

# PCS3438 - Primeira Lista de Exercícios (Gabarito)

Setembro de 2019

**Exercício 1:** Usando o grafo da Figura 1, determine a árvore de busca gerada e o caminho gerado como solução, de acordo com cada algoritmo de busca. Considere como Start o estado de partida e Goal o estado objetivo. Em caso de empate, visite o estado com ordem alfabética menor ou gerado antes.

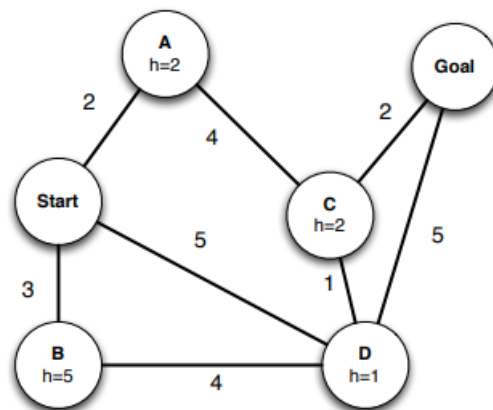


Figure 1: Grafo.

## 1. Busca em Profundidade

Solução seguindo o algoritmo passo a passo e considerando  $limite = \infty$ .

(a)  $BPL(problema, profundidade)$

O estado Start é o  $problema.EstadoInicial$ , então retornamos a função recursiva BPL-R passando Start como parâmetro.

(b)  $BPL - R(Start, problema, limite)$

Seguindo o algoritmo, sabemos que Start não é a solução do problema e  $limite \neq 0$ , então  $CORTE - OCORREU \leftarrow FALSE$ .

Para cada vizinho de Start, devemos chamar a função BPL-R e verificar se é retornado um corte, um erro ou a solução.

Vizinhos de Start = A, B e D. Por ordem alfabética, chamamos  $BPL - R(A, problema, limite)$  primeiro.

(c)  $BPL(A, problema, limite)$

O estado A também não é a solução do problema, e  $limite \neq 0$ . Então para cada vizinho de A, chamamos a função  $BPL - R$ .

Vizinho de A = C e Start. Start já foi previamente visitado, então seguimos com o estado C.

(d)  $BPL(C, problema, limite)$

O estado C também não é a solução do problema, e  $limite \neq 0$ . Então para cada vizinho de C, chamamos a função  $BPL - R$ .

Vizinho de C = A, D, e Goal. A já foi previamente visitado, então seguimos com o estado D que ganha de Goal por ordem alfabética.

(e)  $BPL(D, problema, limite)$

O estado D também não é a solução do problema, e  $limite \neq 0$ . Então para cada vizinho de D, chamamos a função  $BPL - R$ .

Vizinho de D = B, C e Goal. C já foi previamente visitado, e B ganha prioridade em relação a Goal por ordem alfabética.

(f)  $BPL(B, problema, limite)$

O estado B também não é a solução do problema, e  $limite \neq 0$ . Então para cada vizinho de B, chamamos a função  $BPL - R$ .

Vizinhos de B = Start e D. Ambos os estados já foram previamente visitados, então retornamos para a lista de vizinhos de D (item anterior), e o próximo vizinho de D depois de B é Goal.

(g)  $BPL(Goal, problema, limite)$

Goal é a solução do problema, então ele é retornado e o algoritmo é encerrado.

Resposta Final:

Estados Expandidos: Start, A, C, D, B, Goal

Caminho encontrado: Start, A, C, D, Goal

2. Busca em largura;

(a) Primeira iteração:

Borda: Start

Estados Expandidos:

Nó atual: Start

Vizinhos do nó atual: A,B,D

Adicionar os vizinhos encontrados na borda.

- (b) Segunda iteração:  
Borda: A, B, D  
Estados Expandidos: Start  
Nó atual: A  
Vizinhos do nó atual: Start e C  
Start já se encontra nos estados expandidos, então adiciona apenas C à borda.
- (c) Terceira iteração:  
Borda: B, D, C  
Estados Expandidos: Start, A  
Nó atual: B  
Vizinhos do nó atual: Start e D  
Os vizinhos do nó atual já se encontram na Borda e nos estados expandidos, então nesta iteração nada é atualizado.
- (d) Quarta iteração:  
Borda: D, C  
Estados Expandidos: Start, A, B  
Nó atual: D  
Vizinhos do nó atual: B e Goal  
B já se encontra nos estados expandidos, então adiciona apenas Goal à borda.
- (e) Quinta iteração  
Borda: C, Goal  
Estados Expandidos: Start, A, B, D  
Nó atual: C  
Vizinho do nó atual: A e Goal  
Ambos os vizinhos do nó atual já se encontram ou na borda ou nos estados expandidos, então nada é atualizado.
- (f) Sexta iteração:  
Borda: Goal  
Estados Expandidos: Start, A, B, D, C  
Nó atual: Goal  
Vizinhos do nó atual: C e D  
Como o nó atual é o estado procurado, ele é adicionado à lista de estados expandidos, e o algoritmo retorna.

Resposta Final:

**Estados Expandidos: Start, A, B, D, C, Goal**

**Caminho encontrado: Start, D, Goal**

3. Busca de custo uniforme;

Representação de estados: (estado, custo)

(a) Primeira iteração:

Borda: (Start,0)

Estados Explorados: (Start,0)

Nó atual: Start

Vizinhos do nó atual: A, B, D

(b) Segunda iteração:

Borda: (A,2), (B,3), (D,5) Estados Explorados: (Start,0)

Nó atual: (A,2)

Vizinhos do nó atual: (C,6) e (Start,2), sendo este último já presente nos nós explorados.

(c) Terceira iteração: Borda: (B,3), (D,5), (C,6)

Estados Explorados: (Start,0), (A,2)

Nó atual: (B,3)

Vizinhos do nó atual: (D,7) e (Start,3). Como Start já foi explorado, e o custo de visitar D passando por B é maior do que ir a D diretamente (conforme consta na borda), nada é atualizado.

(d) Quarta iteração: Borda: (D,5), (C,6)

Estados Explorados: Start, A, B

Nó atual: (D,5)

Vizinhos do nó atual: (C,6), (B,4) e (Goal, 10). Como B já foi explorado e o custo de ir a C passando por B é igual ao que consta na borda, eles não são adicionados à borda. O estado Goal e o custo para visitá-lo passando por D é adicionado à borda.

(e) Quinta iteração: Borda: (C,6), (Goal, 10)

Estados Explorados: Start, A, B, D

Nó atual: (C,6)

Vizinhos do nó atual: (D,7) e (Goal,8)

Como o estado D já foi explorado, ele não é adicionado à borda. Já o estado Goal, apesar de já estar na borda, apresenta um custo menor para ser visitado ao passar por C (8, enquanto que passando por D foi 10). Assim, o estado Goal tem seu custo atualizado na borda.

(f) Sexta iteração: Borda: (Goal,8) Estados explorados: Start, A, B, D,

C Nó atual: (Goal, 8)

Goal é o estado final e seus vizinhos já foram visitados. Fim do algoritmo.

Resposta Final:

**Estados Expandidos: Start, A, B, D, C, Goal**

**Caminho encontrado: Start, A, C, Goal**

4. Busca gulosa com heurística  $h$  (indicada no grafo);

(a) Primeira iteração:

Borda: Start

Estados Explorados: Start

Nó atual: Start

Vizinhos do nó atual: A, B e D

D tem uma heurística menor, então adiciona D à borda.

(b) Segunda iteração:

Borda: (D,1)

Estados Explorados: Start

Nó atual: D

Vizinhos do nó atual: C e Goal

(c) Terceira iteração:

Borda: (Goal, 0), (C, 2)

Nó atual: Goal

Goal é o estado procurado, então a solução é retornada e o algoritmo é interrompido.

Solução final encontrada:

**Estados expandidos: Start, D, Goal**

**Caminho encontrado: Start, D, Goal**

5. A\* com heurística  $h$  (indicada no grafo).

(a) Primeira iteração:

Borda: Start

Estados Expandidos:

Nó atual: Start

Vizinhos do nó atual: A( $2+2=4$ ), B( $3+5=8$ ) e D( $5+1=6$ )

Nenhum dos vizinhos se encontra no conjunto de nós expandidos, então os adicionamos à borda.

(b) Segunda iteração:

Borda: (A, 4), (D, 6), (B, 8)

Estados Expandidos: Start

Nó atual: (A, 4)

Vizinhos do nó atual: (C,  $2+4+2=8$ )

C não está no conjunto de estados expandidos e nem na borda, por isso o adicionamos à borda.

- (c) Terceira iteração:  
 Borda: (D, 6), (B, 8), (C, 8)  
 Estados Expandidos: Start, A  
 Nó atual: (D, 6)  
 Vizinhos do nó atual: (Goal, 5+1+5) e Start  
 Goal não se encontra na borda ainda, então o adicionamos. Start já se encontra aos estados expandidos, então ele não é adicionado à borda.
- (d) Quarta iteração:  
 Borda: (B, 8), (C, 8), (Goal, 11)  
 Estados Expandidos: Start, A, D  
 Nó atual: B  
 Vizinhos do nó atual: (Start, 3) e (D, 8)  
 Ambos os estados vizinhos se encontram já na borda ou nos estados expandidos.
- (e) Quinta iteração:  
 Borda: (C, 8), (Goal, 11)  
 Estados Expandidos: Start, A, D, B  
 Nó atual: (C, 8)  
 Vizinhos do nó atual: A, (D, 8) e (Goal, 8)  
 Tanto A quanto D já se encontram no conjunto de estado expandidos, mas Goal ainda se encontra na borda e tem sua prioridade atualizada.
- (f) Sexta iteração:  
 Borda: (Goal, 8)  
 Estados Expandidos: Start, A, D, B, C  
 Nó atual: (Goal, 8)  
 Goal é o estado procurando, então o algoritmo é interrompido.

Resultado final:

**Estados Expandidos: Start, A, D, B, C, Goal**

**Caminho encontrado: Start, A, C, Goal**

**Exercício 2:** Imagine que um agente ‘carro’ deseje sair de um labirinto como aquele ilustrado na Figura 2, na qual o agente está ilustrado como uma ponta de flecha. O agente pode realizar movimentos nas direções  $d \in \{N, S, L, O\}$ . Com uma única ação, o agente pode ou avançar com uma velocidade  $v$  ou virar, nunca os dois movimentos juntos. As ações de virar são *left* e *right*, o que gira a direção do agente de 90 graus. Virar somente é permitido quando  $v = 0$ . As ações de movimento são *fast* e *slow*. *Fast* incrementa a velocidade de 1 e *slow* decrementa a velocidade de 1. Em ambos os casos o agente se move um número de células igual à sua NOVA velocidade ajustada. Qualquer ação que provoque a colisão do agente com as paredes do labirinto é ilegal. Qualquer ação

que reduza a velocidade para abaixo de zero ( $v < 0$ ) ou acima da velocidade máxima ( $v > V_{max}$ ) também é ilegal. Assim,  $v \in \{0, 1, 2, \dots, V_{max}\}$ .

O estado aqui está representado como  $(d, x, y, v)$ , sendo  $d$  a direção,  $(x, y)$  a célula onde o agente se encontra e  $v$  sua velocidade.

O objetivo do agente é encontrar um plano de ações (sequência de ações) que o estacione na célula de saída (marcada com  $X$  na Figura 2), usando o mínimo possível de ações. Inicialmente o agente encontra-se na célula  $(1, 1)$ , com  $d = N$  e  $v = 0$ , isto é, estado inicial =  $(N, (1, 1), 0)$ .

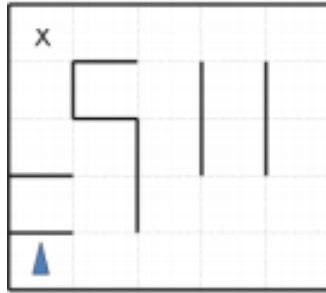


Figure 2: Labirinto.

Pede-se:

- Indique qual é o estado final ilustrado na Figura 2.  
( $d, (5, 1), 0$ ), com  $d$  qualquer valor de  $(N, S, L, O)$ .
- Se o labirinto tem dimensões  $M \times N$ , qual é o tamanho do espaço de estados? Justifique sua resposta. Você deve assumir que todas as configurações são possíveis a partir do estado inicial.  
Se apenas a posição fosse levada em conta, o tamanho do espaço de estados seria  $M \times N$ , pois este é o número de posições possíveis dentro do tabuleiro. Como o carro pode girar perpendicularmente, ele tem 4 direções possíveis (para cima, para baixo, para a esquerda e para a direita). Levando isto em consideração, o espaço de estados teria então  $4 \times M \times N$  estados. Além disso, precisamos considerar a velocidade. Como o valor desta vai de 0 a  $V_{max}$ , então neste caso há  $V_{max} + 1$  possibilidades de velocidade. Consequentemente, o tamanho do espaço de estados final é de  $4 \times M \times N \times (1 + V_{max})$ .
- Dado o espaço de estados encontrado, qual é o maior número de nós filhos que um nó pai pode ter na árvore de busca deste problema? É permitido assumir que ações ilegais não são retornadas pela função sucessor. Justifique brevemente a sua resposta.

O que configura a função sucessor é o seguinte:

- Se  $v = V_{max}$ , o carro só pode diminuir sua velocidade (*slow*);
- Se  $v > 0$  ou  $v < V_{max}$ , o carro pode aumentar a sua velocidade (*fast*) ou diminuir sua velocidade (*slow*).
- Se  $v = 0$ , o carro pode aumentar a sua velocidade (*fast*), ou mudar de direção (*left, right*).

No primeiro caso, existe um nó filho possível dado um nó pai. No segundo caso, existem dois nós filhos possíveis, e no terceiro, três filhos possíveis.

Desta maneira, o maior número de filhos de um nó pai (ou seja, o seu maior fator de ramificação) é de três nós filhos.

4. A distância Manhattan é admissível pela localização do agente? Justifique sua resposta.

Sendo uma heurística admissível aquela cujo custo estimado não ultrapassa o custo real, a distância Manhattan não é admissível neste caso. Por exemplo, faltando seis casas para o carro atingir o alvo, ele consegue chegar no alvo em menos de seis passos se estiver com uma velocidade de 4 unidades.

5. Se utilizarmos uma heurística não admissível em uma árvore de busca A\*, a otimização da busca é afetada?

Sim, pois a busca pode não ser ótima com heurística não admissível.

6. Implemente a busca A\* com heurística: **o número de giros necessários para que o agente fique de frente para a célula de saída**. Indique o plano encontrado por esta busca.

Representação de estados:  $((d, (x, y), v), c)$ , sendo  $d = (N, S, L, O)$ ,  $(x, y)$  as coordenadas cartesianas de cada posição do carro no tabuleiro,  $v$  a velocidade do carro e  $c$  o valor de *custo-de-caminho + custo-objetivo*, sendo estes obtidos pelo custo de se mover de um estado para o outro e o valor da heurística calculado.

As iterações podem mudar conforme empates entre estados com mesmo custo. Neste caso, optou-se por dar mais prioridade, em caso de empate, para os estados mais próximos do estado final.

Estado Inicial:  $(N, (1,1), 0)$

- Primeira iteração:  
Borda:  $(N, (1,1), 0, c=0)$   
Estados Expandidos:  
Estado atual:  $(N, (1,1), 0, c=0)$   
Vizinhos:  $(L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1)$
- Segunda iteração:  
Borda:  $(L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1)$



- Estados Expandidos: (N, (1,1), 0, c=0)  
Estado atual: (L, (1, 1), 0, c=1)  
Vizinhos: (N, (1, 1), 0, c=0), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2)
- Terceira iteração:  
Borda: (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2)  
Estados Expandidos: (N, (1,1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1)  
Estado atual: (O, (1, 1), 0, c=1)  
Vizinhos: (N, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2)
  - Quarta iteração:  
Borda: (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2)  
Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1)  
Estado atual: (S, (1, 1), 0, c=2)  
Vizinhos: (O, (1, 1), 0, c=1), (N, (1, 1), 0, c=0)
  - Quinta iteração  
Borda: (L, (1, 2), 1, c=2)  
Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2)  
Estado atual: (L, (1, 2), 1, c=2)  
Vizinhos: (L, (1, 2), 0, c=2), (L, (1, 4), 2, c=4)
  - Sexta iteração  
Borda: (L, (1, 2), 0, c=2), (L, (1, 4), 2, c=4)  
Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2)  
Estado atual: (L, (1, 2), 0, c=2)  
Vizinhos: (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2)
  - Sétima iteração  
Borda: (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (L, (1, 4), 2, c=4)  
Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2)  
Estado atual: (N, (1, 2), 0, c=1)  
Vizinhos: (L, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2)
  - Oitava iteração  
Borda: (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (L, (1, 4), 2, c=4)  
Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1)  
Estado atual: (S, (1, 2), 0, c=2)  
Vizinhos: (L, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2)

- Nona iteração
 

Borda: (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (L, (1, 4), 2, c=4)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2)

Estado atual: (O, (1, 2), 0, c=2)

Vizinhos: (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2)
- Décima iteração
 

Borda: (N, (2, 2), 1, c=2), (L, (1, 4), 2, c=4)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2)

Estado atual: (N, (2, 2), 1, c=2)

Vizinhos: (N, (2, 2), 0, c=2)
- Décima primeira iteração
 

Borda: (N, (2, 2), 0, c=2), (L, (1, 4), 2, c=4)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2)

Estado atual: (N, (2, 2), 0, c=2)

Vizinhos: (N, (3, 2), 1, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=2)
- Décima segunda iteração
 

Borda: (N, (3, 2), 1, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (L, (1, 4), 2, c=4)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2)

Estado atual: (N, (3, 2), 1, c=3)

Vizinhos: (N, (3, 2), 0, c=3)
- Décima terceira iteração
 

Borda: (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (L, (1, 4), 2, c=4)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3)

Estado atual: (N, (3, 2), 0, c=3)

Vizinhos: (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4)

- Décima quarta iteração  
 Borda: (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4),  
 (L, (3, 2), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4)  
 Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1,  
 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2),  
 (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2),  
 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3),  
 (N, (3, 2), 0, c=3)  
 Estado atual: (L, (2, 2), 0, c=3)  
 Vizinhos: (N, (2, 2), 0, c=2), (S, (2, 2), 0, c=4)
- Décima quinta iteração  
 Borda: (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4),  
 (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4)  
 Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1,  
 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2),  
 (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2),  
 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3),  
 (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3)  
 Estado atual: (O, (2, 2), 0, c=3)  
 Vizinhos: (O, (2, 1), 1, c=4), (N, (2, 2), 0, c=2), (S, (2, 2), 0, c=4)
- Décima quinta iteração  
 Borda: (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4),  
 (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4)  
 Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1,  
 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2),  
 (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2),  
 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3),  
 (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3)  
 Estado atual: (O, (3, 2), 0, c=4)  
 Vizinhos: (N, (3, 2), 0, c=3), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5)
- Décima sexta iteração  
 Borda: (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S,  
 (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5)  
 Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1,  
 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2),  
 (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2),  
 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3),  
 (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2),  
 0, c=4)  
 Estado atual: (L, (3, 2), 0, c=4)  
 Vizinhos: (N, (3, 2), 0, c=3), (S, (3, 2), 0, c=5)

- Décima sétima iteração  
 Borda: (O, (2, 1), 1, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5)  
 Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4)  
 Estado atual: (O, (2, 1), 1, c=4)  
 Vizinhos: (O, (2, 1), 0, c=4)
- Décima oitava iteração  
 Borda: (O, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5)  
 Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4)  
 Estado atual: (O, (2, 1), 0, c=4)  
 Vizinhos: (N, (2, 1), 0, c=3), (S, (2, 1), 0, c=5)
- Décima nona iteração  
 Borda: (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5)  
 Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4)  
 Estado atual: (N, (2, 1), 0, c=3)  
 Vizinhos: (O, (2, 1), 0, c=4), (L, (2, 1), 0, c=4)
- Vigésima iteração  
 Borda: (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5)  
 Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3)

Estado atual: (L, (2, 1), 0, c=4)

Vizinhos: (L, (2, 2), 1, c=5)

- Vigésima primeira iteração

Borda: (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4)

Estado atual: (L, (1, 4), 2, c=4)

Vizinhos: (L, (1, 5), 1, c=5)

- Vigésima segunda iteração

Borda: (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4)

Estado atual: (S, (2, 2), 0, c=4)

Vizinhos: (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3)

- Vigésima terceira iteração

Borda: (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4)

Estado atual: (S, (3, 2), 0, c=5)

Vizinhos: (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (3, 2), 0, c=4)

- Vigésima quarta iteração

Borda: (O, (3, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5)

Estado atual: (O, (3, 1), 1, c=5)

Vizinhos: (O, (3, 1), 0, c=5)

- Vigésima quinta iteração

Borda: (O, (3, 1), 0, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5)

Estado atual: (O, (3, 1), 0, c=5)

Vizinhos: (N, (3, 1), 0, c=4), (S, (3, 1), 0, c=6)

- Vigésima sexta iteração

Borda: (N, (3, 1), 0, c=4), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5), (S, (3, 1), 0, c=6)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5)

Estado atual: (N, (3, 1), 0, c=4)

Vizinhos: (N, (4, 1), 1, c=5)

- Vigésima sétima iteração

Borda: (N, (4, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5), (S, (3, 1), 0, c=6)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3),

(N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5), (N, (4, 1), 1, c=5)

Estado atual: (N, (4, 1), 1, c=5),

Vizinhos: (N, (4, 1), 0, c=5)

- Vigésima sétima iteração

Borda: (N, (4, 1), 0, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5), (S, (3, 1), 0, c=6)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5), (N, (4, 1), 1, c=5)

Estado atual: (N, (4, 1), 0, c=5)

Vizinhos: (N, (5, 1), 1, c=6), (L, (4, 1), 0, c=6), (O, (4, 1), 0, c=6)

- Vigésima oitava iteração

Borda: (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5), (N, (5, 1), 1, c=6), (L, (4, 1), 0, c=6), (O, (4, 1), 0, c=6), (N, (5, 1), 1, c=6), (S, (3, 1), 0, c=6)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5), (N, (4, 1), 1, c=5), (N, (4, 1), 0, c=5)

Estado atual: (L, (2, 2), 1, c=5)

Vizinhos: (L, (2, 2), 0, c=5)

- Vigésima nona iteração

Borda: (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5), (N, (5, 1), 1, c=6), (L, (4, 1), 0, c=6), (O, (4, 1), 0, c=6), (N, (5, 1), 1, c=6), (S, (3, 1), 0, c=6)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2),

0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3),  
(N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2),  
0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4),  
(N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2),  
0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5),  
(N, (4, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5)

Estado atual: (S, (2, 1), 0, c=5)

Vizinhos: (L, (2, 1), 0, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4)

- Trigésima iteração

Borda: (L, (1, 5), 1, c=5), (N, (5, 1), 1, c=6), (L, (4, 1), 0, c=6), (O,  
(4, 1), 0, c=6), (N, (5, 1), 1, c=6), (S, (3, 1), 0, c=6)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1,  
1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2),  
(L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2),  
0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3),  
(N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2),  
0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4),  
(N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2),  
0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5),  
(N, (4, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5)

Estado atual: (L, (1, 5), 1, c=5)

Vizinhos: (L, (1, 5), 0, c=5)

- Trigésima primeira iteração

Borda: (L, (1, 5), 0, c=5), (N, (5, 1), 1, c=6), (L, (4, 1), 0, c=6), (O,  
(4, 1), 0, c=6), (N, (5, 1), 1, c=6), (S, (3, 1), 0, c=6)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1,  
1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2),  
(L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2),  
0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3),  
(N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2),  
0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4),  
(N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2),  
0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5),  
(N, (4, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5),  
1, c=5)

Estado atual: (L, (1, 5), 0, c=5)

Vizinhos: (S, (1, 5), 0, c=6), (N, (1, 5), 0, c=4)

- Trigésima segunda iteração

Borda: (N, (1, 5), 0, c=4), (L, (1, 5), 0, c=5), (N, (5, 1), 1, c=6), (L,  
(4, 1), 0, c=6), (O, (4, 1), 0, c=6), (N, (5, 1), 1, c=6), (S, (3, 1), 0,  
c=6), (S, (1, 5), 0, c=6)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1,  
1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2),



(L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5), (N, (4, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5), (L, (1, 5), 0, c=5)

Estado atual: (N, (1, 5), 0, c=4)

Vizinhos: (N, (2, 5), 1, c=5), (L, (1, 5), 0, c=5), (O, (1, 5), 1, c=5)

- Trigésima terceira iteração

Borda: (N, (2, 5), 1, c=5), (O, (1, 5), 1, c=5), (N, (5, 1), 1, c=6), (L, (4, 1), 0, c=6), (O, (4, 1), 0, c=6), (N, (5, 1), 1, c=6), (S, (3, 1), 0, c=6), (S, (1, 5), 0, c=6)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5), (N, (4, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5), (L, (1, 5), 0, c=5), (N, (1, 5), 0, c=4)

Estado atual: (N, (2, 5), 1, c=5)

Vizinhos: (N, (2, 5), 0, c=5), (N, (4, 5), 2, c=7)

- Trigésima quarta iteração

Borda: (N, (2, 5), 0, c=5), (O, (1, 5), 1, c=5), (N, (5, 1), 1, c=6), (L, (4, 1), 0, c=6), (O, (4, 1), 0, c=6), (N, (5, 1), 1, c=6), (S, (3, 1), 0, c=6), (S, (1, 5), 0, c=6), (N, (4, 5), 2, c=7)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5), (N, (4, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5), (L, (1, 5), 0, c=5), (N, (1, 5), 0, c=4), (N, (2, 5), 1, c=5)

Estado atual: (N, (2, 5), 0, c=5)

Vizinhos: (N, (3, 5), 1, c=6), (L, (2, 5), 0, c=6), (O, (2, 5), 0, c=5)

- Trigésima quinta iteração

Borda: (O, (1, 5), 1, c=5), (N, (5, 1), 1, c=6), (L, (4, 1), 0, c=6), (O, (4, 1), 0, c=6), (N, (5, 1), 1, c=6), (N, (3, 5), 1, c=6), (L, (2, 5), 0, c=6), (O, (2, 5), 0, c=5), (S, (3, 1), 0, c=6), (S, (1, 5), 0, c=6), (N, (4, 5), 2, c=7)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5), (N, (4, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5), (L, (1, 5), 0, c=5), (N, (1, 5), 0, c=4), (N, (2, 5), 1, c=5), (N, (2, 5), 0, c=5)

Estado atual: (O, (1, 5), 1, c=5)

Vizinhos: (O, (1, 5), 0, c=5), (O, (1, 3), 2, c=7)

- Trigésima sexta iteração

Borda: (O, (1, 5), 0, c=5), (N, (5, 1), 1, c=6), (L, (4, 1), 0, c=6), (O, (4, 1), 0, c=6), (N, (5, 1), 1, c=6), (N, (3, 5), 1, c=6), (L, (2, 5), 0, c=6), (O, (2, 5), 0, c=5), (S, (3, 1), 0, c=6), (S, (1, 5), 0, c=6), (N, (4, 5), 2, c=7), (O, (1, 3), 2, c=7)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5), (N, (4, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5), (L, (1, 5), 0, c=5), (N, (1, 5), 0, c=4), (N, (2, 5), 1, c=5), (N, (2, 5), 0, c=5)

Estado atual: (O, (1, 5), 0, c=5)

Vizinhos: (N, (1, 5), 0, c=4), (S, (1, 5), 0, c=5)

- Trigésima sexta iteração

Borda: (S, (1, 5), 0, c=6), (N, (5, 1), 1, c=6), (L, (4, 1), 0, c=6), (O, (4, 1), 0, c=6), (N, (5, 1), 1, c=6), (N, (3, 5), 1, c=6), (L, (2, 5), 0, c=6), (O, (2, 5), 0, c=5), (S, (3, 1), 0, c=6), (S, (1, 5), 0, c=6), (N, (4, 5), 2, c=7), (O, (1, 3), 2, c=7)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3),

(N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5), (N, (4, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5), (L, (1, 5), 0, c=5), (N, (1, 5), 0, c=4), (N, (2, 5), 1, c=5), (N, (2, 5), 0, c=5), (O, (1, 5), 0, c=5)

Estado atual: (S, (1, 5), 0, c=6)

Vizinhos: (O, (1, 5), 0, c=5), (L, (1, 5), 0, c=5)

• Trigésima sétima iteração

Borda: (N, (5, 1), 1, c=6), (L, (4, 1), 0, c=6), (O, (4, 1), 0, c=6), (N, (5, 1), 1, c=6), (N, (3, 5), 1, c=6), (L, (2, 5), 0, c=6), (O, (2, 5), 0, c=5), (S, (3, 1), 0, c=6), (S, (1, 5), 0, c=6), (N, (4, 5), 2, c=7), (O, (1, 3), 2, c=7)

Estados Expandidos: (N, (1, 1), 0, c=0), (L, (1, 1), 0, c=1), (L, (1, 1), 0, c=1), (O, (1, 1), 0, c=1), (S, (1, 1), 0, c=2), (L, (1, 2), 1, c=2), (L, (1, 2), 0, c=2), (N, (1, 2), 0, c=1), (S, (1, 2), 0, c=2), (O, (1, 2), 0, c=2), (N, (2, 2), 1, c=2), (N, (2, 2), 0, c=2), (N, (3, 2), 1, c=3), (N, (3, 2), 0, c=3), (L, (2, 2), 0, c=3), (O, (2, 2), 0, c=3), (O, (3, 2), 0, c=4), (L, (3, 2), 0, c=4), (O, (2, 1), 1, c=4), (O, (2, 1), 0, c=4), (N, (2, 1), 0, c=3), (L, (2, 1), 0, c=4), (L, (1, 4), 2, c=4), (S, (2, 2), 0, c=4), (S, (3, 2), 0, c=5), (O, (3, 1), 1, c=5), (O, (3, 1), 0, c=5), (N, (4, 1), 1, c=5), (L, (2, 2), 1, c=5), (S, (2, 1), 0, c=5), (L, (1, 5), 1, c=5), (L, (1, 5), 0, c=5), (N, (1, 5), 0, c=4), (N, (2, 5), 1, c=5), (N, (2, 5), 0, c=5), (O, (1, 5), 0, c=5), (S, (1, 5), 0, c=6)

Estado atual: (N, (5, 1), 1, c=6)

Vizinhos: (N, (5, 1), 0, c=6)

**Estado Final Encontrado!**

Plano nonaencontrado pela busca (sem indicar o custo para expandir para o próximo estado):

(N, (1, 1), 0), (L, (1, 1), 0), (L, (1, 2), 1), (L, (1, 2), 0), (N, (1, 2), 0), (N, (2, 2), 1), (N, (2, 2), 0), (N, (3, 2), 1), (N, (3, 2), 0), (O, (3, 2), 0), (O, (3, 1), 1), (O, (3, 1), 0), (N, (4, 1), 1), (N, (4, 1), 0), (N, (5, 1), 1), (N, (5, 1), 0).

7. Você consegue propor outros planos que possua o mesmo número mínimo de ações? Se sim, indique. Se não, justifique.

Existe mais de um caminho possível para chegar ao estado final. Procure descrever cada um dos caminhos possíveis com os estados expandidos necessários para o carro fazer cada um destes caminhos e use isto para responder este item.

**Exercício 3:** Forneça o nome do algoritmo que resulta de cada um dos seguintes casos especiais:

1. Busca em feixe local com  $k = 1$ .  
*Algoritmo de Busca de Subida de Encosta.*
2. Busca em feixe local com um estado inicial e nenhum limite sobre o número de estados mantidos.  
*Algoritmo de Busca em Largura.*
3. Têmpera simulada com  $T = 0$  em todos os passos (com omissão do teste de término).  
*Algoritmo de Subida de Encosta pela Primeira Escolha.*
4. Algoritmo genético com tamanho de população  $N = 1$ .  
*Algoritmo de Passeio Aleatório.*