

UNIVERSIDADE DO MINHO



INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

TRABALHO PRÁTICO

2023/2024

**Autores:**

A100646, Diogo Ribeiro Vassalo de Abreu

A100549, Luís Carlos Fragoso Figueiredo

A100835, Miguel Afonso Gramoso

A100706, Rodrigo Miguel Eiras Monteiro

## ÍNDICE

1. Introdução .....	3
2. Formulação do Problema .....	3
3. Criação do Mapa .....	4
4. Criação do Grafo.....	5
5. Funcionamento do Programa.....	5
5.1 Menus.....	5
6. Estratégias de Procura Não Informada .....	9
6.1 Procura em Profundidade (DFS).....	9
6.1.1 Exemplo de uma Procura em Profundidade (DFS).....	10
6.2 Procura em Largura (BFS).....	11
6.2.1 Exemplo de uma Procura em Largura (BFS).....	11
7. Estratégias de Procura Informada.....	12
7.1 Procura A* .....	12
8. Conclusão .....	13

## Tabela de Figuras

<b>Figura 1:</b> Exemplo de uma instância de objeto Rua .....	4
<b>Figura 2:</b> Mapa da Cidade .....	4
<b>Figura 3:</b> Exemplo de ligações possíveis a um nodo .....	5
<b>Figura 4:</b> Menu Inicial do Programa.....	5
<b>Figura 5:</b> Menu da App.....	6
<b>Figura 6:</b> Tabela de Encomendas Entregues .....	7
<b>Figura 7:</b> Caminhos associados a um algoritmo.....	7
<b>Figura 8:</b> Mapa e moradas highlighted .....	8
<b>Figura 9:</b> Exemplo de uma Procura em Profundidade .....	10
<b>Figura 10:</b> Exemplo de uma Procura em Largura.....	11

## 1. Introdução

Este trabalho foi realizado no âmbito da unidade curricular de Inteligência Artificial da Licenciatura em Engenharia Informática da Universidade do Minho, e teve como objetivo a resolução de problemas através da conceção e implementação de algoritmos de procura. Neste trabalho foram implementadas estratégias para a resolução de problemas com o uso de algoritmos de procura informada e não informada, partindo da formulação do problema em questão. Ao longo deste documento vai ser explicado todo o processo de desenvolvimento dos mecanismos de procura implementadas neste projeto.

## 2. Formulação do Problema

Uma vez que o problema se encontra num ambiente determinístico e completamente observável, em que o agente “sabe” exatamente o estado em que estará e as soluções pretendidas são sequências, podemos afirmar que este é um problema de estado único. Além disso, a sua formulação pode ser efetuada da seguinte forma:

- **Representação do estado:** Grafo não orientado, em que cada nodo representa uma interseção entre uma ou mais ruas
- **Estado inicial:** A posição inicial representa o local de início de onde o estafeta parte
- **Estado/teste objetivo:** Alcançar um ponto de entrega associada à morada atribuída à encomenda a ser entregue pelo estafeta
- **Operadores:** Deslocação entre nodos adjacentes
- **Solução:** Um caminho válido (sequência de posições percorridas) que comece na posição inicial do estafeta (inicialmente a posição gerada automaticamente pelo programa e que depois tose sempre o último ponto de entrega da encomenda anterior) e termine num ponto de entrega da morada associada à encomenda
- **Custo da solução:** Distância total do percurso feito pelo estafeta

### 3. Criação do Mapa

O mapa é criado através de um método denominado *inicializa\_mapa* onde neste se cria uma lista de objetos da classe Rua, associada a um objeto da classe freguesia. Ambas as classes surgem no ficheiro *Cidade.py*.

Cada rua tem um nome, dois pontos de coordenadas (x1,y1) e (x2,y2) que servirão tanto de limite da rua como de ponto de entrega na rua, uma velocidade máxima na rua (será explicada no final do relatório) e uma freguesia.

```
Rua( nome: "Avenida da Liberdade", y1: 0, x1: 0, y2: 0, x2: 200, velocidade_maxima: 80, freguesia: "Gualtar")
```

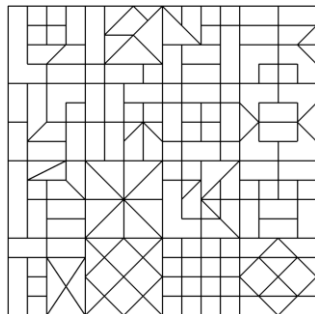
**Figura 1:** Exemplo de uma instância de objeto Rua

Cada freguesia tem um nome e dois pontos de coordenadas (x1,y1) e (x2,y2). No mapa, cada uma destas será visível através do formato quadrangular.

```
Freguesia( nome: "Gualtar", y1: 0, x1: 0, y2: 200, x2: 200)
```

Com a lista de ruas criada e o recurso à classe Canvas (Tkinter) a função *desenha\_mapa* do ficheiro *Cidade.py* faz uma representação gráfica do mapa de acordo com os dois pontos de coordenadas em cada instância de objeto Rua presente na lista de ruas guardada na classe *Mapa* na forma de uma linha. Cada linha guarda uma tag única no formato string para posteriormente ser possível realizar o desenho do caminho de nodos solucionado pelos algoritmos utilizados no programa.

Desta forma, as ruas serão representadas por linhas, podendo estender-se para além de uma interseção ou não. Estas poderão ser horizontais, verticais ou mesmo diagonais.



**Figura 2:** Mapa da Cidade

O mapa tem assim 16 freguesias e mais de uma centena de ruas.

Cada rua tem associada dois pontos de entrega, uma em cada ponta da rua.

## 4. Criação do Grafo

O grafo é criado a partir do método *inicializa\_grafo* presente na classe Grafo. Este método introduz num dicionário todos os nodos e respetivas ligações a esse nodo que serão utilizados para calcular o caminho do estafeta até a um ponto de entrega da morada associada à encomenda.

```
self.nodos["100-0"] = ["50-0", "100-50", "150-0"]
```

**Figura 3:** Exemplo de ligações possíveis a um nodo

Deste modo, cada nodo é um ponto de coordenadas no mapa que faz a ligação entre uma ou mais ruas. É representado no seguinte formato: “x-y” sendo x a abcissa do ponto de coordenadas e y a ordenada do mesmo.

Cada aresta do grafo tem um custo igual à distância entre as coordenadas dos dois pontos associados a esses dois nodos que fazem a aresta.

## 5. Funcionamento do Programa

### 5.1 Menus

O programa começa por apresentar ao administrador o seguinte menu:

# HEALTH PLANET

Gestão App  
Sair do Programa



**Figura 4:** Menu Inicial do Programa

O menu apresenta duas opções:

**1. Gestão App** – Onde é depois possível visualizar toda a informação referente às encomendas entregues e aos estafetas.

**2. Sair** – Botão para sair do programa.

Prosseguindo através da opção 1, o administrador depara-se com outro menu:

## HEALTH PLANET



**Figura 5:** Menu da App

Temos 3 opções:

**1. Visualizar Encomendas** – Onde é possível depois ter acesso às informações referentes a cada tabela.

**2. Visualizar Estafetas** – Onde é possível depois ter acesso às estatísticas de cada estafeta.

**3. Voltar ao Menu Anterior** – Volta ao Menu Inicial.

Escolhendo a opção 1, temos acesso a uma tabela com as 1000 encomendas entregues ao longo do programa.

# HEALTH PLANET

ID	Peso	Morada	Estafeta
f197818c2b7a4705a416c484e2904c26	42.93	Rua Eduardo Pereira, Nova Primavera	Gisela Costa
f57470bef322421b89ae610ba6da1d61	34.05	Travessa dos Tesouros, Sucupira	Sofia Costa
a85e7e425d01484b8cdf8068c4edde9	40.77	Rua Francisco Sá Carneiro, Nova Primavera	Hugo Martins
eb06ada508d04bc9badc36df7ed75871	92.45	Rua São Luís, Monte Verde	Carlos Mendes
b04dd9ba14a9443f80873f3f871628dc	38.29	Avenida Central, Fonte Serena	Helena Silva
1e0f343158f0497ea2725d3c306f817d	60.14	Avenida Central, Fonte Serena	Eduardo Costa
2c3ae91b4a6d43d7ba26e42c62166049	59.77	Avenida das Palmeiras, Sol Nascente	Felícia Santos
17a8d688c28f4463947e3d09eb480a12	96.51	Alameda do Sol, Belo Horizonte	Isabel Oliveira
4e9e9bc014d7453e962892011f5edb5b	14.33	Avenida D.Afonso Henriques, Vale da Paz	Nuno Oliveira
cb002caad8e24925b49ab4d092d2f9aa	52.7	Travessa do Bosque, Sol Nascente	Michelle Oliveira
dea1099394724945b6ae45bd1ac8e1be	44.8	Rua da Paz, Belo Horizonte	Miguel Oliveira
abecdaff3184534bcab990463f1b181	71.2	Alameda dos Sabiás, Gualtar	Carlos Mendes
181555caf0e540bb84383581bfa2f83c	25.54	Avenida D.João I, Fonte Serena	Hugo Martins
cd659c9085a543e69b18c7dca594448b	30.46	Avenida Egas Moniz, Sucupira	Gisela Costa
329f89ac39ee43fda2e4529629359eae	59.32	Avenida das Palmeiras, Sol Nascente	Miguel Oliveira
eb9fb1d37a1444b9bd0971d8766b0c8	64.15	Travessa do Jardim, Porto do Sol	Isabel Oliveira
106b5ae875644a7aadcb39456b0237de	84.58	Alameda Amália Rodrigues, Pedras do Mar	Eduardo Costa
6c5ba70423eb471fbc1c40c06f5128ae	54.32	Avenida da Liberdade, Nova Primavera	Helena Silva
69ce998d47fa4e85887eff974f523e3e	26.27	Travessa das Borboletas, Gualtar	Michelle Oliveira
9842fbd5a9ce4c00aaf0603e6f382c1d	82.48	Rua das Canções, Lagoa Azul	Sofia Costa

[Voltar ao Menu Anterior](#)

Figura 6: Tabela de Encomendas Entregues

Em cada linha da tabela temos informação relativa a uma encomenda com o seu ID, Peso, Morada e Estafeta. O administrador ao clicar numa linha da tabela terá depois acesso ao caminho feito pelo estafeta para entregar a encomenda (inicialmente solucionado com recurso ao algoritmo A\*).

# HEALTH PLANET

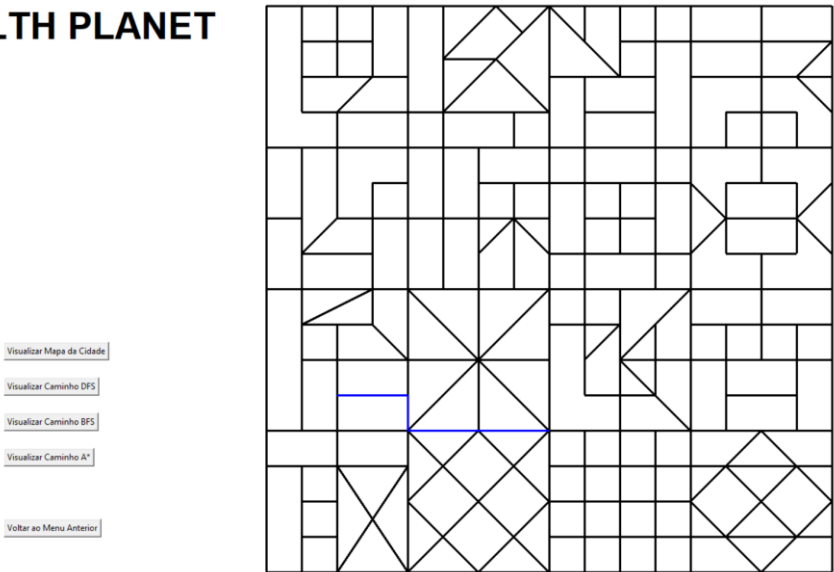
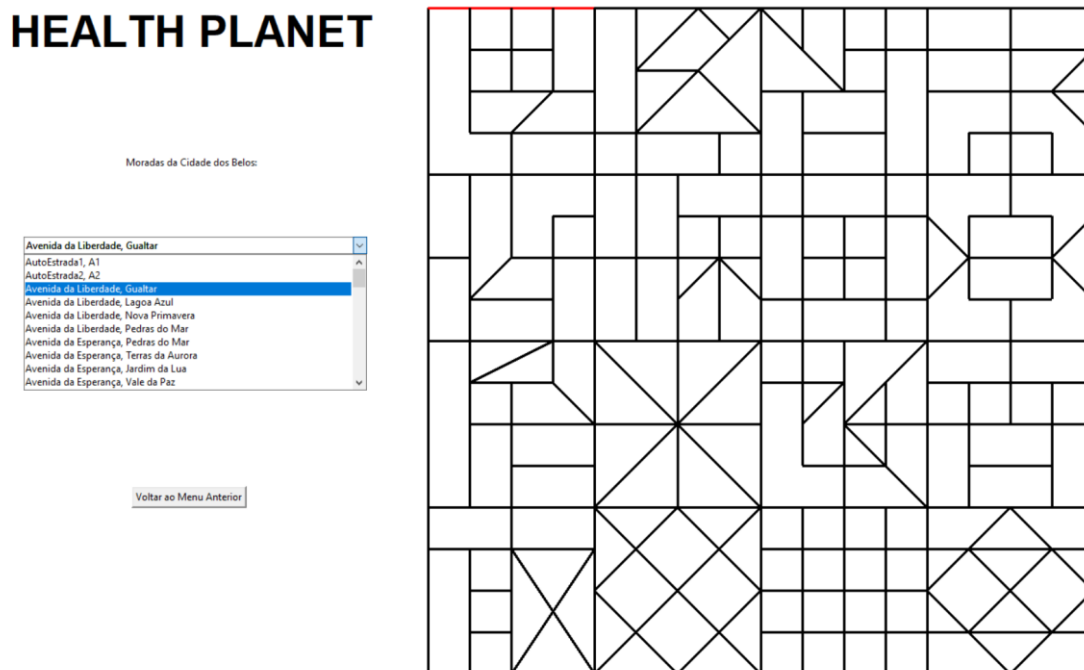


Figura 7: Caminhos associados a um algoritmo

É possível agora observar que temos 4 botões (excluindo o de voltar ao menu anterior). O botão *visualizar mapa* dá acesso ao mapa com uma *combobox* com todas as moradas existentes no programa. Clicando numa delas, a rua fica *highlighted* a vermelho no mapa como na seguinte imagem:



**Figura 8:** Mapa e moradas highlighted

Os outros 3 botões funcionarão tal como na figura anterior a esta, em que o caminho *highlighted* a azul será uma solução do algoritmo DFS, BFS ou A\*.

Relativamente à opção de *Visualizar Estafetas* temos acesso a uma tabela com as estatísticas dos estafetas no final de todas as entregas. É possível ordenar a tabela por *rating* ou *distância* clicando no cabeçalho de cada coluna respetiva.



## 6. Estratégias de Procura Não Informada

### 6.1 Procura em Profundidade (DFS)

Este tipo de procura usa como estratégia, expandir sempre um dos nodos mais profundos do grafo. As **vantagens** deste tipo de procura são:

- Pouco uso de memória.
- Bom para problemas com múltiplas soluções, pois a probabilidade de estar a procurar por um caminho possível aumenta.

As **desvantagens** deste tipo de procura são:

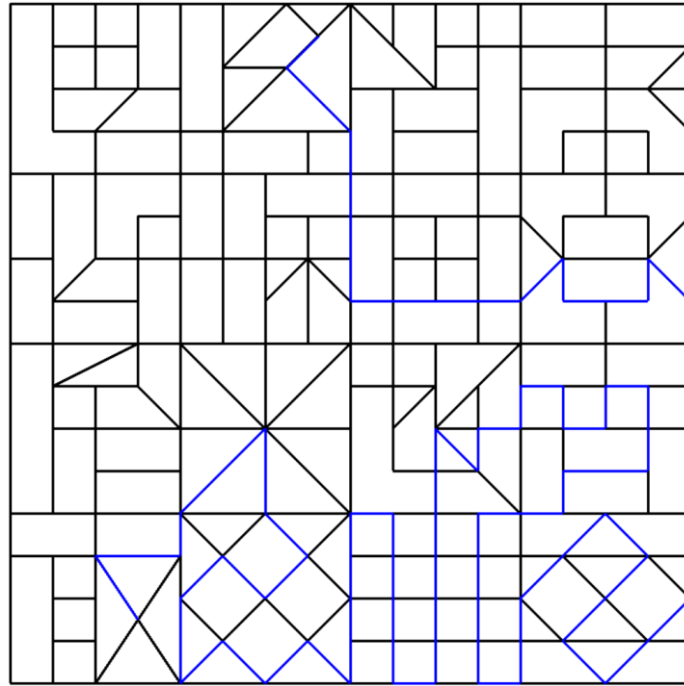
- Pouca eficiência em grafos com uma profundidade elevada e poucas soluções.
- A solução obtida pode não ser a solução ótima.

No entanto, no nosso problema o estafeta terá que obter um caminho ideal de forma rápida para evitar perder tempo entre cada entrega, logo esta estratégia muito provavelmente não irá conseguir obter um percurso ótimo de forma relativamente eficiente. A nossa implementação do algoritmo de procura em profundidade impede que os nodos que já tenham sido visitados sejam explorados pelo algoritmo de maneira a evitar a ocorrência de loops no processo de pesquisa. Esta estratégia de procura apresenta as seguintes propriedades:

- Tempo:  $O(b^m)$
- Espaço:  $O(bm)$

Onde **b** é o número máximo de sucessores de um nodo da árvore de procura e **m** a máxima profundidade do espaço de estados.

### 6.1.1 Exemplo de uma Procura em Profundidade (DFS)



**Figura 9:** Exemplo de uma Procura em Profundidade

Como podemos ver na figura acima, o algoritmo de procura em profundidade obteve um caminho não ideal devido à sua estratégia de expandir sempre para nodos mais profundos do grafo, não sendo a melhor opção para este tipo de problemas uma vez que existem ramificações bastante longas que não vão ao encontro de uma solução ótima.

## 6.2 Procura em Largura (BFS)

Este tipo de procura expande primeiro os nodos de menor profundidade do grafo. A **vantagem** deste tipo de procura são:

- Solução ótima quando todas as arestas têm custo 1.

As **desvantagens** deste tipo de procura são:

- Tempo de pesquisa elevado visto que tende a percorrer muitos mais nodos do que os necessários para criar o caminho válido.

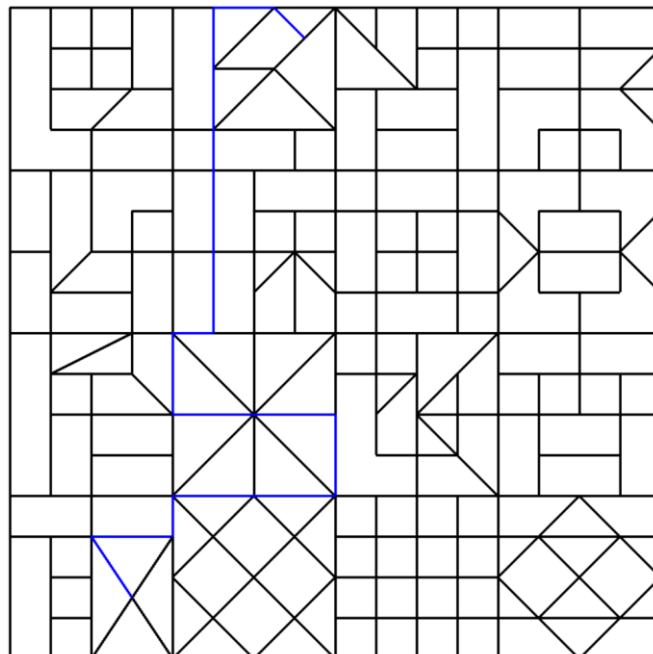
- Ocupa muito espaço em memória.

No nosso problema o tamanho do grafo é bastante grande, o que faz com que este algoritmo também não seja o melhor para o programa. Esta estratégia de procura apresenta as seguintes propriedades:

- Tempo:  $O(b^d)$
- Espaço:  $O(b^d)$

Onde **b** é o número máximo de sucessores de um nodo da árvore de procura e **d** a profundidade da melhor solução.

### 6.2.1 Exemplo de uma Procura em Largura (BFS)



**Figura 10:** Exemplo de uma Procura em Largura

Como podemos ver na figura acima, o algoritmo de procura em largura também não obteve um caminho ótimo uma vez que no nosso problema nem todas as arestas têm o mesmo custo, o que faz com que este algoritmo não seja o ideal para achar soluções ótimas no contexto do nosso problema.

## 7. Estratégias de Procura Informada

No nosso programa apenas implementámos a **Procura A\***.

O nosso objetivo era implementar uma heurística baseada na distância do nodo atual até ao nodo final e na velocidade possível em cada rua. No entanto, esta última parte não foi implementada no programa. Ficámos então apenas pela heurística baseada na menor distância em linha reta do nodo atual ao nodo final.

### 7.1 Procura A\*

Este tipo de procura evita expandir caminhos que são dispendiosos, combinando para isso o algoritmo de procura gulosa com o algoritmo de procura uniforme. Utiliza então a seguinte função para a escolha do nodo a ser explorado de seguida:

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

Onde:

- $g(n)$  = custo acumulado
- $h(n)$  = custo estimado para chegar ao destino (heurística)

As **vantagens** deste tipo de procura são:

- Obtém a solução ótima se a sua heurística for admissível.

As **desvantagens** deste tipo de procura são:

- Ocupa muito espaço em memória.

Este algoritmo de procura para a escolha do próximo nodo, analisa a heurística e o custo acumulado do seu percurso até ao momento. Isso permite ao algoritmo encontrar a solução ótima para o problema.

Esta estratégia de procura apresenta as seguintes propriedades:

- Tempo:  $O(b^m)$  (com uma boa função heurística pode diminuir significativamente)
- Espaço:  $O(b^m)$

Onde  $b$  é o número máximo de sucessores de um nodo da árvore de procura e  $m$  a máxima profundidade do espaço de estados.

## 8. Conclusão

Concluindo, neste projeto o nosso grupo foi capaz de implementar algoritmos de procura de forma a explorar caminhos possíveis para a entrega de cada encomenda. Foi possível também melhorar a nossa capacidade quanto à implementação de interfaces gráficas que dão um aspeto e beleza melhores ao programa.

O nosso projeto infelizmente não conseguiu realizar um objetivo que melhoraria o trabalho que era a parte da influência da velocidade no projeto. Era da nossa vontade implementar esta parte na heurística e também em termos de trânsito (em que o programa daria valores arbitrários de velocidade média em cada rua). Tal é o facto que implementámos estradas cujos valores máximos de velocidade variam.

No entanto, pensamos que conseguimos desenvolver um bom projeto satisfazendo as condições mínimas previstas inicialmente.