

# Complexidade de Algoritmos

Prof. Diego Buchinger  
diego.buchinger@outlook.com  
diego.buchinger@udesc.br

Prof. Cristiano Damiani Vasconcellos  
cristiano.vasconcellos@udesc.br

---

# Algoritmos de Grafos – Complexidade com múltiplas variáveis

---

Grafos possuem dois elementos principais:

- Vértices – Vertex (V)
- Arestas – Edges (E)

Grafos costumam ser representados de duas formas, que utilizam uma quantidade diferente de **espaço**:

- Matriz de Adjacência  $\Theta( V^2 )$
- Lista de Adjacência  $\Theta( V+E )$

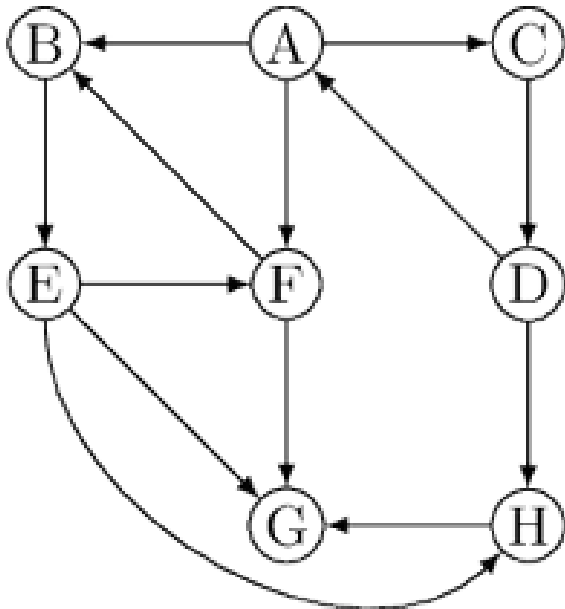
\*Este espaço de representação pode ou não ser considerado na análise de complexidade de espaço.

# Depth First-Search

(*Busca em Profundidade*)

---

O **algoritmo de Busca em Profundidade** realiza uma busca ou travessia em um grafo. É utilizado para verificar quais vértices são acessíveis iniciando um caminho a partir de um vértice específico



Quais vértices são acessíveis partindo de A?

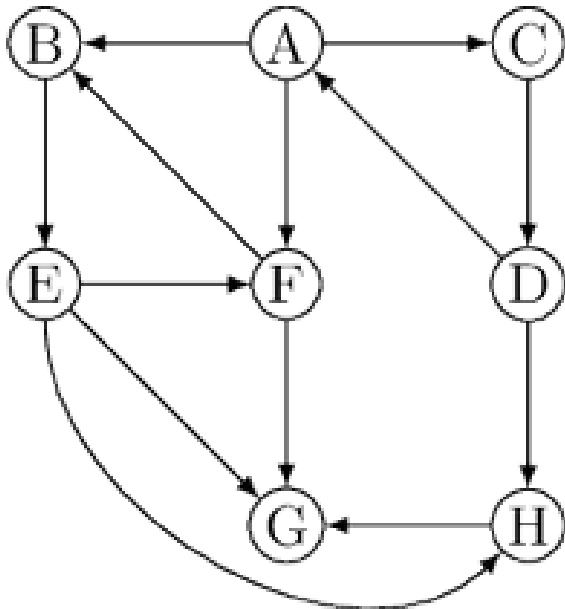
Quais vértices são acessíveis partindo de E?

# Depth First-Search

(*Busca em Profundidade*)

---

O **algoritmo de Busca em Profundidade** realiza uma busca ou travessia em um grafo. É utilizado para verificar quais vértices são acessíveis iniciando um caminho a partir de um vértice específico

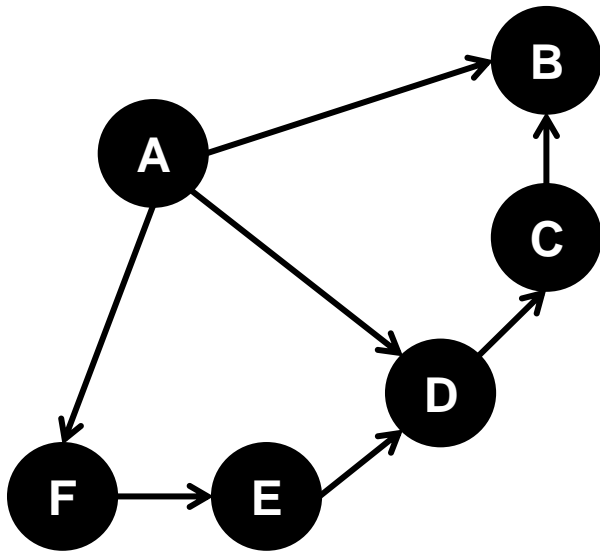


```
// G = grafo, s = vértice inicial,  
// v = vetor de visitação de vértices  
DFS( G, s, v )  
    v[s] = true  
    para cada u e G.adj[s]  
        if( v[u] == false )  
            DFS( G, u, v )
```

# Depth First-Search

(*Busca em Profundidade*)

---



**Complexidade de tempo:**  
**Matriz**

**Melhor caso:**

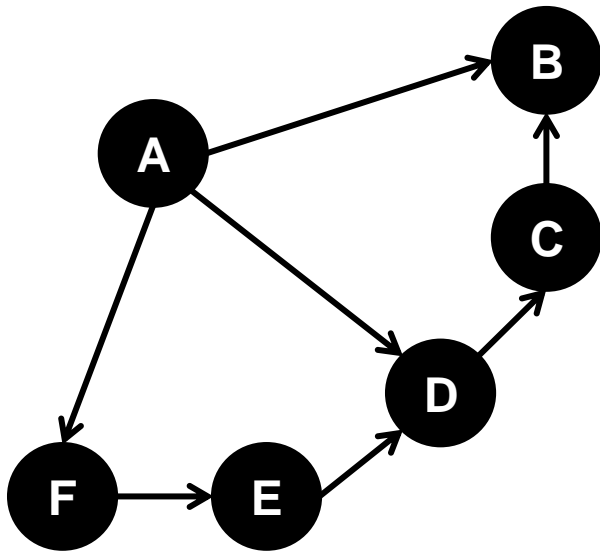
**Pior caso:**

**Complexidade de espaço:**

# Depth First-Search

(*Busca em Profundidade*)

---



## Complexidade de tempo:

### Matriz

**Melhor caso:**  $\Omega ( V )$

Nenhum nó está acessível a partir de um determinado nó

**Pior caso:**  $O ( V^2 )$

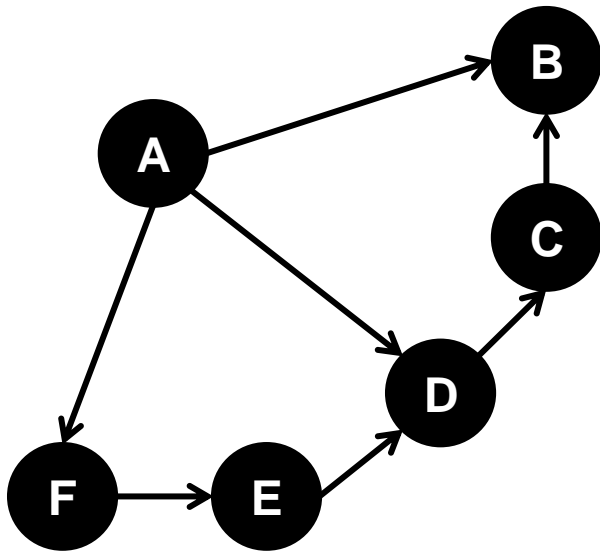
Todos os outros nós estão acessíveis a partir de um nó

**Complexidade de espaço:** precisamos manter o vetor de nós visitados  $\Theta ( V )$

# Depth First-Search

(*Busca em Profundidade*)

---



## Complexidade de tempo:

**Lista**

**Melhor caso:**  $\Omega ( V )$

Necessidade de inicializar  
vértices como não visitados

**Pior caso:**  $O ( V + E )$

Todos os outros nós estão  
acessíveis a partir de um nó

**Complexidade de espaço:** precisamos manter o vetor de  
nós visitados  $\Theta ( V )$

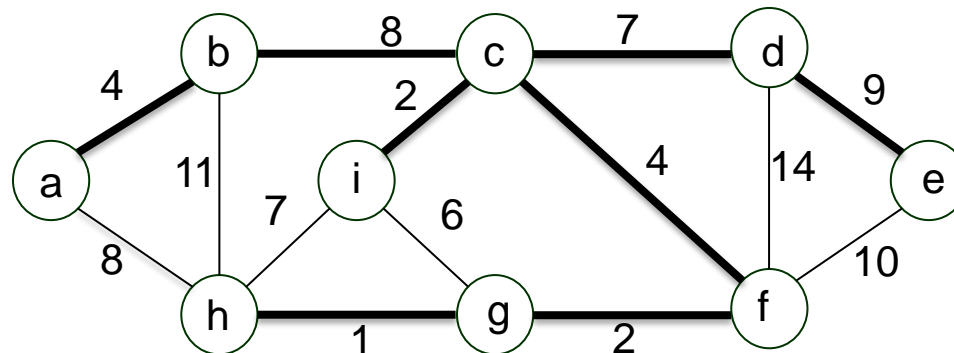


# Prim

(Árvore Geradora Mínima)

---

Uma **árvore geradora** para um grafo conexo é uma árvore que conecta todos os vértices do grafo e que o conjunto de arestas é um subconjunto das arestas desse grafo. A árvore geradora é mínima se o somatório dos custos associados cada arestas for o menor possível.



# Prim

(Árvore Geradora Mínima)

// G = grafo, s = vértice inicial, w = vetor de custo

**MST-PRIM( G, s, w )**

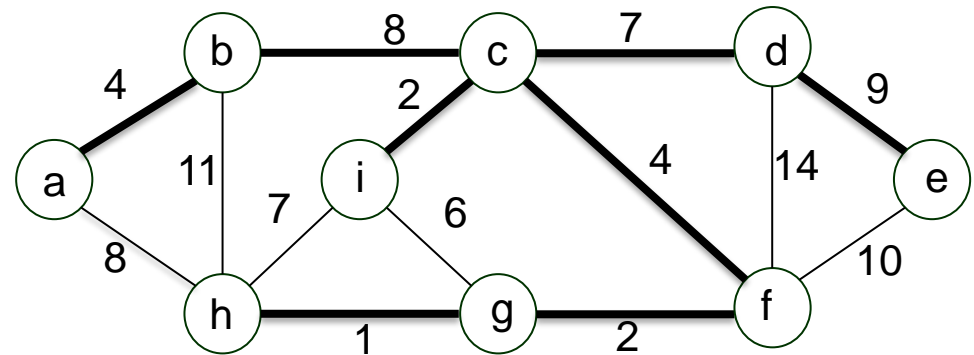
**para** cada u  $\in$  G.V

    w[u] =  $\infty$

    u.pai = null

w[s] = 0

q.add( {0,s} )



**enquanto** q  $\neq \emptyset$

  u = extrai-minimo( q )

**para** cada z  $\in$  G.adj[u]

**se** z.custo < w[z.dest]

      q.add( {z.custo, z.dest} ) // Qual a estrutura??

      w[z.dest] = z.custo

      z.dest.pai = u

// |V| vezes

// Qual a estrutura usada??

// Qual a estrutura usada??

# Prim

(Árvore Geradora Mínima)

---

// G = grafo, s = vértice inicial, w = vetor de custo

**MST-PRIM( G, s, w )**

  para cada u  $\in$  G.V

    w[u] =  $\infty$

    u.pai = null

w[s] = 0

q.add( {0,s} )

**Usando G=>Matriz e q=>Lista**

Tempo:

$O(|V|^2 + |V|^2)$

$O(|V|^2)$

**enquanto** q  $\neq \emptyset$  // |V| vezes

  u = extrai-minimo( q ) // |V| verificações

  para cada z  $\in$  G.adj[u] // |V| vezes

**se** z.custo < w[z.dest]

      q.add( {z.custo, z.dest} ) // O(1)

      w[z.dest] = z.custo

      z.dest.pai = u

# Prim

(Árvore Geradora Mínima)

---

// G = grafo, s = vértice inicial, w = vetor de custo

**MST-PRIM( G, s, w )**

  para cada u  $\in$  G.V

    w[u] =  $\infty$

    u.pai = null

w[s] = 0

q.add( {0,s} )

**Usando G=>Lista e q=>Lista**

Tempo:

$O(|V|^2 + |E|)$

\* lembrando que  $E = O(V^2)$

**enquanto** q  $\neq \emptyset$

// \* {  $O(V)$  }

  u = extrai-minimo( q )

// \*  $\Rightarrow O(V^2)$  verificações

  para cada z  $\in$  G.adj[u]

// \*  $\Rightarrow O(E)$

**se** z.custo < w[z.dest]

      q.add( {z.custo, z.dest} ) //  $O(1)$

      w[z.dest] = z.custo

      z.dest.pai = u

```
// G = grafo, s = vértice inicial, w = vetor de custo
```

## MST-PRIM( G, s, w )

para cada  $u \in G.V$

$$w[u] = \infty$$

```
u.pai = null
```

$$w[s] = 0$$

```
q.add( { $\theta, s$ } )
```

## Usando G=>Lista e q=>Árvore

Tempo:

$$O(|V \log V + E \log V|)$$
$$O((V+E) \log V)$$

**enquanto  $q \neq \emptyset$**

$$// \quad * \quad \{ \quad 0(v) \quad \}$$

```
u = extrai-minimo( q )
```

$$// \quad * \Rightarrow O( V \log V )$$

para cada  $z \in G.\text{adj}[u]$

$$// * \Rightarrow O(E)$$

```
se z.custo < w[z.dest]
```

```
q.add( {z.custo, z.dest} ) // (log V) [Se não  
w[z.dest] = z.custo      manter duplicatas]
```

```
z.dest.pai = u
```

# Prim

(Árvore Geradora Mínima)

---

```
// G = grafo, s = vértice inicial, w = vetor de custo
MST-PRIM( G, s, w )
    para cada u ∈ G.V
        w[u] = ∞
        u.pai = null
    w[s] = 0
    q.add( {0,s} )
```

**Usando  $G \Rightarrow$  Lista e  $q \Rightarrow$  Fib. Heap**

Tempo:  
 $O( E + V \log V )$

```
enquanto q ≠ ∅                                // * { 0(V) }
    u = extrai-minimo( q )                      // * => 0( V log V )
    para cada z ∈ G.adj[u]                     // * => 0( E )
        se z.custo < w[z.dest]
            q.add( {z.custo, z.dest} ) // (1)
            w[z.dest] = z.custo
            z.dest.pai = u
```

# Dijkstra

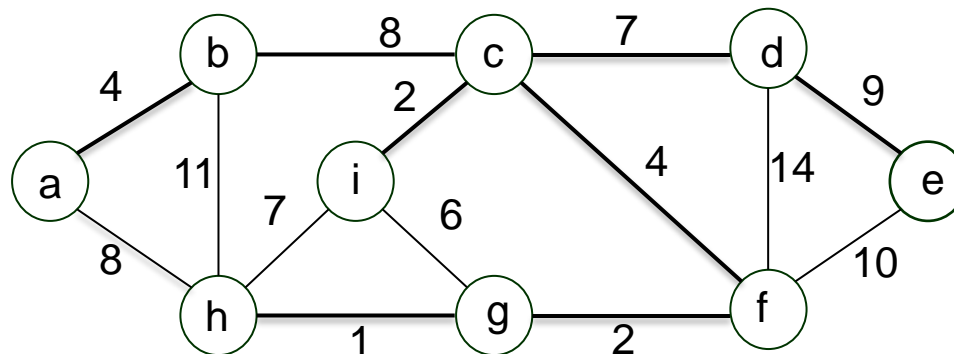
*(menor caminho entre dois nós)*

---

Dado um grafo ponderado – sem arestas com peso negativo – e dois nós, o algoritmo de Dijkstra encontra o menor caminho entre estes dois nós.

Muito semelhante ao algoritmo de Prim

Menor Caminho entre b | g



# Dijkstra

*(menor caminho entre dois nós)*

// G = grafo, s = vértice inicial, w = vetor de custo

**DIJKSTRA**( G, s, w )

  para cada u  $\in$  G.V

    w[u] =  $\infty$

    u.pai = null

w[s] = 0

q.add( {0,s} )

**Usando G=>Lista e q=>Fib. Heap**

Tempo:

$O( E + V \log V )$

**enquanto** q  $\neq \emptyset$

// \* {  $O(V)$  }

  u = extrai-minimo( q )

// \*  $\Rightarrow O( V \log V )$

  para cada z  $\in$  G.adj[u]

// \*  $\Rightarrow O( E )$

  se w[u] + z.custo < w[z.dest]

    q.add( {w[u] + z.custo, z.dest} ) // (1)

    w[z.dest] = w[u] + z.custo

    z.dest.pai = u



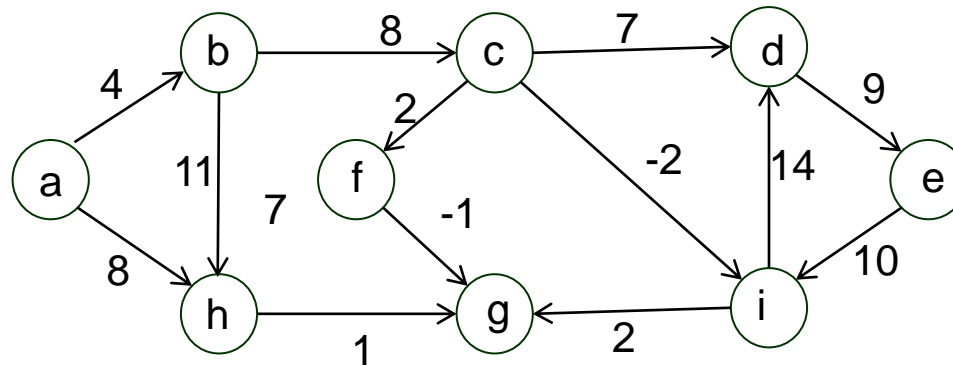
# Bellman Ford

(*menor caminho entre dois nós*)

---

Dado um grafo ponderado – possivelmente com arestas de peso negativo, mas sem ciclo – e dois nós, o algoritmo de Belmann Ford encontra o menor caminho entre os dois nós.

Menor Caminho entre b | g



# Bellman Ford

*(menor caminho entre dois nós)*

---

// G = grafo, s = vértice inicial, w = vetor de custo

BELLMAN( G, s, w )

para cada u  $\in$  G.V

w[u] =  $\infty$

u.pai = null

w[s] = 0;

para i de 0 a size(vertices):

para cada u  $\in$  G.V:

para cada a  $\in$  G.adj[u]:

se ( w[u] + a.custo < w[a.dest] )

w[a.dest] = w[u] + a.custo

a.dest.pai = u

**Usando G=>Lista**

Tempo:

$O( V * (V+E) )$

$O( V^2 + VE )$

$O( VE )$

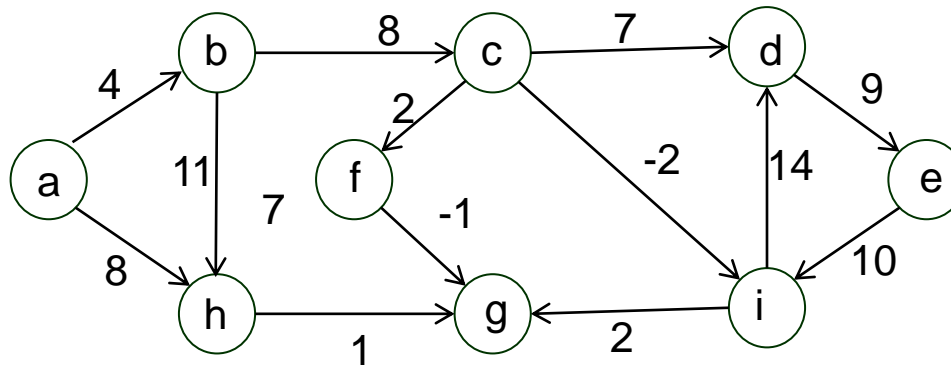
**Repete E vezes**

# Floyd Warshall

*(menor caminho entre todos os nós)*

---

Dado um grafo ponderado – possivelmente com arestas de peso negativo, mas sem ciclo – o algoritmo de Floyd Warshall encontra o menor caminho entre todos os nós (de todos para todos).



# Floyd Warshall

*(menor caminho entre todos os nós)*

---

```
// G = grafo
FLOYD( G )
  dist[G.v][G.v]
  para cada u ∈ G.V
    dist[u][u] = 0
  para cada z(u,v) ∈ G.E
    dist[u][v] = z.custo
```

```
para k de 0 a G.v:
  para i de 0 a G.v:
    para j de 0 a G.v:
      se ( dist[i][j] > dist[i][k] + dist[k][j] )
        dist[i][j] = dist[i][k] + dist[k][j]
```

**Usando G=>Lista / Matriz**

Tempo:  
 $\Theta ( V^3 )$

# Atividade

---

Escolha 2 algoritmos implementados (ou não) na disciplina de grafos e analise a complexidade de tempo e espaço.

(1) algoritmo de grafo + (1) algoritmo de fluxo

Deve-se escolher algoritmos que não estão neste material, ou seja, não pode ser: DFS, BFS, Prim, Dijkstra, BellmanFord e FloydWarshall.

Atividade em DUPLAS a ser APRESENTADA!

**OBS:** Cada algoritmo poderá ser repetido apenas uma vez, logo, ao escolher os algoritmos deve-se enviar email ao professor.

# Referências

---

Algoritmos. Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein. Campus.

Algorithms. Sanjoy Dasgupta, Christos Papadimitriou, Umesh Vazirani. McGraw Hill.

Concrete Mathematics: A Foundation for Computer Science (2nd Edition). Ronald L. Graham, Donald E. Knuth, Oren Patashnik. Addison Wesley.

M. R. Garey and D. S. Johnson. 1978. “*Strong*” *NP-Completeness Results: Motivation, Examples, and Implications*. J. ACM 25, 3 (July 1978)