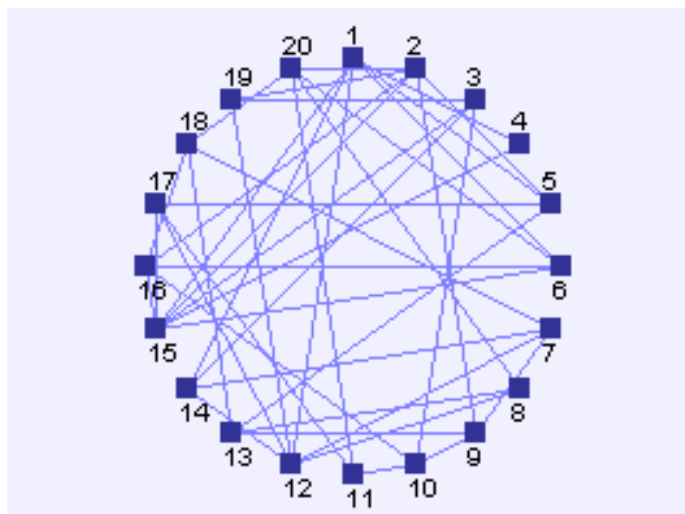


## Introdução à Inteligência Artificial

Licenciatura em Engenharia Informática, Engenharia Informática – Pós-Laboral e Engenharia Informática – Curso Europeu  
2º Ano – 1º semestre  
Aulas Laboratoriais

---

### Ficha 6: Pesquisa Local

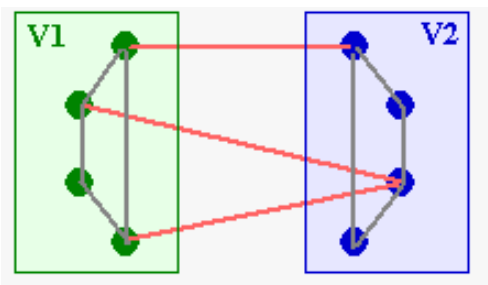


#### 1. O problema da bissecção mínima de um grafo

A bissecção de um grafo é um problema de optimização que surge frequentemente em situações do mundo real (por exemplo, em problemas de escalonamento ou *design* de circuitos VLSI) e que consiste em dividir os vértices por dois conjuntos com o mesmo número de elementos, de tal forma que o custo do corte efetuado seja mínimo.

Este problema pode ser definido da seguinte forma:

- Existe um grafo  $G = (V, A)$  com um número par de vértices,  $V$  e com um número arcos,  $A$ ;
- Pretende-se dividir o conjunto  $V$  em dois conjuntos disjuntos  $V1$  e  $V2$  com o mesmo número de vértices;
- O custo da bissecção é dado pelo número de arcos que efetuam ligações entre vértices que pertencem a conjuntos diferentes (ou seja, arcos que ligam um vértice de  $V1$  a um vértice de  $V2$ );
- O objetivo da otimização é minimizar o custo da bissecção.



## 2. Componentes dos algoritmos de otimização

Vão ser utilizados diferentes algoritmos de pesquisa local para efetuar a otimização. As componentes descritas a seguir são comuns a todos eles.

### 2.1. Representação

Numa instância com  $N$  vértices, a representação de uma solução deve indicar quais os  $N/2$  vértices que pertencem ao conjunto  $V1$  e quais os  $N/2$  vértices que pertencem ao conjunto  $V2$ .

Para isso, recorre-se a um vector binário com  $N$  posições em que cada bit representa um vértice do grafo. Uma posição com o valor '0' indica que esse vértice pertence ao conjunto  $V1$ , enquanto o valor '1' indica que pertence a  $V2$ .

**Exemplo:** Numa instância com 6 vértices, a solução 101100 especifica que os vértices 1, 3 e 4 pertencem a  $V1$  e os vértices 2, 5 e 6 a  $V2$ . Para que as soluções sejam válidas é necessário garantir que o número de '0' e de '1' é sempre igual.

### 2.2. Avaliação e objetivo da otimização

A qualidade de uma solução é igual ao custo da bissecção proposta. O objectivo é encontrar uma solução em que este custo seja mínimo (problema de minimização).

### 2.3. Vizinhança inicial

Para obter um vizinho de uma solução deve proceder-se da seguinte forma:

- Escolher uma posição  $P1$  do vector binário com valor '0';
- Escolher uma posição  $P2$  do vector binário com valor '1';
- Trocar os valores dos bits nas posições  $P1$  e  $P2$ .

Na prática, esta vizinhança escolhe um vértice em cada um dos conjuntos  $V1$  e  $V2$  e troca-os. Com esta vizinhança garante-se que o número de '0' e '1' se mantém igual.

## 3. Trepa-colinas *first choice*

O primeiro algoritmo a utilizar na optimização é o trepa-colinas *first choice*.

### 3.1. Detalhes de implementação

Ficheiros de dados:

No início da execução, o programa tem que aceder a um ficheiro de texto com informação sobre o problema a otimizar e usar essa informação. O ficheiro deverá ser estruturado com os seguintes elementos importantes (por esta ordem):

- Número de máximo de iterações;
- Número de vértices do problema;
- Matriz de adjacências (ou de ligações).

Para um problema com  $N$  vértices, a matriz de adjacências (ou de ligações) tem dimensão  $N \times N$ . O valor '1' na posição  $[i, j]$  indica que existe uma ligação entre o vértice  $i$  e o vértice  $j$ .

Um exemplo de um ficheiro deste tipo pode ser visto de seguida. Como se pode verificar o ficheiro informa que o algoritmo de optimização deverá efetuar 100 iterações (primeira linha do ficheiro), que o problema terá dez vértices (segunda linha do ficheiro) e que, por

exemplo, o vértice 1 tem ligações com os vértices 2, 3, 4, 5, 6, 9 e 10 (colunas da primeira linha da matriz de adjacências que têm o valor ‘1’).

100									
10									
0	1	1	1	1	1	0	0	1	1
1	0	1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	0	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	0	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
1	0	0	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0

#### Código:

O projecto em C tem 4 módulos:

- *main.c*  
Contém a função que controla o funcionamento geral do programa, efetuando as seguintes chamadas:
  - Funções de preparação de aplicação do algoritmo (leitura de dados, geração da solução inicial);
  - Aplicação do trepa-colinas;
  - Escrita dos resultados finais no monitor.
- *funcao.c*  
Contém a função que avalia a qualidade de uma solução.
- *algoritmo.c*  
Contém a função principal de aplicação do trepa-colinas e a função que gera um vizinho de uma determinada solução.
- *utils.c*  
Contém algumas funções auxiliares como a de geração de números aleatórios, criação da primeira solução e leitura do ficheiro de dados.

#### Notas sobre a implementação:

- O nome do ficheiro de dados pode ser especificado como primeiro argumento da linha de comando. Se não existirem argumentos, o utilizador deve indicar o nome do ficheiro no início da execução do programa;
- O número de vértices do problema a ser resolvido é obtido pela função *init\_dados()* através da leitura do ficheiro e passado como argumento para a função *trepa\_colinas()*;
- A matriz de adjacências é preenchida na função *init\_dados()* e passada como argumento para a função *trepa\_colinas()*;
- Na função *trepa\_colinas()*, o vector *sol* armazena a melhor solução encontrada até ao momento. A nova solução obtida na vizinhança é armazenada no vector *nova\_sol*. Se, após a avaliação se verificar que esta é melhor, é efetuada a troca;

- O espaço ocupado pelos vectores onde são armazenadas as soluções e pela matriz de adjacências é requisitado de forma dinâmica.

#### Realização de experiências com algoritmos probabilísticos

O trepa colina *first-choice* é um método probabilístico, pelo que uma única execução do algoritmo não permite obter resultados estatisticamente válidos. Sem esses resultados é impossível avaliar a eficácia do algoritmo com precisão. Sempre que o algoritmo contenha componentes probabilísticas, é obrigatório efetuar várias repetições da mesma configuração. No mínimo devem ser efectuadas 10 repetições (30 é o valor desejável). Ao comparar 2 algoritmos probabilísticos (ou 2 configurações diferentes para o mesmo algoritmo), existem duas medidas de desempenho essenciais:

- Melhor solução obtida – qualidade absoluta da melhor solução encontrada;
- Média da melhor avaliação (*Mean best fitness*) – média obtida a partir das melhores soluções encontradas em cada uma das repetições.

Na implementação disponibilizada é possível indicar através da linha de comando o número de repetições a efetuar (segundo argumento da linha de comando). Se este argumento não for especificado, serão realizadas 10 repetições (valor por defeito).

## **4. Trabalho a realizar no laboratório**

### **4.1. Realização de Experiências**

- Efetuar algumas experiências com os 5 ficheiros de teste disponibilizados: grafo\_20.txt, grafo\_50.txt, grafo\_100.txt, grafo\_150.txt e grafo\_250.txt. As situações armazenadas nestes ficheiros possuem respectivamente 20, 50, 100, 150 e 250 vértices;
- Preencher a respetiva tabela (no ficheiro *IIA\_Ficha6\_Resultados.xlsx*) para cada uma das instâncias de teste. Nela pode analisar a influência que o número máximo de iterações tem no desempenho do algoritmo. Tente justificar eventuais diferenças de resultados.

### **4.2. Aceitar soluções com o mesmo custo**

- Alterar o código de modo a permitir que o trepa-colinas aceite vizinhos com o mesmo custo;
- Efetuar algumas experiências, preenchendo a respetiva tabela (no ficheiro *IIA\_Ficha6\_Resultados.xlsx*), com os grafos de 100 e 150 vértices, e verificar se existem alterações nos resultados.

### **4.3. Nova vizinhança**

- Implementar uma nova vizinhança para a representação utilizada;
- Repetir as experiências realizadas na secção 4.1., preencher a respetiva tabela (no ficheiro *IIA\_Ficha6\_Resultados.xlsx*) para cada uma das instâncias de teste e analisar eventuais diferenças em relação aos resultados anteriores.

### **4.4. Trepa-colinas probabilístico**

- Alterar o código de modo a permitir que o trepa-colinas aceite a possibilidade de ter soluções piores. Essa aceitação deverá ser baseada numa determinada probabilidade fixa;

- Efetuar algumas experiências, preenchendo a respetiva tabela (no ficheiro *IIA\_Ficha6\_Resultados.xlsx*), com os grafos de 100 e 150 vértices, e verificar se existem alterações nos resultados.

#### **4.5. Recristalização simulada**

- Implementar um algoritmo de recristalização simulada para este problema;
- Realizar experiências com diferentes opções para os componentes do algoritmo:
  - TMax;
  - TMin;
  - Função de arrefecimento;
  - Número de iterações do ciclo interno.
- Repetir as experiências realizadas com o trepa-colinas;
- Analisar e justificar os resultados obtidos.

Pode utilizar a função *rand\_01()* do módulo *utils.h* para ajudar a decidir se o vizinho é ou não aceite como nova solução.