

Resolução de Problemas por Busca  
Busca Desinformada  
Algoritmo de Busca de Custo Uniforme

Inteligência Artificial – 2020/1

# Busca de Custo Uniforme

- Utiliza a função de custo  $g$ , definida como:
  - $g(n)$  é o custo do caminho do nó inicial até o nó  $n$ .
  - $g(n)$  é calculada pela **soma** dos custos da aplicação de cada uma das ações no caminho
- Expande primeiro o nó  $n$  que tenha o menor custo de caminho  $g(n)$
- A fronteira é armazenada como uma lista de prioridades ordenada por  $g$ .

# Busca de Custo Uniforme

- O teste de objetivo é aplicado quando o nó é **selecionado para expansão**, já que o primeiro nó objetivo gerado pode estar em um caminho subótimo;
- Um teste deve ser adicionado para verificar se um novo caminho até um nó que já estava na fronteira é melhor (tem menor custo) do que o anterior;
- Na busca de custo uniforme, não importa o tamanho da solução, e sim o seu custo
- Encontra sempre a **solução ótima** (menor custo).

# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

- **Open:** Lista dos nós gerados mas não expandidos (Lista de prioridades)
- **Closed:** Lista dos nós já expandidos

## Procedure Uniform-Cost-search

**Open = [Start];**

**Closed = [ ];**

**While Open  $\neq$  [ ] do**

**Begin**

**X = pop (Open);**

**/\* Remova o estado mais à esquerda de Open, chame de X \*/**

**if X é um objetivo then**

**return Sucesso;**

**gere todos os filhos de X;**

**push (Closed,X);**

**/\* Coloque X em Closed \*/**

# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

*for* cada filho de X

*do case*

**o filho não está em OPEN nem em CLOSED:**

*begin*

atribua um valor de avaliação a este estado;

adicione a OPEN;

*end;*

**o filho já está em OPEN:**

*begin*

*if* o estado foi atingido com um valor de custo menor

*then de* a esse estado em OPEN este valor menor

*end;*

**o filho já está em CLOSED:**

descarte o estado;

*end;*

reordene os estados em OPEN de acordo com o valor de custo

*end;*

*return* (falha) % OPEN está vazia

*end.*

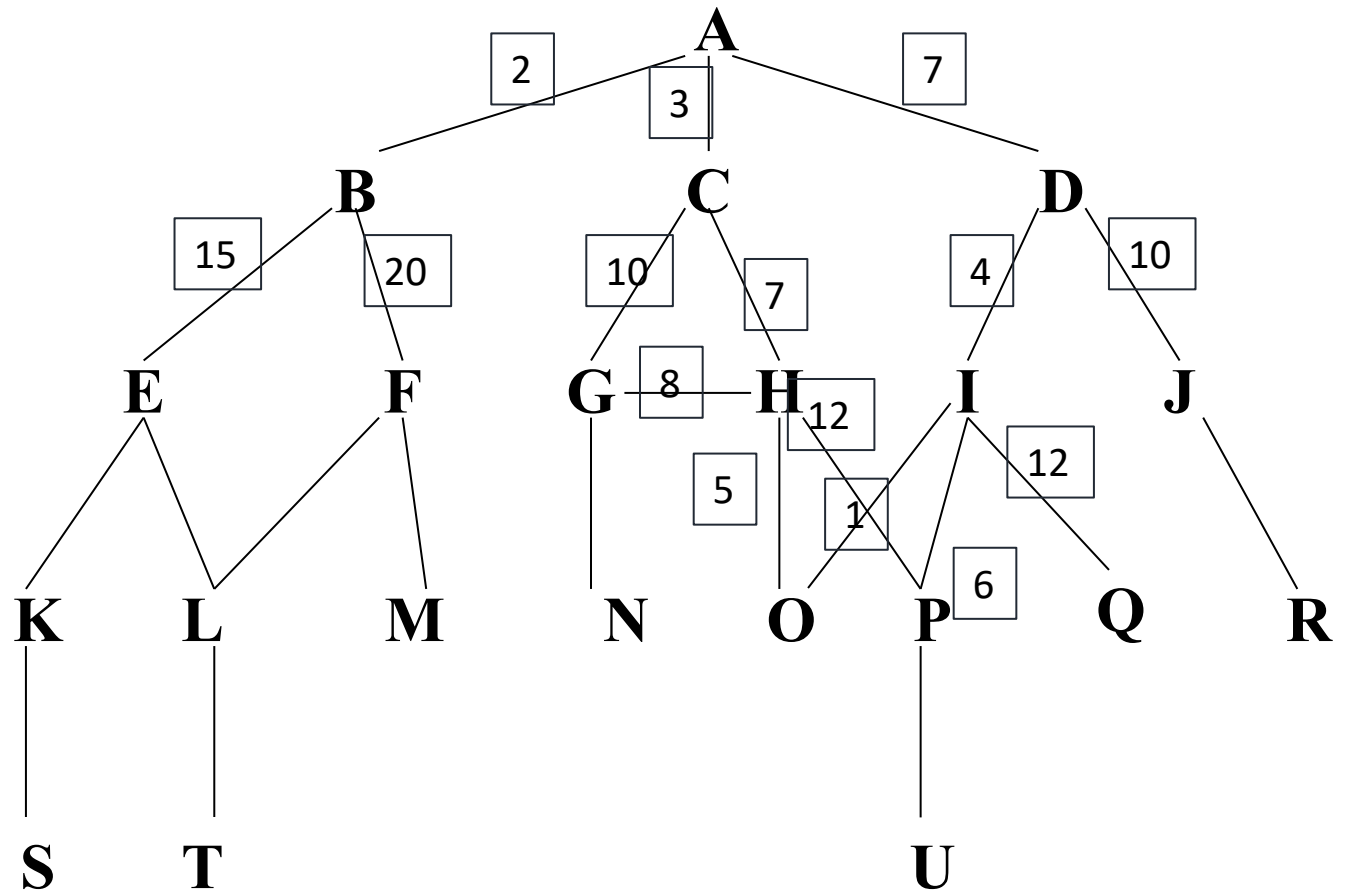
# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo

### Espaço de Estados

- Movimentos têm custos;
- O custo de cada movimento é representado pelo número próximo ao respectivo arco;

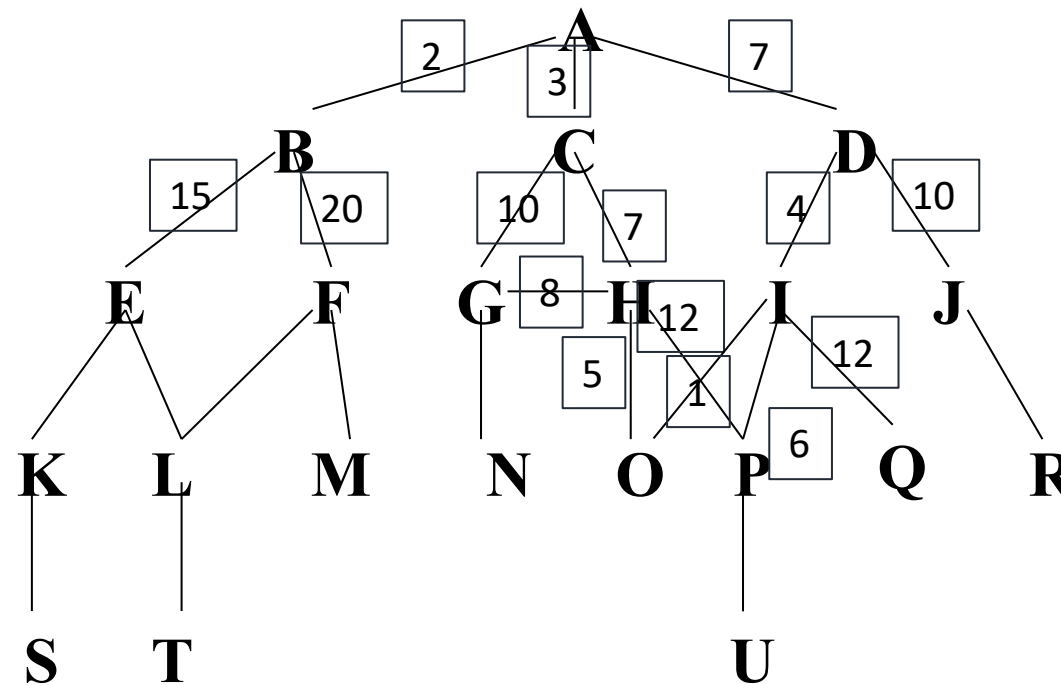
(Nem todos os custos estão representados na figura)



# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo

Para obter a **solução ótima** (menor custo) aplicamos o algoritmo de busca uniforme;  
O custo de cada nó é calculado pela **soma dos custos** dos movimentos  
do estado inicial até esse nó;  
Exemplo:  $g(E) = 2 + 15 = 17$

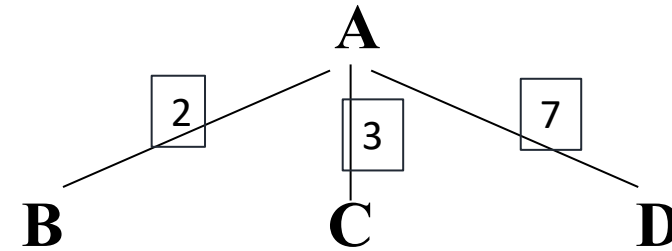


Estado inicial: **A**  
Estado objetivo: **O**

# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo

A é expandido  
Gera B-2, C-3, D-7



OPEN: B-2 C-3 D-7

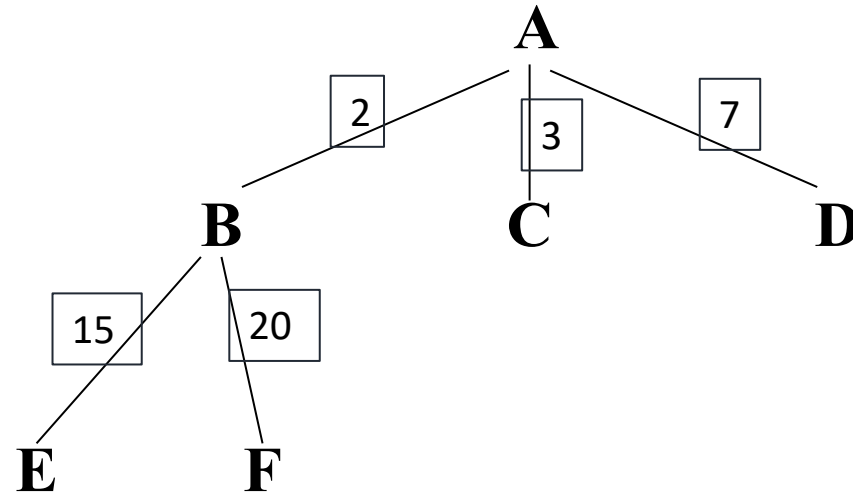
CLOSED: A-0



# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo

A é expandido  
Gera B-2, C-3, D-7  
B é expandido  
Gera E-17, F-22



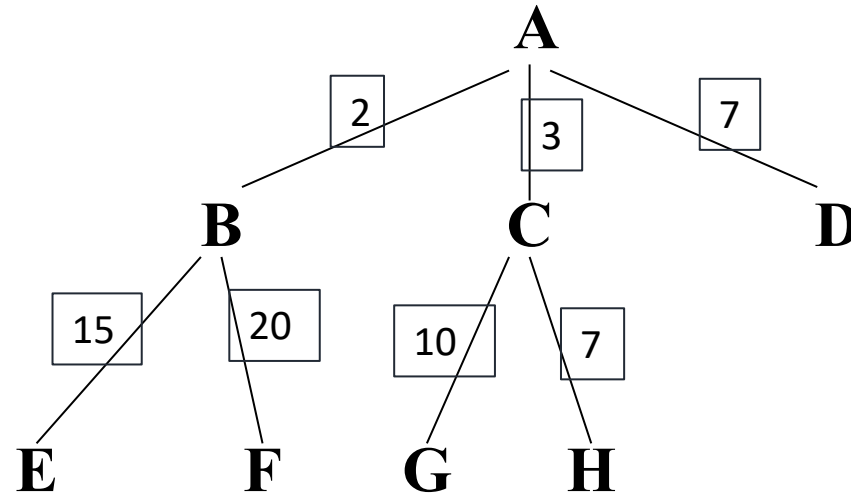
OPEN: C-3 D-7 E-17 F-22

CLOSED: A-0 B-2

# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo

A é expandido  
Gera B-2, C-3, D-7  
B é expandido  
Gera E-17, F-22  
C é expandido  
Gera G-13, H-10



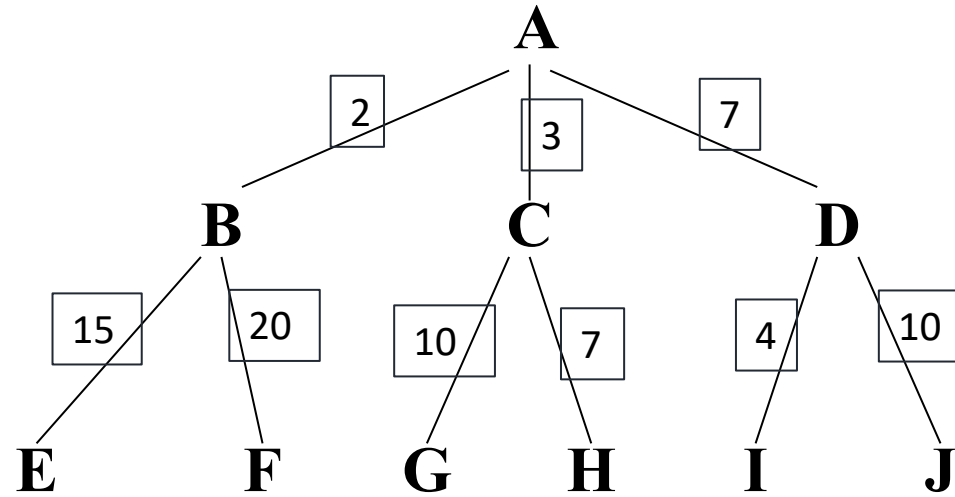
OPEN: D-7 H-10 G-13 E-17 F-22

CLOSED: A-0 B-2 C-3

# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo

A é expandido  
Gera B-2, C-3, D-7  
B é expandido  
Gera E-17, F-22  
C é expandido  
Gera G-13, H-10  
D é expandido  
Gera I-11, J-17



OPEN: H-10 I-11 G-13 E-17 J-17 F-22

CLOSED: A-0 B-2 C-3 D-7

# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo

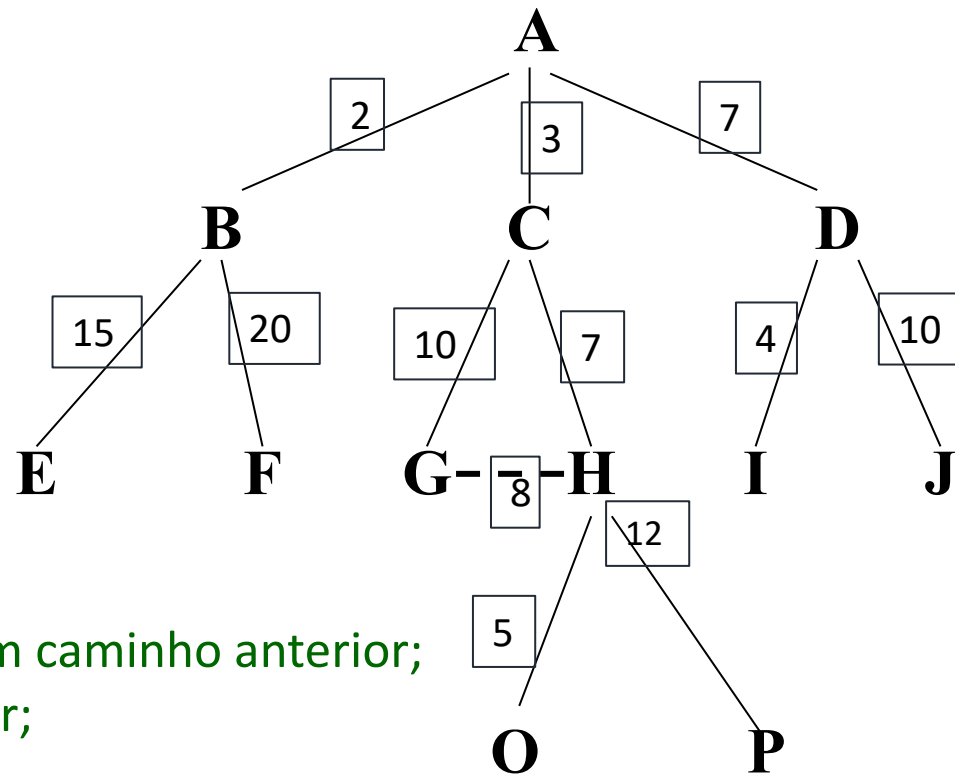
A é expandido  
Gera B-2, C-3, D-7  
B é expandido  
Gera E-17, F-22  
C é expandido  
Gera G-13, H-10  
D é expandido  
Gera I-11, J-17  
H é expandido

Gera **O-15**, P-22, (~~G-18~~)

G é gerado novamente, com custo maior; mantém caminho anterior;

Objetivo foi gerado mas ainda não podemos parar;

Não temos garantia de caminho de menor custo



OPEN: I-11 G-13 O-15 E-17 J-17 F-22 P-22

CLOSED: A-0 B-2 C-3 D-7 H-10

# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo

A é expandido

Gera B-2, C-3, D-7

B é expandido

Gera E-17, F-22

C é expandido

Gera G-13, H-10

D é expandido

Gera I-11, J-17

H é expandido

Gera **O-15**, P-22, (~~G-18~~)

G é gerado novamente, com custo maior; mantém caminho anterior

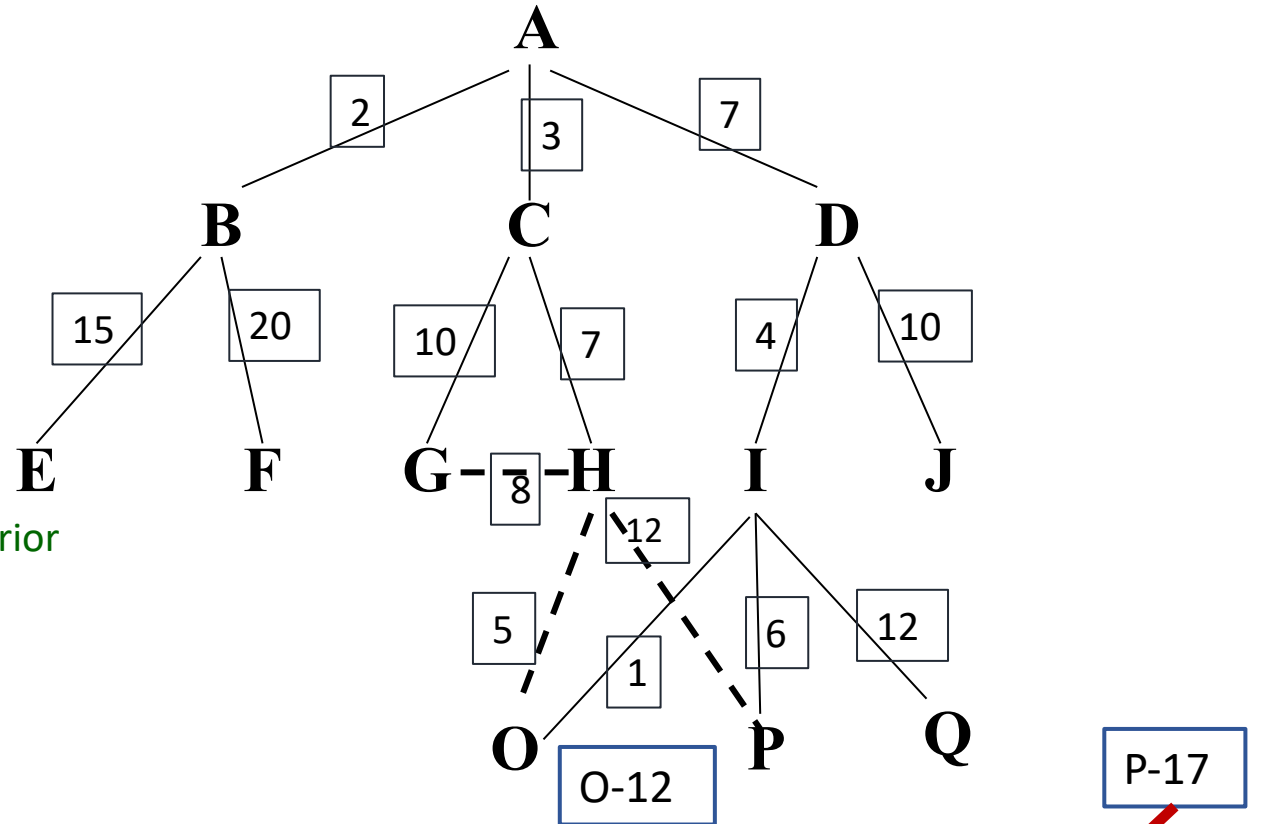
I é expandido

Gera **O-12**, P-17, Q-23

P é gerado novamente, com custo menor;

Caminho até ele é atualizado

O é gerado novamente, com custo menor; caminho até ele é atualizado



OPEN: G-13 O-15 E-17 J-17 F-22 P-22 Q-23

CLOSED: A-0 B-2 C-3 D-7 H-10 I-11

# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo

A é expandido

Gera B-2, C-3, D-7

B é expandido

Gera E-17, F-22

C é expandido

Gera G-13, H-10

D é expandido

Gera I-11, J-17

H é expandido

Gera **O-15**, P-22, (~~G-18~~)

G é gerado novamente, com custo maior; mantém caminho anterior

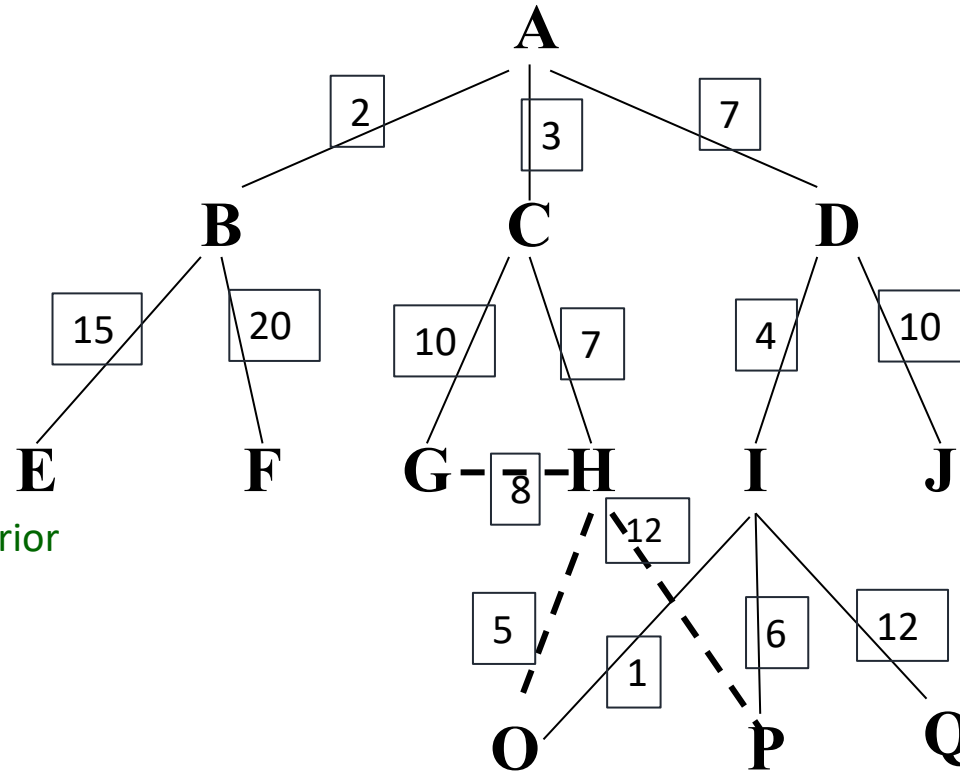
I é expandido

Gera **O-12**, P-17, Q-23

P é gerado novamente, com custo menor;

Caminho até ele é atualizado

O é gerado novamente, com custo menor; caminho até ele é atualizado



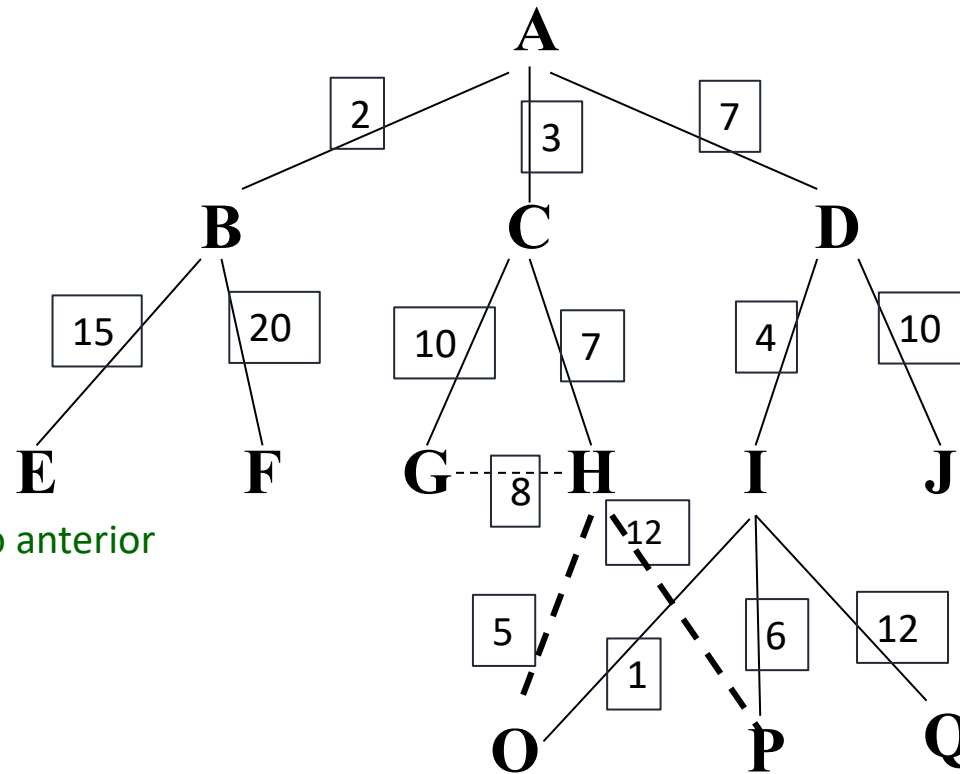
OPEN: O-12 G-13 E-17 J-17 P-17 F-22 Q-23

CLOSED: A-0 B-2 C-3 D-7 H-10 I-11

# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo

A é expandido  
Gera B-2, C-3, D-7  
B é expandido  
Gera E-17, F-22  
C é expandido  
Gera G-13, H-10  
D é expandido  
Gera I-11, J-17  
H é expandido  
Gera **O-15**, P-22, (~~G-18~~)  
G é gerado novamente, com custo maior; mantém caminho anterior  
I é expandido  
Gera **O-12**, P-17, Q-23  
P é gerado novamente, com custo menor;  
Caminho até ele é atualizado  
O é gerado novamente, com custo menor; caminho até ele é atualizado  
O é selecionado para expansão  
O é o objetivo



OPEN: O-12 G-13 E-17 J-17 P-17 F-22 Q-23

CLOSED: A-0 B-2 C-3 D-7 H-10 I-11

# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo

A é expandido

Gera B-2, C-3, D-7

B é expandido

Gera E-17, F-22

C é expandido

Gera G-13, H-10

D é expandido

Gera I-11, J-17

H é expandido

Gera **O-15**, P-22, (~~G-18~~)

G é gerado novamente, com custo maior; mantém caminho anterior

I é expandido

Gera **O-12**, P-17, Q-23

P é gerado novamente, com custo menor;

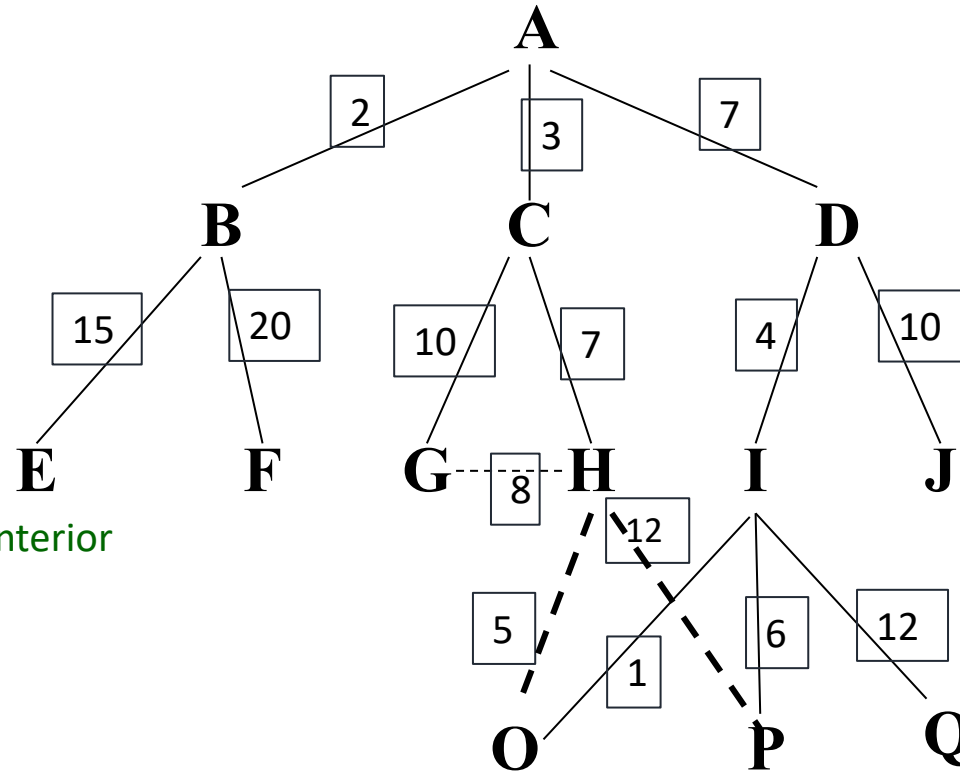
Caminho até ele é atualizado

O é gerado novamente, com custo menor; caminho até ele é atualizado

O é selecionado para expansão

O é o objetivo

**Solução encontrada: A-D-I-O com custo 12**



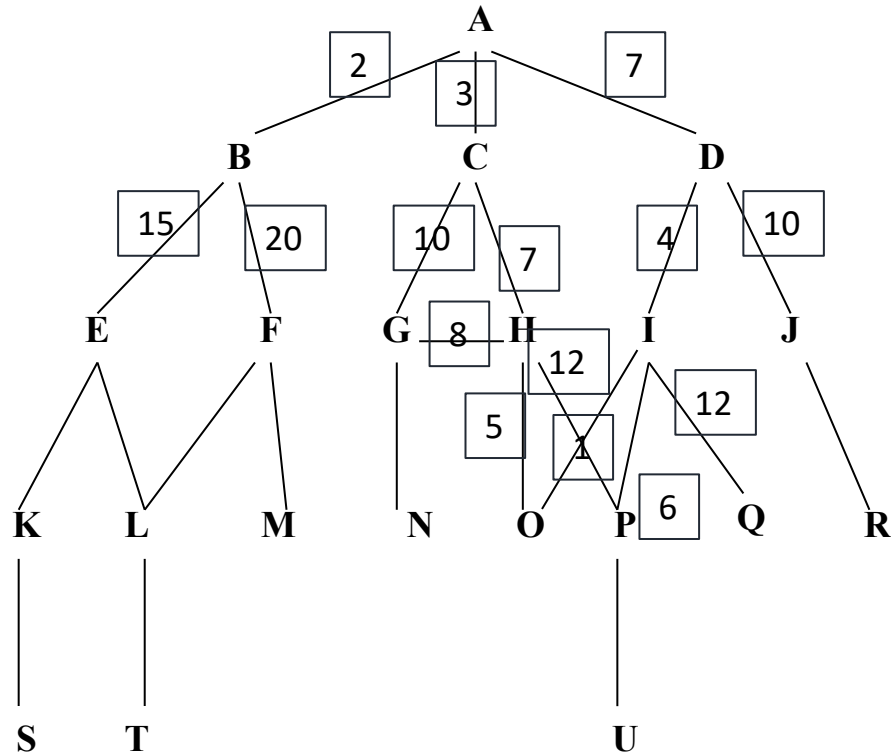
OPEN: O-12 G-13 E-17 J-17 P-17 F-22 Q-23

CLOSED: A-0 B-2 C-3 D-7 H-10 I-11



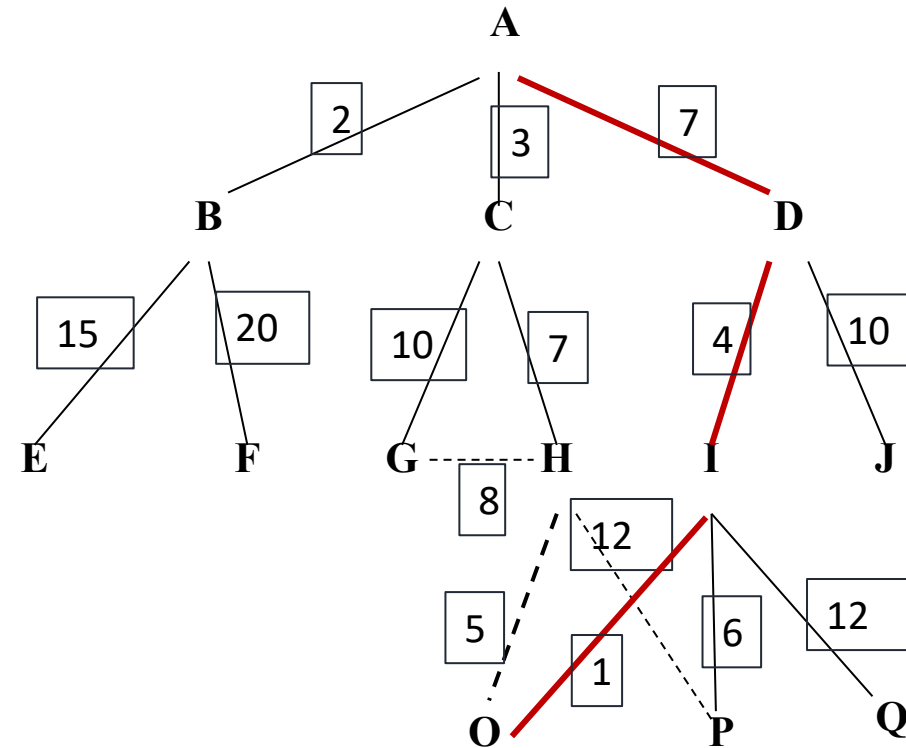
# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo



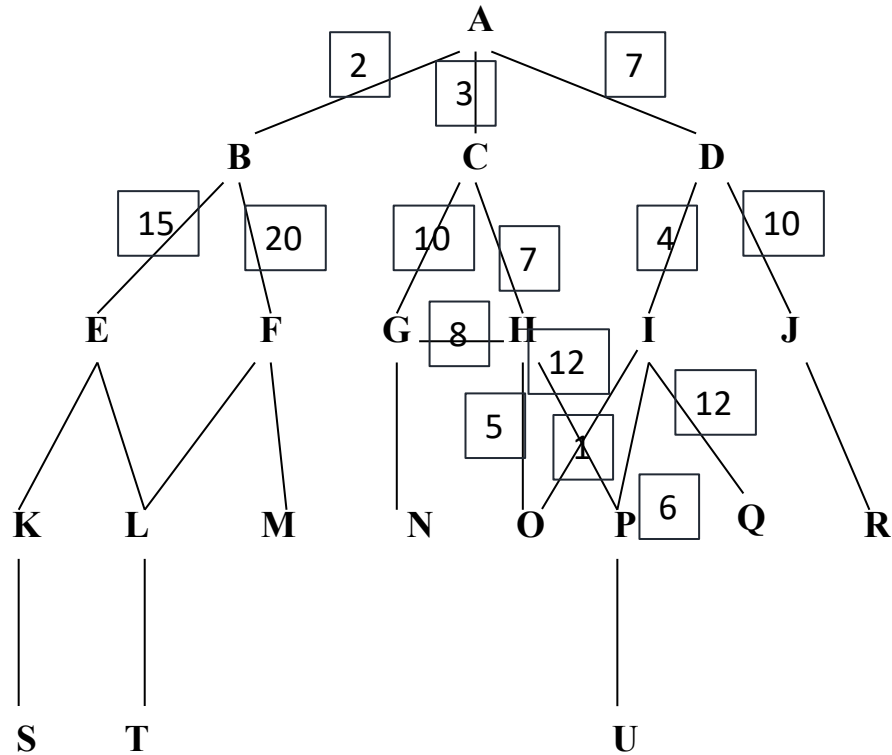
Espaço de estados

Árvore de busca



# Algoritmo da Busca de Custo Uniforme

## Exemplo



Espaço de estados

Árvore de busca

