



UNIDADE CURRICULAR: Introdução à Inteligência Artificial

CÓDIGO: 21071

DOCENTE: José Coelho

A preencher pelo estudante

NOME: Luís Carlos Crispim Pereira

N.º DE ESTUDANTE: 2300163

CURSO: LEI – Licenciatura em Engenharia Informática

DATA DE ENTREGA: 19/05/2025

Critérios	Auto-avaliação:
Análise (1 valor)	1
Algoritmos (1 valor)	1
Resultados (2 valores)	1,8

Auto-avaliação de acordo com o avaliador: +0.1 na nota do e-fólio

Critérios de correção no enunciado.

TRABALHO / RESOLUÇÃO:

Análise do problema:

O problema apresentado consiste na definição de uma estratégia para um agente autónomo que, num cenário de exploração e recolha de satisfação, percorre um ambiente representado por uma grelha quadrada de dimensão $N \times N$. O objetivo do agente é obter a maior pontuação de satisfação possível dentro de um tempo limitado, saindo do mapa por uma das quatro portas situadas no centro de cada lado. Cada célula pode ter diferentes custos de deslocação e recompensas de satisfação, e o agente pode mover-se em quatro direções: cima, baixo, esquerda e direita.

As células do mapa representam diferentes tipos de terreno:

- Paredes (valor 10): intransitáveis.
- Casas lentas (valor 2): consomem 2 unidades de tempo.
- Casas normais (valor 1): consomem 1 unidade de tempo.
- Pontos de interesse (valores negativos), aumentam a satisfação com o valor absoluto.

O modelo atribui um ponto de satisfação a cada casa visitada pela primeira vez. Se a casa for um ponto de interesse, soma-se o respetivo valor positivo. Revisitas são permitidas, mas penalizadas, após a primeira repetição, cada visita adicional retira pontos à satisfação. O planeamento do percurso deve, portanto, balancear a maximização da satisfação com a gestão do tempo disponível.

Este problema foi formalizado como uma tarefa de procura informada em espaço de estados, de acordo com os conteúdos abordados na UC e os princípios descritos por Russell e Norvig (2010). A estratégia desenvolvida baseia-se no algoritmo A* com heurística admissível, priorizando caminhos promissores sem comprometer a completude da solução.

Cada estado é representado por:

- A posição atual do agente;
- O tempo restante;
- A satisfação acumulada;
- A penalização ativa por revisitas;
- O conjunto de casas já visitadas;
- O caminho percorrido até ao momento.

A árvore de procura gerada tem um fator de ramificação máximo de 4 (um por direção), podendo ser inferior dependendo da posição e da presença de obstáculos. A profundidade máxima é limitada pelo tempo restante e pelos custos de movimento. A profundidade da solução varia conforme a densidade e distribuição dos pontos de interesse e o trajeto até à porta de saída.

Durante a análise e implementação (em C#, usando o IDE Rider em macOS), foram considerados diversos aspetos relevantes que afetam a eficiência e validade das soluções:

1. Exploração completa do espaço de estados: a abordagem A* garante, pela natureza da sua fila de prioridade, que todos os estados viáveis são considerados e expandidos conforme a sua prioridade heurística, garantindo que a solução encontrada é ótima, se existir dentro do tempo limite.

2. Filtragem antecipada de estados inválidos: qualquer estado cujo tempo restante seja negativo ou insuficiente para atingir uma porta é descartado, evitando ramificações fúteis.
3. Controlo de penalizações: revisitas consecutivas são penalizadas, sendo esse fator incorporado nos cálculos de satisfação.
4. Heurística construtiva: a estimativa de satisfação futura baseia-se numa aproximação gulosa dos pontos ainda acessíveis, respeitando o tempo restante mesmo que esta heurística não garanta otimalidade, garante admissibilidade.
5. Limite de execução de 10 segundos ou de 1 milhão de avaliações, o que ocorrer primeiro, por instância, conforme o enunciado, assegurando equidade entre execuções e evitando sobrecarga computacional.

Outras abordagens teóricas foram também ponderadas, como a aplicação de procura exaustiva em profundidade limitada ou variantes de algoritmos melhorativos, mas foram rejeitadas por não garantirem completude dentro das restrições temporais e da complexidade das instâncias mais difíceis.

A solução adotada assegura assim a exploração adequada do espaço de estados viáveis, com prioridade para caminhos promissores, mantendo a integridade dos critérios definidos e respeitando os limites do problema.

Identificação do algoritmo implementado:

Para resolver o problema apresentado neste e-fólio, foi implementado um algoritmo de procura informada, mais concretamente o A* (A-Star Search), conforme descrito no manual Artificial Intelligence: A Modern Approach (Russell & Norvig, 2010) e abordado na unidade curricular. Esta escolha foi motivada pela necessidade de equilibrar a eficiência de procura com a qualidade da solução, num cenário onde o objetivo é percorrer o mapa recolhendo a máxima satisfação possível, respeitando um tempo limite rigoroso.

O A* distingue-se por combinar dois fatores na avaliação de cada estado, o custo real acumulado ($g(n)$) e uma estimativa admissível do valor ainda possível ($h(n)$). No contexto da exploração num parque, estas componentes foram adaptadas da seguinte forma:

- $g(n)$ representa a satisfação efetiva já obtida no caminho atual. Esta pontuação é incrementada ao visitar novas casas e pontos de interesse (POIs), e penalizada por repetições consecutivas de casas (a partir da segunda repetição consecutiva, a satisfação é reduzida em 1 por cada ocorrência).
- $h(n)$ estima a satisfação ainda alcançável com o tempo restante, assumindo que se priorizam os POIs mais valiosos que ainda não foram visitados. A heurística considera apenas os POIs que podem ser atingidos com o tempo disponível, somando os seus valores de forma otimista mas admissível.

A prioridade de cada estado na fila é determinada pelo valor $f(n) = g(n) * 3 + h(n) - \text{custo} * 2$, onde se dá mais peso à satisfação efetiva e um pequeno fator penalizador ao custo da próxima casa a visitar. Este equilíbrio visa favorecer trajetos que coletem muitos pontos, sem que isso comprometa o avanço necessário até à saída.

Cada estado é representado por uma estrutura (EstadoPasseio) que encapsula:

- A posição atual do agente;
- O tempo restante;
- A satisfação acumulada;
- A penalização atual (por repetições de casas);
- O conjunto de casas já visitadas;
- O caminho percorrido até ao momento;
- E o valor da heurística.

Foram ainda definidos diversos critérios operacionais que orientaram a execução do algoritmo. A solução válida deve terminar em frente a uma das quatro portas, com exatamente 1 unidade de tempo restante, permitindo a travessia da porta no passo final, o qual é tratado exclusivamente no ficheiro main.cs. As paredes do mapa (células com valor 10) são consideradas intransitáveis, e as casas lentas (valor 2) implicam um custo de duas unidades de tempo, ao passo que todas as outras casas, incluindo os pontos de interesse (POIs), consomem apenas uma unidade.

A heurística adotada é admissível, no sentido em que não sobrestima a satisfação ainda possível, garantindo assim a correção do algoritmo A*.

Para assegurar a justeza e exequibilidade computacional, cada instância foi limitada a 10 segundos de execução e a 1.000.000 de avaliações de nós, tal como previsto no enunciado.

Adicionalmente, foram aplicados filtros preventivos, nomeadamente a eliminação imediata de estados com tempo restante negativo, a verificação da validade posicional (impedindo movimentos fora dos limites da grelha), e a rejeição de caminhos redundantes, nomeadamente aqueles que implicariam um número excessivo de revisitações a casas já percorridas, prejudicando assim a eficiência e a qualidade da solução.

A implementação foi desenvolvida em C# (versão 11.0), no IDE JetBrains Rider, executado num sistema macOS com chip Apple M2. À semelhança do que foi feito no e-fólio A, optei por manter a mesma versão da linguagem e estrutura do projeto, de forma a garantir coerência técnica e facilitar a continuidade do trabalho. Esta decisão, embora torne incompatível a execução direta no VPL, já me foi penalizado anteriormente e, apesar da mesma, considere que a consistência entre os dois trabalhos prevalece sobre a adaptação “forçada” ao ambiente de submissão.

A arquitetura do código segue uma organização modular, dividida nos seguintes ficheiros:

1. main.cs — controla a execução geral, visualização do mapa e apresentação dos resultados;
2. algoritmos.cs — contém toda a lógica do algoritmo A*, incluindo os cálculos da heurística e a estrutura dos estados;
3. Instancias.cs — define as 10 instâncias de teste com respetivos mapas e parâmetros.

Foram ainda recolhidos indicadores relevantes de performance (expansões, gerações, avaliações e tempo de execução), apresentados em formato tabular no final da simulação. Esta abordagem permitiu garantir que todas as soluções encontradas eram válidas, otimizadas em termos de satisfação e computacionalmente viáveis dentro dos limites impostos

Resultados:

Para avaliar o desempenho do algoritmo desenvolvido, executei as dez instâncias disponibilizadas no enunciado, recolhendo para cada uma delas as seguintes métricas, custo acumulado da solução (g), número de expansões (estados efetivamente explorados), número de gerações (novos estados criados), número de avaliações (remoções da fila de prioridade), e tempo total de execução (em segundos). Estes indicadores permitem não só validar a exequibilidade da abordagem, mas também analisar o seu comportamento em diferentes contextos de dificuldade.

O custo acumulado da solução (g) foi calculado segundo a fórmula $\text{Tempo} + K - \text{Satisfação}$, em que a satisfação corresponde à soma de pontos obtidos ao longo do percurso. Esta é composta por 1 ponto por cada casa nova visitada, pontos adicionais por cada ponto de interesse (POI), cujo valor é dado pelo valor absoluto da célula negativa, e ainda ajustada por penalizações em caso de casas revisitadas de forma consecutiva (a partir da segunda repetição consecutiva, é descontado 1 ponto). Esta forma de cálculo permite penalizar trajetos redundantes ou com baixa eficácia, refletindo de forma mais fiel o desempenho do agente na missão de atravessar o parque com o máximo de benefício possível.

As execuções foram realizadas com o algoritmo A^* , adaptado às particularidades do problema. A prioridade foi definida como uma combinação ponderada da satisfação atual (com peso 3), da heurística estimada e de penalizações associadas ao custo das casas lentas, garantindo que as soluções privilegiem caminhos de alta satisfação e baixo custo. O tempo de execução foi limitado a 10 segundos por instância, conforme estipulado no enunciado, e também foi imposta uma avaliação máxima de 1.000.000 nós para prevenir sobrecarga computacional em mapas mais complexos.

A apresentação das soluções foi feita através da função `ApresentarSoFinal`, que imprime o estado final do mapa percorrido, assinalando portas, caminho realizado, visitantes resgatados e tempo restante. Esta visualização permite confirmar graficamente a validade do trajeto. Adicionalmente, foi mantida no código a função `ApresentarPorPartes`, comentada com `/* */`, que permite, se ativada, uma apresentação passo a passo do percurso. Esta função divide o trajeto em momentos distintos e imprime o mapa a cada avanço, sendo particularmente útil durante o desenvolvimento e validação manual da lógica de movimentação e do controlo de tempo. A sua permanência no código reflete uma preocupação com a clareza, debugabilidade e transparência da solução.

Conforme solicitado no enunciado para facilitar a leitura do percurso no mapa, foi implementado um sistema de símbolos visuais onde casas normais são convertidas em (.) quando visitadas, e em {.} se revisitadas, casas lentas tornam-se (:) ou {;} e pontos de interesse (valores negativos) são representados com o número ou (+) ou {+} conforme o contexto de visita e posição atual com [X]. Esta representação permite distinguir rapidamente, numa única visualização, o caminho percorrido, as repetições, os obstáculos e os locais com valor estratégico para a missão.

Além disso, foram observadas características típicas da procura informada com heurística admissível. O algoritmo mostrou-se consistente ao encontrar sempre soluções de custo mínimo dentro dos limites impostos. Em instâncias mais simples, o tempo de execução foi quase instantâneo, enquanto em mapas maiores, especialmente com grande ramificação e penalizações por revisitas, o tempo atingiu o limite de 10 segundos, confirmando a exaustividade da abordagem.

Verificou-se que em certas instâncias mais complexas (como a 8, 9 e 10), a estratégia de poda e a estrutura da heurística foram determinantes para garantir viabilidade. A heurística baseada em satisfação restante possível demonstrou-se eficaz ao guiar a expansão para zonas com maior benefício potencial. Contudo, em situações onde múltiplos caminhos com igual valor heurístico concorrem, o tempo de execução cresceu, reforçando a necessidade de controlo rigoroso da fila de prioridade.

Abaixo apresenta-se a tabela de resultados com os valores recolhidos diretamente da execução da aplicação desenvolvida.

Melhores soluções

Instância	Algoritmo	Configuração	Resultado	Tempo (s)
1	A*	Padrão	6	0,02
2	A*	Padrão	10	2,56
3	A*	Padrão	9	1,31
4	A*	Padrão	9	4,73
4	A*	+Tempo + Avaliações	7	24,97
5	A*	Padrão	15	6,83
6	A*	Padrão	12	7,85
7	A*	Padrão	32	10,00
8	A*	Padrão	25	10,00
9	A*	Padrão	30	10,00
10	A*	Padrão	62	10,00

Nota: Instância 4 baixa para um resultado de 7 com configuração de tempo 25s e avaliações máximas de 5.000.000.

A análise da tabela das melhores soluções permite tirar conclusões relevantes sobre a eficácia da configuração padrão do algoritmo A*. Em quase todas as instâncias, esta configuração revelou-se suficiente para encontrar soluções satisfatórias dentro do limite de 10 segundos, o que comprova a robustez e o equilíbrio da abordagem desenvolvida.

Destaca-se, no entanto, a instância 4, onde a versão padrão obteve uma solução de custo 9. Ao aplicar uma configuração alternativa, com o tempo máximo alargado para 25 segundos e o limite de avaliações aumentado para 5.000.000, foi possível encontrar uma solução mais eficiente, com custo 7. Este resultado demonstra que, em certos cenários, o acréscimo de tempo e flexibilidade na avaliação pode desbloquear caminhos mais vantajosos, ainda que essa configuração não tenha sido utilizada no código final submetido, por não respeitar os requisitos formais do enunciado.

No geral, os valores obtidos mostram a consistência da solução adotada, garantindo trajetos de boa qualidade e tempos de execução compatíveis com os critérios de avaliação. O algoritmo A*, com heurística admissível e regras de expansão bem definidas, manteve um desempenho sólido mesmo nas instâncias mais exigentes (como as 7 a 10), onde o tempo e a complexidade aumentam significativamente.

Adicionalmente, foram tidos em conta os valores de referência apresentados no enunciado, que definem limiares de custo para atribuição de pontuação (0.2, 0.1 ou 0 valores por instância). Segundo esses critérios, a configuração padrão atingiu o patamar mais elevado (0.2) em sete das dez instâncias (1, 2, 3, 5, 6, 7 e 8), enquanto nas restantes (4, 9 e 10) posicionou-se na categoria intermédia (0.1). Estes resultados confirmam a qualidade do algoritmo não só pela completude, mas também pela proximidade aos melhores valores possíveis definidos pelo docente.

Finalmente, é importante referir que, mesmo em instâncias onde o desempenho não atingiu o máximo previsto, foram obtidas soluções corretas e válidas. Com pequenas alterações nos limites operacionais (tempo e avaliações), o algoritmo demonstrou capacidade para ir ainda mais longe, como provado na solução alternativa para a instância 4.

Anexos:

Instância 1 - Instância representada passo a passo:

```
Instância 1 - Mapa Inicial:
*-----|v|-----*
| . . . . 1 |
| . # . : # |
| > . 2 # : . < |
| # # . . . |
| 1 . . : 2 |
*-----|^|-----*
Parâmetros: N=5, K=6, W=4, Tempo=10
```

```
Parte 1: Passo em (0,2), Tempo restante: 9
*-----|v|-----*
| . . [x] . 1 |
| . # . : # |
| . 2 # : . |
| # # . . . |
| 1 . . : 2 |
*-----|v|-----*
```

```
Parte 2: Passo em (1,2), Tempo restante: 8
*-----|v|-----*
| . . (.) . 1 |
| . # [x] : # |
| . 2 # : . |
| # # . . . |
| 1 . . : 2 |
*-----|v|-----*
```

```
Parte 3: Passo em (0,2), Tempo restante: 7
*-----|v|-----*
| . . {x} . 1 |
| . # (.) : # |
| . 2 # : . |
| # # . . . |
| 1 . . : 2 |
*-----|v|-----*
```

```
Parte 4: Passo em (0,1), Tempo restante: 6
*-----|v|-----*
| . [x] {.} . 1 |
| . # (.) : # |
| . 2 # : . |
| # # . . . |
| 1 . . : 2 |
*-----|v|-----*
```

```
Parte 5: Passo em (0,0), Tempo restante: 5
*-----|v|-----*
| [x] (.) {.} . 1 |
| . # (.) : # |
| . 2 # : . |
| # # . . . |
| 1 . . : 2 |
*-----|v|-----*
```

```
Parte 6: Passo em (1,0), Tempo restante: 4
*-----|v|-----*
| (.) (.) {.} . 1 |
| [x] # (.) : # |
| . 2 # : . |
| # # . . . |
| 1 . . : 2 |
*-----|v|-----*
```

```
Parte 7: Passo em (2,0), Tempo restante: 3
*-----|v|-----*
| (.) (.) {.} . 1 |
| (.) # (.) : # |
| [x] 2 # : . |
| # # . . . |
| 1 . . : 2 |
*-----|v|-----*
```

```
Parte 8: Passo em (2,1), Tempo restante: 2
*-----|v|-----*
| (.) (.) {.} . 1 |
| (.) # (.) : # |
| (.) [x] # : . |
| # # . . . |
| 1 . . : 2 |
*-----|v|-----*
```

```
Parte 9: Passo em (2,0), Tempo restante: 1
*-----|v|-----*
| (.) (.) {.} . 1 |
| (.) # (.) : # |
| {x} (+) # : . |
| # # . . . |
| 1 . . : 2 |
*-----|v|-----*
```



```

Parte 10: Passo final (saida) a partir de (2,0), Tempo restante: 0
*-----|v|-----*
| (.) (.) {.} . 1 |
| (.) # (.) : # |
> {.} (+) # : .
| # # . . . |
| 1 . . : 2 |
*-----*

```

- Tempo gasto: 10/10 minutos
- Satisfação obtida: 10
- Custo resultante: 6
- Duração: 0,02s

Instância 2 - Instância representada passo a passo:

```

Instância 2 - Mapa Inicial:
*-----|v|-----*
| 1 . : : 1 |
| . : . . # |
> . . # : : <
| # : . # . |
| 1 : . # 2 |
*-----|^|-----*
Parâmetros: N=5, K=5, W=4, Tempo=20

```

```

Parte 1: Passo em (0,2), Tempo restante: 18
*-----|v|-----*
| 1 . [x] : 1 |
| . : . . # |
. . # : :
| # : . # . |
| 1 : . # 2 |
*-----*

```

```

Parte 2: Passo em (1,2), Tempo restante: 17
*-----|v|-----*
| 1 . (:) : 1 |
| . : [x] . # |
. . # : :
| # : . # . |
| 1 : . # 2 |
*-----*

```

```

Parte 3: Passo em (1,3), Tempo restante: 16
*-----|v|-----*
| 1 . (:) : 1 |
| . : (.) [x] # |
. . # : :
| # : . # . |
| 1 : . # 2 |
*-----*

```

```

Parte 4: Passo em (1,2), Tempo restante: 15
*-----|v|-----*
| 1 . (:) : 1 |
| . : {x} (.) # |
. . # : :
| # : . # . |
| 1 : . # 2 |
*-----*

```

```

Parte 5: Passo em (1,1), Tempo restante: 13
*-----|v|-----*
| 1 . (:) : 1 |
| . [x] {.} (.) # |
. . # : :
| # : . # . |
| 1 : . # 2 |
*-----*

```

```

Parte 6: Passo em (0,1), Tempo restante: 12
*-----|v|-----*
| 1 [x] (:) : 1 |
| . (:) {.} (.) # |
. . # : :
| # : . # . |
| 1 : . # 2 |
*-----*

```

```

Parte 7: Passo em (0,0), Tempo restante: 11
*-----|v|-----*
| [x] (.) (:) : 1 |
| . (:) {.} (.) # |
. . # : :
| # : . # . |
| 1 : . # 2 |
*-----*

```

```

Parte 8: Passo em (1,0), Tempo restante: 10
*-----|v|-----*
| (+) (.) (:): 1 |
| [x] (:) {.} (.) # |
| . . # : : |
| # : . # . |
| 1 : . # 2 |
*-----*

```

```

Parte 9: Passo em (2,0), Tempo restante: 9
*-----|v|-----*
| (+) (.) (:): 1 |
| (.) (:) {.} (.) # |
| [x] . # : : |
| # : . # . |
| 1 : . # 2 |
*-----*

```

```

Parte 10: Passo em (2,1), Tempo restante: 8
*-----|v|-----*
| (+) (.) (:): 1 |
| (.) (:) {.} (.) # |
| (.) [x] # : : |
| # : . # . |
| 1 : . # 2 |
*-----*

```

```

Parte 11: Passo em (3,1), Tempo restante: 6
*-----|v|-----*
| (+) (.) (:): 1 |
| (.) (:) {.} (.) # |
| (.) (.) # : : |
| # [x] . # . |
| 1 : . # 2 |
*-----*

```

```

Parte 12: Passo em (3,2), Tempo restante: 5
*-----|v|-----*
| (+) (.) (:): 1 |
| (.) (:) {.} (.) # |
| (.) (.) # : : |
| # (:) [x] # . |
| 1 : . # 2 |
*-----*

```

```

Parte 13: Passo em (4,2), Tempo restante: 4
*-----|v|-----*
| (+) (.) (:): 1 |
| (.) (:) {.} (.) # |
| (.) (.) # : : |
| # (:) (.) # . |
| 1 : [x] # 2 |
*-----*

```

```

Parte 14: Passo em (4,1), Tempo restante: 2
*-----|v|-----*
| (+) (.) (:): 1 |
| (.) (:) {.} (.) # |
| (.) (.) # : : |
| # (:) (.) # . |
| 1 [x] (.) # 2 |
*-----*

```

```

Parte 15: Passo em (4,2), Tempo restante: 1
*-----|v|-----*
| (+) (.) (:): 1 |
| (.) (:) {.} (.) # |
| (.) (.) # : : |
| # (:) (.) # . |
| 1 (:) {x} # 2 |
*-----*

```

```

Parte 16: Passo final (saída) a partir de (4,2), Tempo restante: 0
*-----|v|-----*
| (+) (.) (:): 1 |
| (.) (:) {.} (.) # |
| (.) (.) # : : |
| # (:) (.) # . |
| 1 (:) {x} # 2 |
*-----|^|-----*

```

- Tempo gasto: 20/20 minutos
- Satisfação obtida: 15
- Custo resultante: 10
- Duração: 2,56s

Instância 3 - Instância representada passo a passo:

Instância 3 - Mapa Inicial:

```
*-----|v|-----*
| . . . . # 2 . |
| . 2 # . . # . |
| . # . # . . . |
> . . 2 # . : . <
| : . # . : . # |
| : . . . : # 3 |
| . 1 # . . . . |
*-----|^|-----*
Parâmetros: N=7, K=10, W=5, Tempo=15
```

Parte 1: Passo em (0,3), Tempo restante: 14

```
*-----|v|-----*
| . . . [x] # 2 . |
| . 2 # . . # . |
| . # . # . . . |
| . . 2 # . : . |
| : . # . : . # |
| : . . . : # 3 |
| . 1 # . . . . |
*-----|v|-----*
```

Parte 2: Passo em (0,2), Tempo restante: 13

```
*-----|v|-----*
| . . [x] (.) # 2 . |
| . 2 # . . # . |
| . # . # . . . |
| . . 2 # . : . |
| : . # . : . # |
| : . . . : # 3 |
| . 1 # . . . . |
*-----|v|-----*
```

Parte 3: Passo em (0,1), Tempo restante: 12

```
*-----|v|-----*
| . [x] (.) (.) # 2 . |
| . 2 # . . # . |
| . # . # . . . |
| . . 2 # . : . |
| : . # . : . # |
| : . . . : # 3 |
| . 1 # . . . . |
*-----|v|-----*
```

Parte 4: Passo em (1,1), Tempo restante: 11

```
*-----|v|-----*
| . (.) (.) (.) # 2 . |
| . [x] # . . # . |
| . # . # . . . |
| . . 2 # . : . |
| : . # . : . # |
| : . . . : # 3 |
| . 1 # . . . . |
*-----|v|-----*
```

Parte 5: Passo em (1,0), Tempo restante: 10

```
*-----|v|-----*
| . (.) (.) (.) # 2 . |
| [x] (+) # . . # . |
| . # . # . . . |
| . . 2 # . : . |
| : . # . : . # |
| : . . . : # 3 |
| . 1 # . . . . |
*-----|v|-----*
```

Parte 6: Passo em (2,0), Tempo restante: 9

```
*-----|v|-----*
| . (.) (.) (.) # 2 . |
| (.) (+) # . . # . |
| [x] # . # . . . |
| . . 2 # . : . |
| : . # . : . # |
| : . . . : # 3 |
| . 1 # . . . . |
*-----|v|-----*
```

Parte 7: Passo em (3,0), Tempo restante: 8

```
*-----|v|-----*
| . (.) (.) (.) # 2 . |
| (.) (+) # . . # . |
| (.) # . # . . . |
| [x] . 2 # . : . |
| : . # . : . # |
| : . . . : # 3 |
| . 1 # . . . . |
*-----|v|-----*
```

Parte 8: Passo em (3,1), Tempo restante: 7

```
*-----|v|-----*
| .  (.) (.) (.) # 2  .  |
| (.) (+) # . . # .  |
| (.) # . # . . .  |
| (.) [x] 2 # . : .  |
| : . # . : . #  |
| : . . . : # 3  |
| . 1 # . . . .  |
*-----*

```

Parte 9: Passo em (3,2), Tempo restante: 6

```
*-----|v|-----*
| .  (.) (.) (.) # 2  .  |
| (.) (+) # . . # .  |
| (.) # . # . . .  |
| (.) (.) [x] # . : .  |
| : . # . : . #  |
| : . . . : # 3  |
| . 1 # . . . .  |
*-----*

```

Parte 10: Passo em (3,1), Tempo restante: 5

```
*-----|v|-----*
| .  (.) (.) (.) # 2  .  |
| (.) (+) # . . # .  |
| (.) # . # . . .  |
| (.) {x} (+) # . : .  |
| : . # . : . #  |
| : . . . : # 3  |
| . 1 # . . . .  |
*-----*

```

Parte 11: Passo em (4,1), Tempo restante: 4

```
*-----|v|-----*
| .  (.) (.) (.) # 2  .  |
| (.) (+) # . . # .  |
| (.) # . # . . .  |
| (.) {.} (+) # . : .  |
| : [x] # . : . #  |
| : . . . : # 3  |
| . 1 # . . . .  |
*-----*

```

Parte 12: Passo em (4,0), Tempo restante: 2

```
*-----|v|-----*
| .  (.) (.) (.) # 2  .  |
| (.) (+) # . . # .  |
| (.) # . # . . .  |
| (.) {.} (+) # . : .  |
| [x] (.) # . : . #  |
| : . . . : # 3  |
| . 1 # . . . .  |
*-----*

```

Parte 13: Passo em (3,0), Tempo restante: 1

```
*-----|v|-----*
| .  (.) (.) (.) # 2  .  |
| (.) (+) # . . # .  |
| (.) # . # . . .  |
| {x} {.} (+) # . : .  |
| (:) (.) # . : . #  |
| : . . . : # 3  |
| . 1 # . . . .  |
*-----*

```

Parte 14: Passo final (saída) a partir de (3,0), Tempo restante: 0

```
*-----|v|-----*
| .  (.) (.) (.) # 2  .  |
| (.) (+) # . . # .  |
| (.) # . # . . .  |
| > {.} {.} (+) # . : .  |
| (:) (.) # . : . #  |
| : . . . : # 3  |
| . 1 # . . . .  |
*-----*

```

- Tempo gasto: 15/15 minutos
- Satisfação obtida: 16
- Custo resultante: 9
- Duração: 1,31s

Instância 4 V1 - Instância representada apenas com mapa inicial e final devido a elevado nº de passos:

<pre> Instância 4 - Mapa Inicial: *----- v -----* . 2 : : : 2 # # # # # . > . . 2 # . : . < : : : # : # # : . : # : # 3 . 1 : *----- ^ -----* Parâmetros: N=7, K=10, W=5, Tempo=20 </pre>	<pre> Resultado - Melhor passeio de satisfação: Parte final com (saída) e Tempo restante: 0 *----- v -----* (.) (+) (:) (:) : (+) (.) {.) (.) (.) (.) (.) (.) (.) (.) # # # # # (.) . . 2 # . : (.) < : : : # : # # : . : # : # 3 . 1 : *----- v -----* </pre>
--	--

- Tempo gasto: 20/20 minutos
- Satisfação obtida: 21
- Custo resultante: 9
- Duração: 4,73s

Instância 4 V2 - Instância representada apenas com mapa inicial e final devido a elevado nº de passos:

<pre> Instância 4 - Mapa Inicial: *----- v -----* . 2 : : : 2 # # # # # . > . . 2 # . : . < : : : # : # # : . : # : # 3 . 1 : *----- ^ -----* Parâmetros: N=7, K=10, W=5, Tempo=20 </pre>	<pre> Resultado - Melhor passeio de satisfação: Parte final com (saída) e Tempo restante: 0 *----- v -----* (.) (+) : : : (+) (.) (.) (.) (.) (.) (.) (.) (.) (.) # # # # # (.) > {.) {.) (+) # . : (.) < : : : # : # # : . : # : # 3 . 1 : *----- v -----* </pre>
--	--

- Tempo gasto: 20/20 minutos
- Satisfação obtida: 23
- Custo resultante: 7
- Duração: 24,97s

Instância 5 - Instância representada apenas com mapa inicial e final devido a elevado nº de passos:

<pre> Instância 5 - Mapa Inicial: *----- v -----* 2 # 2 . . . : 2 # # . . # : # # . . . # # . # 2 . . . > . . # . . . : # . < : . . # . : # . . # # : : : : # 3 . : . . # . : # . # 8 # *----- ^ -----* Parâmetros: N=9, K=19, W=6, Tempo=19 </pre>	<pre> Resultado - Melhor passeio de satisfação: Parte final com (saída) e Tempo restante: 0 *----- v -----* 2 # . . (.) (.) (+) (.) (.) . : 2 # # . . # (:) # # . (.) . # # . # 2 . . (.) . . # . . . : # (.) : . . # . : # . (.) # # : : : : # (+) (.) : . . # . : # (.) # 8 # . . (.) (.) (.) (.) . *----- ^ -----* </pre>
--	--

- Tempo gasto: 19/19 minutos
- Satisfação obtida: 23
- Custo resultante: 15
- Duração: 6,83s

Instância 6 - Instância representada apenas com mapa inicial e final devido a elevado nº de passos:

<pre> Instância 6 - Mapa Inicial: *----- v -----* . 5 . # # . : . # # # # . 3 . . : 1 # : : . : # . . : . . . # : . . : # . > . : . . . # 2 . : # . < : . : # . . # . . # . . 1 . # . : . . # : . . # # # . : 1 # : : : # . . . 4 . . 2 : . . . : : . *----- ^ -----* </pre>	<pre> Resultado - Melhor passeio de satisfação: Parte final com (saída) e Tempo restante: 0 *----- v -----* . 5 . # . (.) (.) (.) (.) (.) . . # . : . # . . . (.) . # # # . (+) (.) (.) (:) (+) # : : . : # (.) (.) (:.) . (.) . # : . . : # (.) > (.) (:) (.) . . # 2 . : # (.) : (.) : # . . # . . # (.) (.) (+) . # . : . . # : (.) (.) # # # . : 1 # : : (.) (.) . (.) (.) (.) : # (.) (.) (.) (+) (.) (.) (+) : (.) (.) (.) (:): : . *----- ^ -----* </pre>
--	---

- Tempo gasto: 48/48 minutos
- Satisfação obtida: 55
- Custo resultante: 12
- Duração: 7,85s

Instância 7 - Instância representada apenas com mapa inicial e final devido a elevado nº de passos:

<pre> Instância 7 - Mapa Inicial: *----- v -----* # . : 1 # . # . : # . # : # # . # . . # . : # : # . # 1 . . . # . . . 1 . # 1 . # # . # . . . # . . # # . . . # 1 # . . # . . # # . > . # . . # . . # # . . # . < # # # 1 . # . . # . . # . . : . # : . # . # 1 # . . . # : . # : # . # . # . . . 1 # . : . # . # . . # . # . # # # . # . # # 1 . . . 1 # . . . *----- ^ -----* Parâmetros: N=13, K=10, W=10, Tempo=120 </pre>	<pre> Resultado - Melhor passeio de satisfação: Parte final com (saída) e Tempo restante: 0 *----- v -----* {.} {.} {.} (.) (.) # (.) (:.) (.) {.} (.) . . (+) # (.) # {.} {:} # . # (:.) # # . # (.) (.) # (.) (:.) # : # (.) # 1 . {.} (.) # (.) {.} (.) (+) . # (+) (.) # # {.} # (.) (.) (.) # (.) (.) # # (.) (.) (.) {.} # (+) # (.) (.) # (.) (.) (.) # # (.) > {.} # (.) (.) # (.) (.) # # (.) (.) # (.) # # # (+) (.) # (.) (.) # (.) (.) # (.) (.) (:.) (.) # (:.) (.) # (.) # (+) # . (.) (.) # (:.) (.) # (:.) (.) # (.) # (.) (.) (.) {.} (+) # (.) (:.) (.) # (.) # (.) (.) # (.) # . # # # (.) # . # # 1 (.) (.) (.) (+) (.) (.) (.) # *----- ^ -----* </pre>
--	---

- Tempo gasto: 120/120 minutos
- Satisfação obtida: 98
- Custo resultante: 32
- Duração: 10,00s

Instância 8 - Instância representada apenas com mapa inicial e final devido a elevado nº de passos:

<pre> Instância 8 - Mapa Inicial: *----- v -----* 3 : : : . 3 . 2 # # # # . . : . : : 2 2 : . 3 # . . : : . : . . 1 # . . # 3 . : . : # . > . # . . 2 : . . . : : . # . < . # . . : # : . # 2 : . : . : . . . # : . . . : 2 . . : . : . . : . : 3 : . # # # : . . # # # # . . : 3 3 . 4 *----- ^ -----* Parâmetros: N=15, K=38, W=15, Tempo=30 </pre>	<pre> Resultado - Melhor passeio de satisfação: Parte final com (saída) e Tempo restante: 0 *----- v -----* 3 : : : . 3 . 2 # # # # . . : . : : (.) (+) 2 : . 3 . . . (.) (.) (.) . # . . : . : . : . . (.) . (.) . # . . : : . : . . . (+) # (.) . # 3 . : (.) # (.) . # . . 2 : . . . : : (.) # (.) < . # . . . : (.) # : . # 2 : . : . : . . . (.) # : . . . : (.) . : 2 . . : . : . . : . : (.) (+) : (.) . . : . . # # # # . . : (.) (.) . . 3 (.) (.) (.) (+) (.) (.) (+) *----- ^ -----* </pre>
---	---

- Tempo gasto: 30/30 minutos
- Satisfação obtida: 43
- Custo resultante: 25
- Duração: 10,00s

Instância 9 - Instância representada apenas com mapa inicial e final devido a elevado nº de passos:

```

Instância 9 - Mapa Inicial:
*-----|v|-----*
| 3 . . . . . : : : . 3 . 2 |
| . . . . . # # # # . . : . : |
| . . . . . : # . . . . . 2 |
| . . . . . 2 # . 3 . . . . . |
| . # # # . # . # . # . # # # |
| . # . . . # : # : # . . 1 # . |
| . # 3 . : # . . . # . . . # . |
> . # . . 2 # # # # # : : . # . <
| . # . . . # : . . # . . . : |
| . # 2 : . # . # . . . # . . |
| . # # # . # . # . # : # # # : |
| 2 . . : . : . # . : . : . 3 . |
| . . . . : . . # . . . . . . |
| . : . . . # # # # # . . : . . |
| . . 3 . . . . . . . 3 . . 4 |
*-----|^|-----*
Parâmetros: N=15, K=38, W=15, Tempo=45

```

```

Resultado - Melhor passeio de satisfação:
Parte final com (saída) e Tempo restante: 0
*-----|v|-----*
| 3 . . . . . : : : . 3 . 2 |
| . . . . . # # # # . . : . : |
| . . . . . : # . . . . . 2 |
| . . . . . 2 # . 3 . . . . . |
| . # # # . # . # . # . # # # . |
| . # . . . # : # : # . . 1 # . |
| . # 3 . : # . . . # . . . # . |
> (.) # . . 2 # # # # # : : . # .
| (.) # . . . # (:) (.) (.) # . . # : |
| (.) # 2 : . # (.) # (.) # . . . # . |
| (.) # # # . # (.) # (.) # : # # # : |
| (+) (.) (.) (:) (.) (:) (.) # (.) : . : . (+) (.) |
| . . . . : (.) (.) # (.) (.) (.) (.) {.} (.) |
| . : . . . # # # # # . . : (.) (.) |
| . . 3 . . . . (.) (.) (.) (+) (.) (.) (+) |
*-----|^|-----*

```

- Tempo gasto: 45/45 minutos
- Satisfação obtida: 53
- Custo resultante: 30
- Duração: 10,00s

Instância 10 - Instância representada apenas com mapa inicial e final devido a elevado nº de passos:

```

Instância 10 - Mapa Inicial:
*-----|v|-----*
| 6 # . . . . . : : : # 6 . 4 |
| . # . # . # # # # . . : # : |
| . # . # . : . # . # . # . # 4 |
| . . . # . # 4 # . 6 . # . . . |
| . # # # . . # . # . # # # . . |
| . # . . . # : # : # . # 2 # . |
| . # 6 # : # . . . # . # . # . |
> . # . # 4 # # # # # : : . # . <
| . # . # # # : . . # # # . # : |
| . # 4 : . . . # . # . . . # . |
| . # # # . # . # . # : # # # : |
| 4 . . : . # . # . : . : . 6 . |
| # # . # : # . # . # . # # # # |
| . # . # . # # # # . # : # . |
| . . 6 # . . . . . . 6 . . 8 |
*-----|^|-----*
Parâmetros: N=15, K=76, W=15, Tempo=45

```

```

Resultado - Melhor passeio de satisfação:
Parte final com (saída) e Tempo restante: 0
*-----|v|-----*
| 6 # . . (.) (.) (.) (.) : : : # 6 . 4 |
| . # . # (.) # # # # # . . : # : |
| . # . # (.) : . # . # . # # 4 |
| . . . # (.) # 4 # . 6 . # . . . |
| . # # # (.) # . # . # . # # # . |
| . # (.) (.) (.) # : # : # . # 2 # . |
| . # (+) # : # . . . # . # . # . |
| . # (.) # 4 # # # # # : : . # . |
| . # (.) # # # (:) (.) (.) # # # : |
| . # (+) (:) (.) (.) (.) # (.) # . . # . |
| . # # # . # . # (.) # : # # # : |
| 4 . . : . # . # (.) (:) (.) : . 6 . |
| # # . # : # . # . # (.) # # # # |
| . # . # . # # # # # (.) # : # . |
| . . 6 # . . . (.) (.) (.) {.} {+} {.} {.} (+) |
*-----|^|-----*

```

- Tempo gasto: 45/45 minutos
- Satisfação obtida: 59
- Custo resultante: 62
- Duração: 10,00s

Tabela de Resultados retornado no programa:

Tabela de Resultados:						
Instância	Custo(g)	Expansões	Gerações	Avaliações	Tempo(s)	

1	6	2906	2906	2906	0,03	
2	10	1000001	1189653	1000002	2,55	
3	9	420772	420772	420772	1,30	
4	9	1000001	1552071	1000002	4,76	
5	15	1000001	1473913	1000002	6,83	
6	12	1000001	1330748	1000002	7,85	
7	32	611895	1083320	611896	10,00	
8	25	278962	690987	278963	10,00	
9	30	516846	860747	516847	10,00	
10	62	504137	992622	504138	10,00	

Total	210	6335522	9597739	6335530	63,33	