPHpath(G, p->w, v))  
4               return 1;  
5   return 0;  
}
```

Consumo de tempo

O consumo de tempo da função `DIGRAPHcycle1` é A vezes o consumo de tempo da função `DIGRAPHpath`.

O consumo de tempo da função `DIGRAPHcycle1` para **vetor de listas de adjacência** é $O(A(V + A))$.

O consumo de tempo da função `DIGRAPHcycle1` para **matriz de adjacência** é $O(AV^2)$.

DIGRAPHcycle

Vamos supor que nossos digrafos têm no máximo `maxV` vértices

Exercício: Mantendo a ideia de um vetor de listas, modificar o código para permitir um número ilimitado de vértices (dentro da disponibilidade da memória)

```
#define maxV 10000
static int time, d[maxV], f[maxV];
static Vertex parnt[maxV];
```

DIGRAPHcycle

Vamos supor que nossos digrafos têm no máximo `maxV` vértices

Exercício: Mantendo a ideia de um vetor de listas, modificar o código para permitir um número ilimitado de vértices (dentro da disponibilidade da memória)

```
#define maxV 10000
static int time, d[maxV], f[maxV];
static Vertex parnt[maxV];
```

DIGRAPHcycle

Vamos supor que nossos digrafos têm no máximo `maxV` vértices

Exercício: Mantendo a ideia de um vetor de listas, modificar o código para permitir um número ilimitado de vértices (dentro da disponibilidade da memória)

```
#define maxV 10000  
static int time, d[maxV], f[maxV];  
static Vertex parnt[maxV];
```

DIGRAPHcycle

Recebe um digrafo **G** e devolve **1** se existe um ciclo em **G** e devolve **0** em caso contrário

```
int DIGRAPHcycle (Digraph G);
```

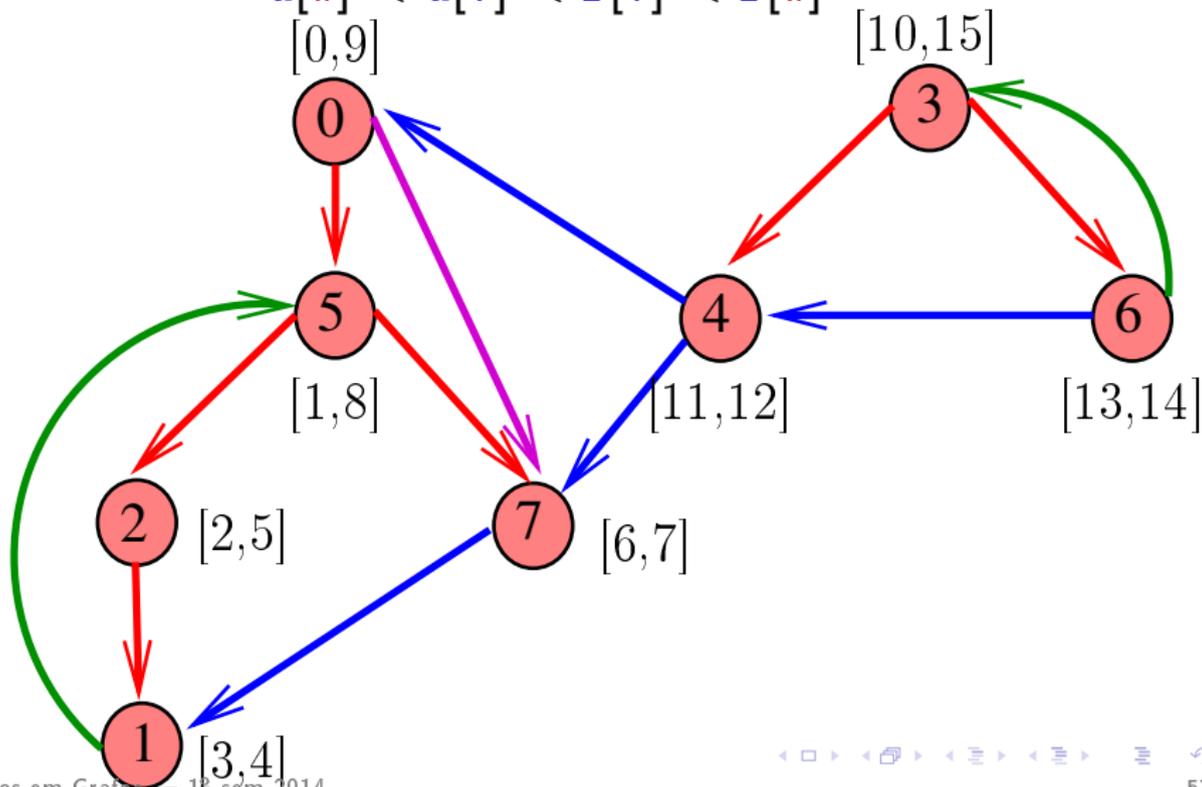
A função tem por base a seguinte observação: em relação a **qualquer** floresta de busca em profundidade,

todo** arco de **retorno** pertence a um ciclo e **todo** ciclo tem um arco de **retorno

Arcos de retorno

$v-w$ é **arco de retorno** se e somente se

$$d[w] < d[v] < f[v] < f[w]$$



DIGRAPHcycle

```
int DIGRAPHcycle (Digraph G) {  
    Vertex v;  
1   time = 0;  
2   for (v = 0; v < G->V; v++)  
3       d[v] = f[v] = parnt[v] = -1;  
4   for (v = 0; v < G->V; v++)  
5       if (d[v] == -1) {  
6           parnt[v] = v;  
7           if (cycleR(G, v) == 1) return 1;  
        }  
8   return 0;  
}
```

dfsR

```
void dfsR (Digraph G, Vertex v) {  
    link p;  
1   d[v] = time++;  
2   for (p = G->adj[v]; p; p= p->next)  
3       if (d[p->w] == -1) {  
4           parnt[p->w] = v;  
5           dfsR(G, p->w);  
        }  
6  
7   f[v] = time++;  
8  
}
```

cycleR

```
int cycleR (Digraph G, Vertex v) {
    link p;
1   d[v] = time++;
2   for (p = G->adj[v]; p; p= p->next) {
3       if (d[p->w] == -1) { /* arborescência */
4           parnt[p->w] = v;
5           if (cycleR(G,p->w)) return 1;
6       } /* else: arco de retorno */
7       else if (f[p->w] == -1) return 1;
8   f[v] = time++;
9   return 0;
10 }
```

Consumo de tempo

O consumo de tempo da função `DIGRAPHcycle` para **vetor de listas de adjacência** é $O(V + A)$.

O consumo de tempo da função `DIGRAPHcycle` para **matriz de adjacência** é $O(V^2)$.

Certificados

Como é possível **verificar** a resposta?

Melhorando a resposta:

devolve o arco de retorno, em vez de 1

Como é possível **verificar** que **existe** ciclo?

Usando arco de retorno e parnt

Como é possível **verificar** que **não existe** ciclo?

Próxima aula!

Certificados

Como é possível **verificar** a resposta?

Melhorando a resposta:

devolve o arco de retorno, em vez de 1

Como é possível **verificar** que **existe** ciclo?

Usando arco de retorno e parnt

Como é possível **verificar** que **não existe** ciclo?

Próxima aula!

Certificados

Como é possível **verificar** a resposta?

Melhorando a resposta:

devolve o arco de retorno, em vez de 1

Como é possível **verificar** que **existe** ciclo?

Usando arco de retorno e parnt

Como é possível **verificar** que **não existe** ciclo?

Próxima aula!

Certificados

Como é possível **verificar** a resposta?

Melhorando a resposta:

devolve o arco de retorno, em vez de 1

Como é possível **verificar** que **existe** ciclo?

Usando arco de retorno e parnt

Como é possível **verificar** que **não existe** ciclo?

Próxima aula!

Certificados

Como é possível **verificar** a resposta?

Melhorando a resposta:

devolve o arco de retorno, em vez de 1

Como é possível **verificar** que **existe** ciclo?

Usando arco de retorno e `parent`

Como é possível **verificar** que **não existe** ciclo?

Próxima aula!

Certificados

Como é possível **verificar** a resposta?

Melhorando a resposta:

devolve o arco de retorno, em vez de 1

Como é possível **verificar** que **existe** ciclo?

Usando arco de retorno e `parent`

Como é possível **verificar** que **não existe** ciclo?

Próxima aula!

Certificados

Como é possível **verificar** a resposta?

Melhorando a resposta:

devolve o arco de retorno, em vez de 1

Como é possível **verificar** que **existe** ciclo?

Usando arco de retorno e `parent`

Como é possível **verificar** que **não existe** ciclo?

Próxima aula!

Certificado de existência

Trecho de código que verifica se o arco $v-u$ junto com alguns arcos da floresta DFS formam um ciclo
Supõe que o grafo está representado através de matriz de adjacência

```
[...]  
if (G->adj[v][w] == 0)  
    return ERRO;  
if (st_caminho(G, w, v) == 0)  
    return ERRO;  
[...]
```