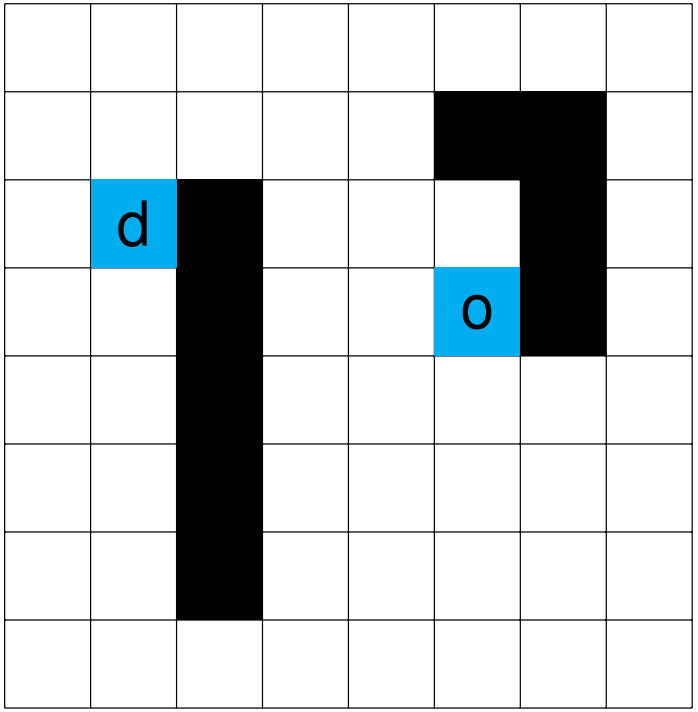
Trabalho 1: Programação Paralela para Processador Multicore com Memória Compartilhada Usando OpenMP

- **Problema de roteamento usando algoritmo de Lee**
  - Grid de $n \times m$ células
  - Célula origem e célula destino
  - Obstáculos (ocupam células que não podem ser usadas no roteamento)
  - Encontrar menor caminho entre células origem e destino
  - Caminho percorre células vizinhas (norte, sul, leste, oeste)



Programa Sequencial: Estruturas de Dados

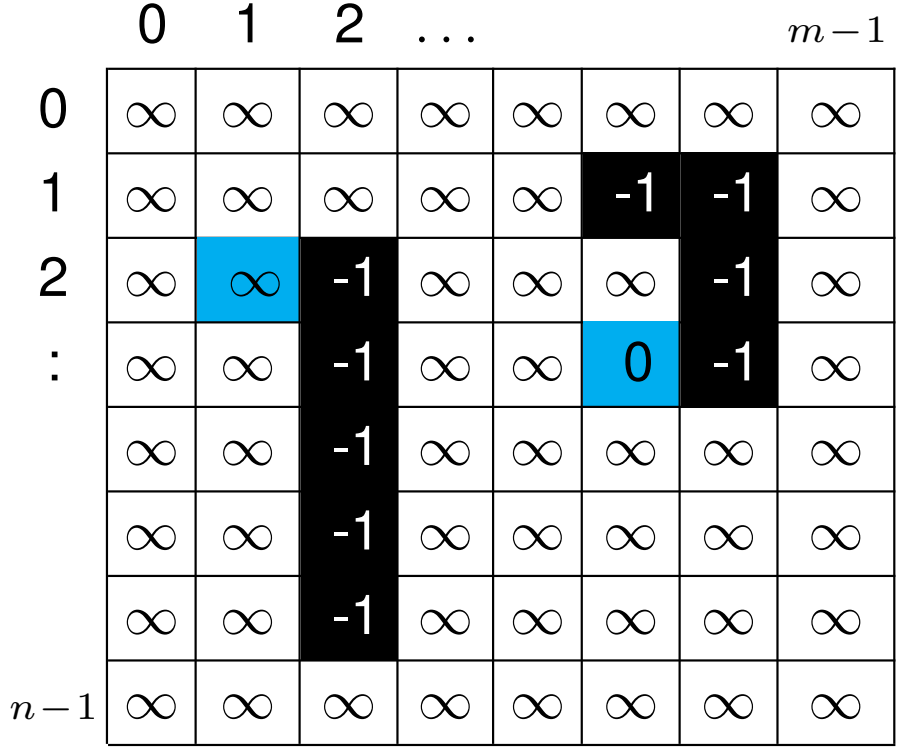
- **Grid**: matriz $n \times m$ de inteiros
  - `dist[i][j]`: distância da origem ate célula `(i,j)` do grid
  - Calculado na fase de expansão
- **Fila de células a serem tratadas**: lista encadeada de células `(i,j)`
  - Fila FIFO
  - Usada na fase de expansão
- **Caminho mínimo**: lista encadeada de células `(i,j)`
  - Construído na fase de traceback

Programa Sequencial: Principal

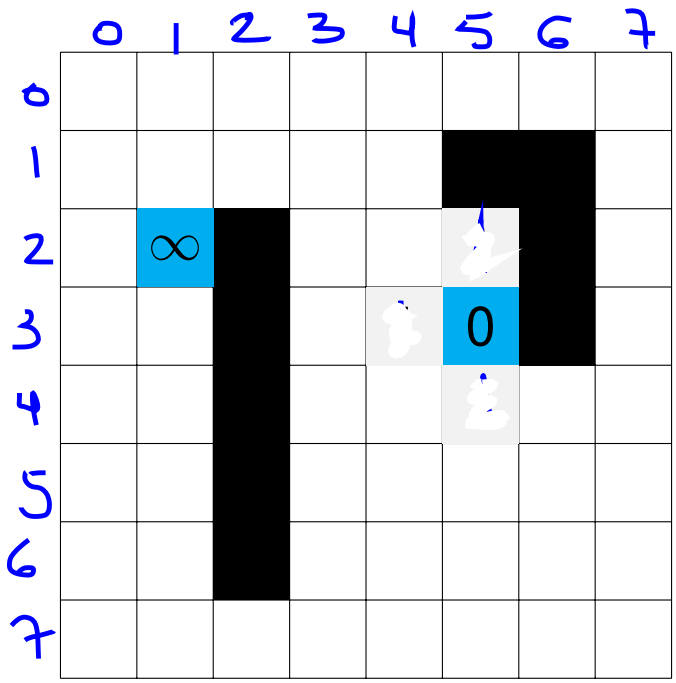
```
...
// Lê arquivo de entrada e inicializa estruturas de dados
inicializa(...) ;

// Fase de expansão: calcula distância da origem até demais células do grid
achou = expansao();

// Se não encontrou caminho de origem até destino
if (! achou)
   distancia_min = -1 ;
else
{
    // Obtém distância do caminho mínimo da origem até destino
   distancia_min = dist[destino.i][destino.j] ;
    // Fase de traceback: obtém caminho mínimo
   traceback();
}

// Finaliza e escreve arquivo de saida
finaliza(...) ;
...
```

Programa Sequencial: Inicialização

- **Lê arquivo de entrada**:
  - nº de linhas n e nº de colunas m do grid
  - origem (i, j)
  - destino (i, j)
  - obstáculos (retângulos)
- **Fila**: vazia
- **Caminho**: vazio
- **Grid**: matriz `dist`
  - Origem: 0
  - Obstáculos: -1
  - Demais células: ∞ (inclusive destino)



Programa Sequencial: Fase de Expansão



Fila:

~~(3,5)~~ — d0

(2,5)

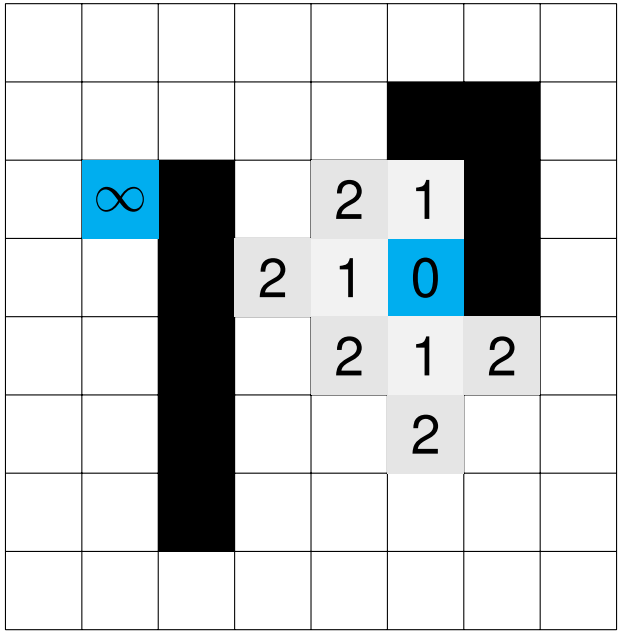
(4,5)

(3,4)

(2,4)

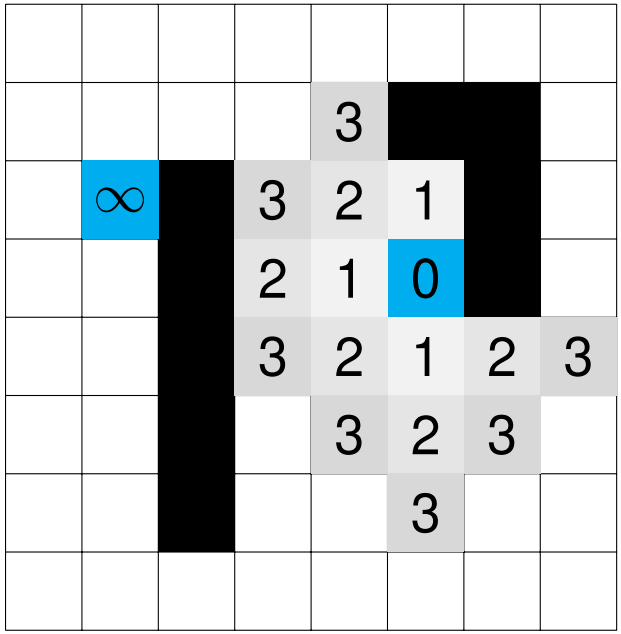
d1

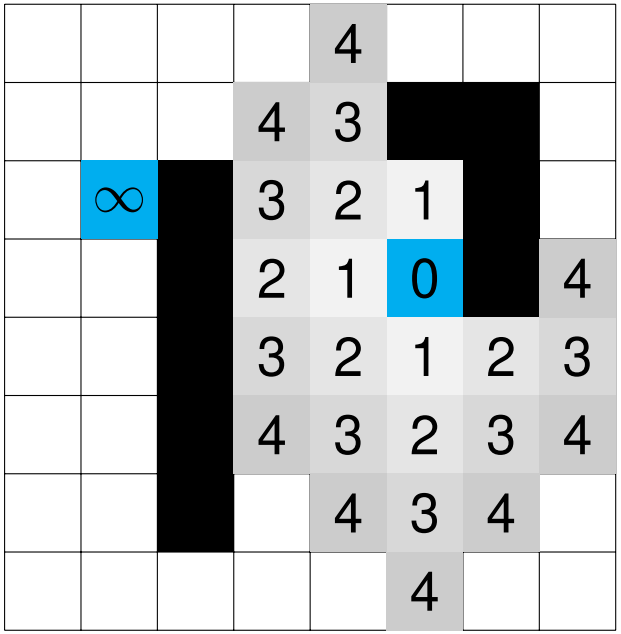
d2

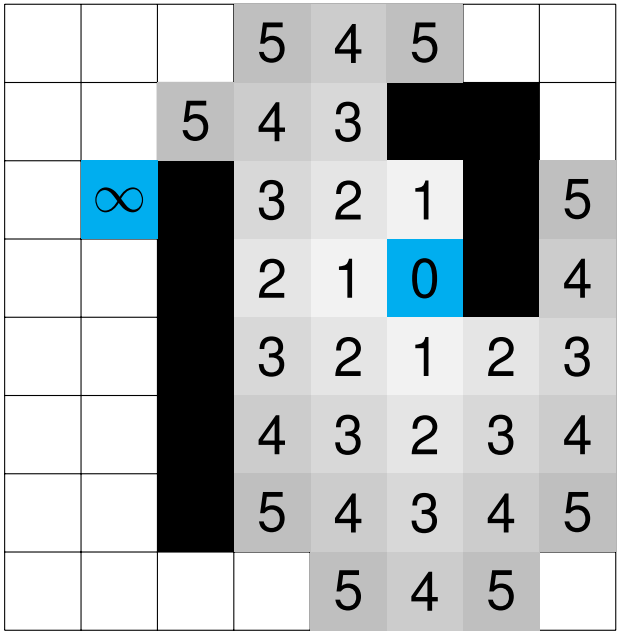


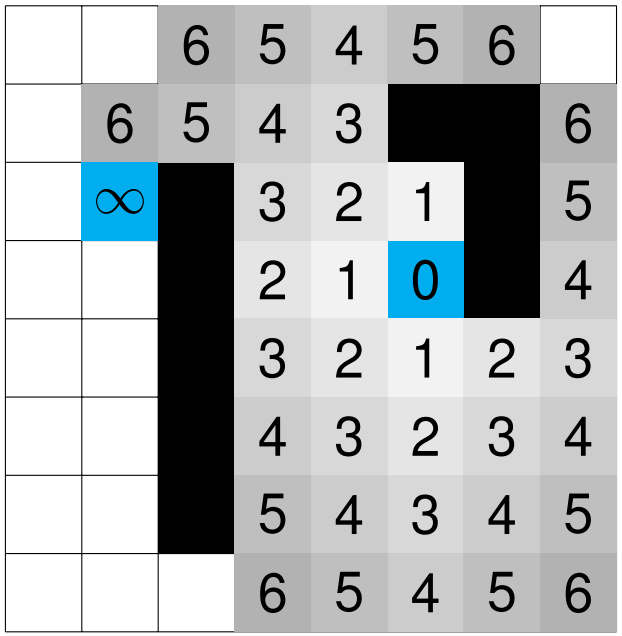
Fila FIFO garante que expansão ocorre por níveis: primeiro encontra células com distância 1 da origem, depois células com distância 2, ...

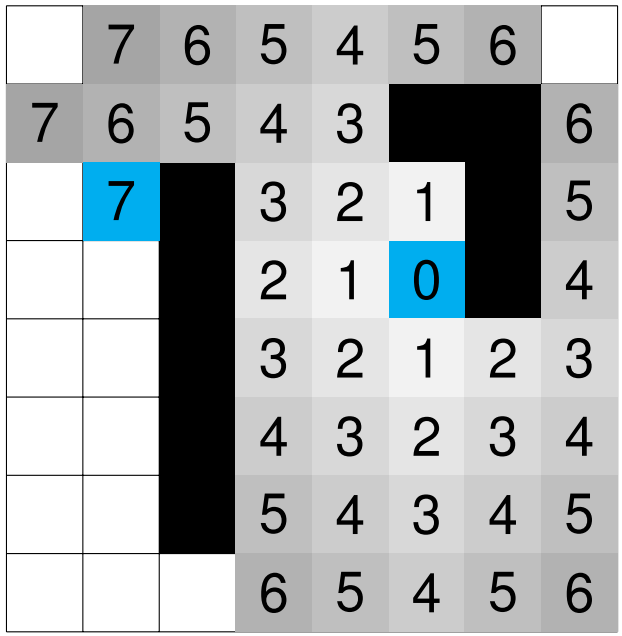
Programa Sequencial: Fase de Expansão (cont.)







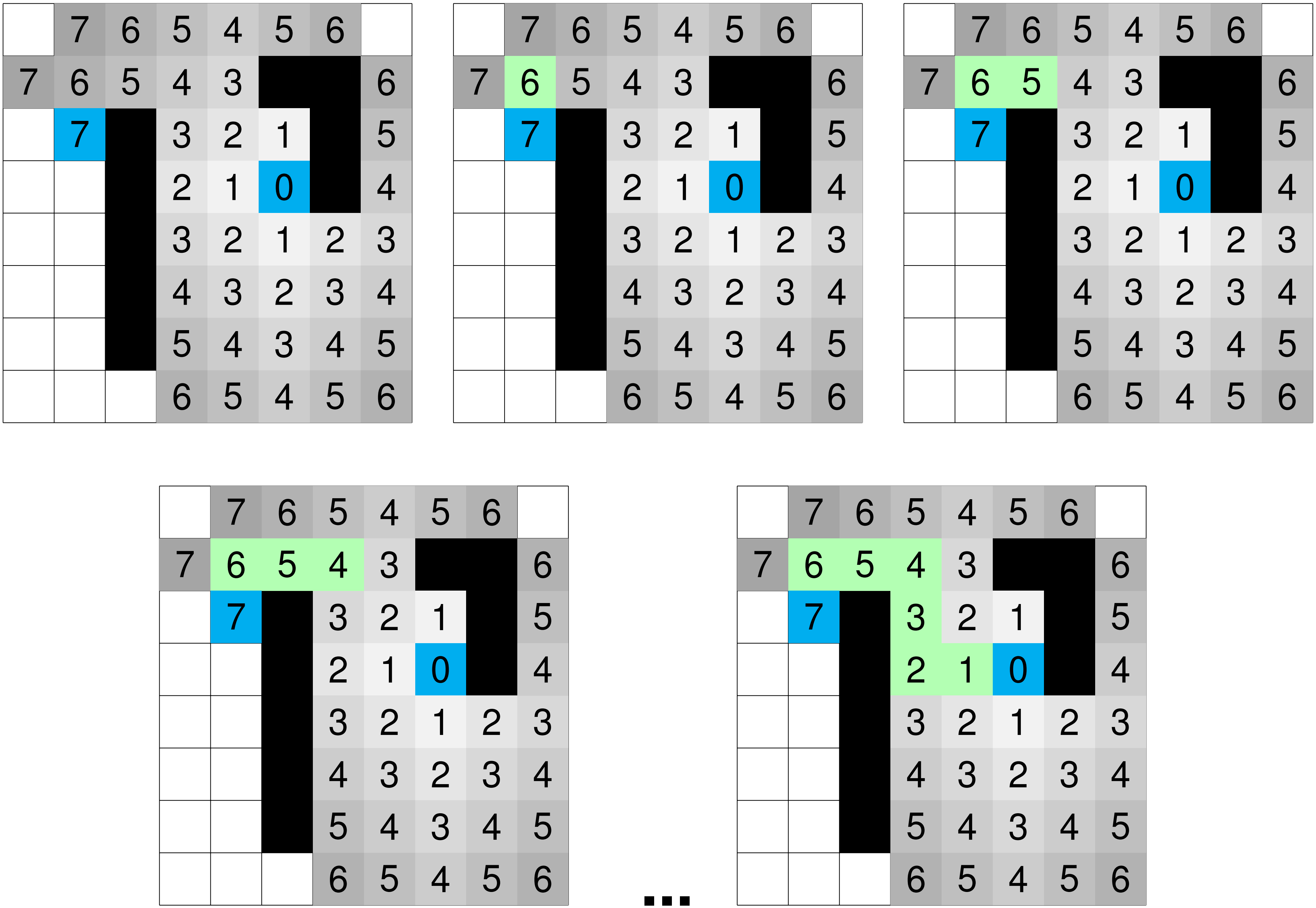




Programa Sequencial: Fase de Expansão

```
achou = false  // Destino foi encontrado?
insere_fila(origem)  // Insere origem no fim da fila
// Enquanto fila não está vazia e não chegou na célula destino
while ((fila != vazia) && (! achou)) {
    cel = remove_fila()  // Remove célula do início da fila
    if (cel.i == destino.i && cel.j == destino.j)  // cel é o destino
        achou = true
    else {
        // Para cada um dos 4 possíveis vizinhos da célula (norte, sul, oeste e leste):
        // se célula vizinha existe e ainda não possui valor de distância,
        // calcula distância e insere vizinho na fila de células a serem tratadas
        viz.i = cel.i - 1 ;  // Vizinho norte
        viz.j = cel.j ;

        if ((viz.i >= 0) && (dist[viz.i][viz.j] == INT_MAX)) {
            dist[viz.i][viz.j] = dist[cel.i][cel.j] + 1 ;
            insere_fila(viz) ;  // Insere viz no fim da fila
        }
        // Vizinho sul, oeste e leste
        ...
    }
}
```

Programa Sequencial: Fase de Backtracking



Programa Sequencial: Fase de Backtracking

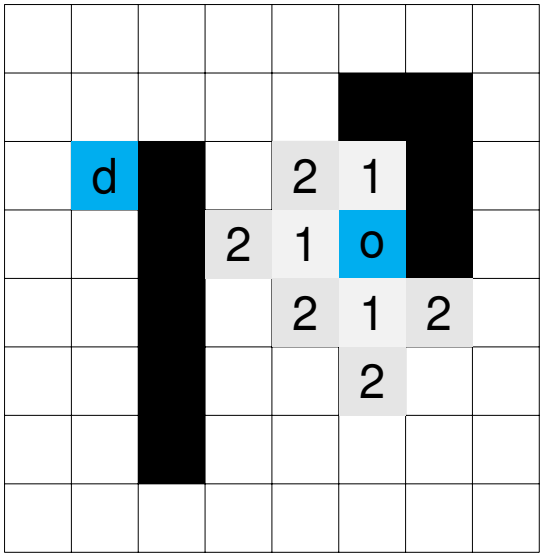
```
insere_caminho(destino)  // Insere destino no início do caminho
cel = destino
// Enquanto não chegou na origem
while (cel.i != origem.i || cel.j != origem.j) {
    // Determina se célula anterior no caminho é vizinho norte, sul, oeste ou leste
    // e insere esse vizinho no início do caminho
   viz.i = cel.i - 1 ;  // Norte
   viz.j = cel.j ;
   if ((viz.i >= 0) &&
       (dist[viz.i][viz.j] == dist[cel.i][cel.j] - 1))
      insere_caminho(viz) ;
   else {
      viz.i = cel.i + 1 ;  // Sul
      viz.j = cel.j ;
      if ((viz.i < n_linhas) &&
          (dist[viz.i][viz.j] == dist[cel.i][cel.j] - 1))
         insere_caminho(viz) ;
      else {
         // Oeste, leste ...
      }
   }
   cel = viz ;
}
```

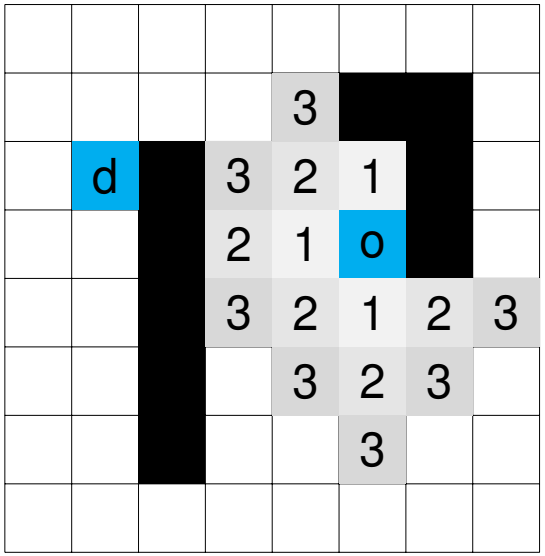
Programa Sequencial: Finalização

- **Escreve arquivo de saída**:
  - Distância mínima de origem até destino: `dist[destino.i][destino.j]`
  - Caminho mínimo:
    - Sequência de células (i,j) da origem até o destino
- **Obs.**:
  - Pode haver mais de um caminho mínimo
  - Todos são soluções corretas

Ideias para Paralelização

- **Na fase de expansão**:
  - Fila FIFO impõe ordem sequencial de tratamento das células
  - Essa restrição é mais “forte” do que o necessário para o correto funcionamento do algoritmo
  - Células em um mesmo nível de expansão podem ser tratadas em qualquer ordem (ou ao mesmo tempo)
  - Células em diferentes níveis de expansão devem ser tratadas na ordem sequencial





Ideias para Paralelização

- **Atenção para sincronização**:
  - Identificar estruturas de dados compartilhadas entre threads:
    - Matriz `dist` (grid)? Fila?
  - Usar sincronização apenas se necessário
  - É possível tornar uma estrutura compartilhada em privada, para evitar/reduzir sincronização?
- **Atenção para funções chamadas por threads**:
  - Devem ser **thread-safe**:
    - Função pode ser executada simultaneamente por várias threads, sem possibilidade de levar a inconsistências de dados
    - Pode precisar usar mecanismos de sincronização entre threads
- **Medição de tempo**:
  - Medir tempo de execução dos programas sequencial e paralelo
  - Usar função `omp_get_wtime()`
  - Não incluir na medição leitura e escrita de arquivos de entrada e saída

Entradas e Saídas do Programa

- **Entradas**:
  - Em um único arquivo texto:
    - Nº de linhas do grid
    - Nº de colunas do grid
    - Índices i e j da célula origem
    - Índices i e j da célula destino
    - Nº de obstáculos
    - Para cada obstáculo: (obstáculos são sempre retangulares)
      - Índices i e j da célula inicial do obstáculo (superior esquerda)
      - Nº de linhas e colunas do obstáculo
- **Saídas**:
  - Em um único arquivo texto:
    - Distância mínima da origem até o destino
    - Caminho mínimo: sequência de células (índices i e j) da origem até o destino
  - **Na tela: tempo de execução**

Arquivos de Entrada e Saída Fornecidos

- **Arquivos de entrada fornecidos**:
  - **Entradas 1, 2 e 3**: muito pequenas
    (apenas para depuração, não servem para avaliação de desempenho)
  - **Entrada 9**: pode não ser possível executar, dependendo da configuração
    (quantidade de memória, etc) do computador utilizado

Arquivo	Grid: nº de linhas × nº de colunas
entrada1.txt	8 × 8
entrada2.txt	20 × 40
entrada3.txt	40 × 80
entrada4.txt	1 mil × 2 mil
entrada5.txt	5 mil × 10 mil
entrada6.txt	10 mil × 20 mil
entrada7.txt	20 mil × 20 mil
entrada8.txt	20 mil × 40 mil
entrada9.txt	40 mil × 80 mil

- **Arquivos de saída correspondentes**: fornecidos
  (uma solução correta, pode haver outras)

Exemplo: Arquivos entrada1.txt e saida1.txt

entrada1.txt

```
8 8
3 5
2 1
3
2 2 5 1
1 5 1 2
2 6 2 1
...
```

nº de linhas e colunas do grid

índices i e j da origem

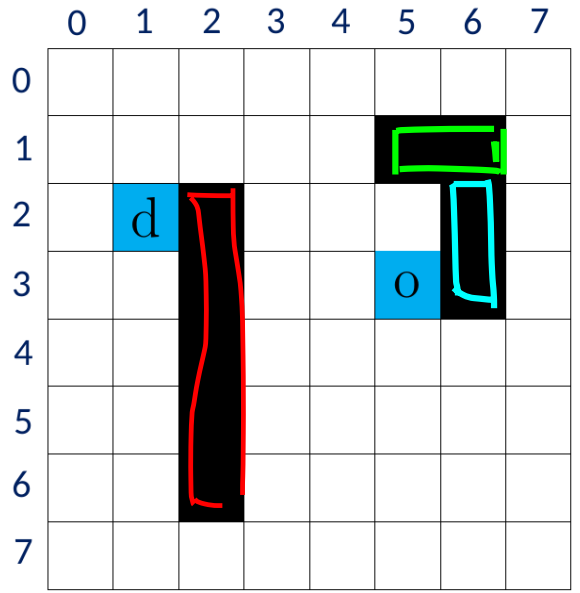
índices i e j do destino

nº de obstáculos

cada obstáculo: índices i e j do início e

nº de linhas e colunas

...



saida1.txt

```
7
3 5
3 4
3 3
2 3
1 3
1 2
1 1
2 1
```

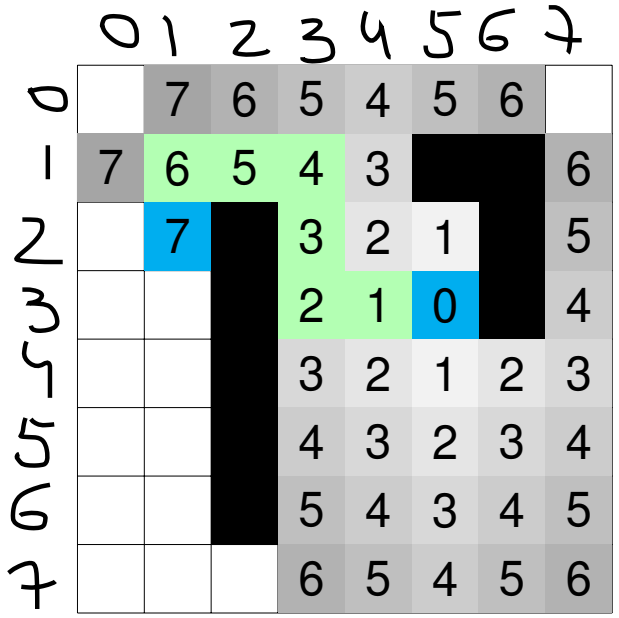
distância mínima de origem para destino

índices i e j da origem

índices i e j das células seguintes no caminho

...

índices i e j do destino



Programa a ser Desenvolvido

- **Programa sequencial**: fornecido pronto
- **Desenvolver programa paralelo, usando OpenMP**:
  - **Explorar paralelismo na fase de expansão**
  - **Programa deve ser em C ou C++**
- **Interface de execução dos programas**:
  - Por linha de comando com argumentos:

    ```
    rotseq entrada.txt saida.txt
    rotpar entrada.txt saida.txt
    ```

- **Submissão**: um único arquivo .zip com programa fonte paralelo
  - **Programa deve ter no cabeçalho**:
    - Nome dos alunos do grupo: **máximo de 2 alunos**
    - Comando de compilação por linha de comando
  - NÃO submeter executável, programa sequencial, arquivos de entrada/saída, ...
- **Prazo de entrega**: 05 outubro