

TP 02 - Trabalho Prático 02

Algoritmos I

Entrega: 23/02/2021

1 Objetivos do trabalho

O objetivo deste trabalho é modelar o problema computacional descrito a seguir utilizando uma estrutura de dados que permita resolvê-lo de forma eficiente com os algoritmos estudados nesta disciplina.

Serão fornecidos alguns casos de teste bem como a resposta esperada para que o aluno possa verificar a corretude de seu algoritmo. Não obstante, recomenda-se que o aluno crie casos de teste adicionais a fim de validar sua própria implementação.

O código-fonte da solução e uma documentação sucinta (relatório contendo não mais do que 5 páginas) deverão ser submetidos via *moodle* até a data limite de 23/02/2021. A especificação do conteúdo do relatório e linguagens de programação aceitas serão detalhadas nas seções subsequentes.

2 Definição do problema

Belleville é uma cidade de médio porte, bastante turística, e que vem sofrendo os impactos do aumento da emissão de poluentes e da poluição sonora gerada pela crescente frota de veículos movidos à combustão interna. Infelizmente, com o passar dos anos a cidade vem sofrendo uma crescente redução do fluxo de turistas devido à poluição e engarrafamentos gerados pelo trânsito, afetando significativamente a economia local, a qual é em grande parte movimentada pelo consumo dos turistas.

O prefeito, que acabou de assumir o cargo com a promessa de restabelecer e fortalecer *Belleville* como um pólo turístico, analisou as diversas propostas de seus assessores para resolver esse problema e demonstrou maior interesse pela proposta de fomentar o uso de bicicletas pela população, fornecendo benefícios fiscais a quem adotasse este meio de transporte como principal. No entanto, não há uma ciclovia na cidade e é necessário construí-la.

Como o orçamento disponível não é suficiente para criar uma ciclovia que percorra toda a cidade, a prefeitura decidiu construí-la de forma inteligente e, para isso, resolveu contratar a empresa de consultoria na qual você trabalha para definir o projeto de construção.

O plano da prefeitura é construir uma ciclovia que conecte todos os principais pontos da cidade gastando o menor montante de recursos públicos possível. Para isso, a prefeitura e a consultoria trabalharam juntos na definição de **N** pontos de interesse na cidade que deveriam ser conectados pela ciclovia, tais como: museus, praças, igrejas, etc. Baseado na quantidade de turistas que visitam estes pontos de interesse, foi definida para cada ponto de interesse uma métrica denominada **valor turístico**. Quanto maior o valor turístico de um ponto de interesse, mais turistas visitam aquele local.

Assim, a primeira etapa do trabalho de sua empresa resultou em uma relação dos caminhos de mão-dupla, possíveis e viáveis (denominados como trechos da ciclovia) entre os pontos de interesse, o custo financeiro para sua construção (mão-de-obra, materiais, equipamentos, etc) e os valores turísticos de cada

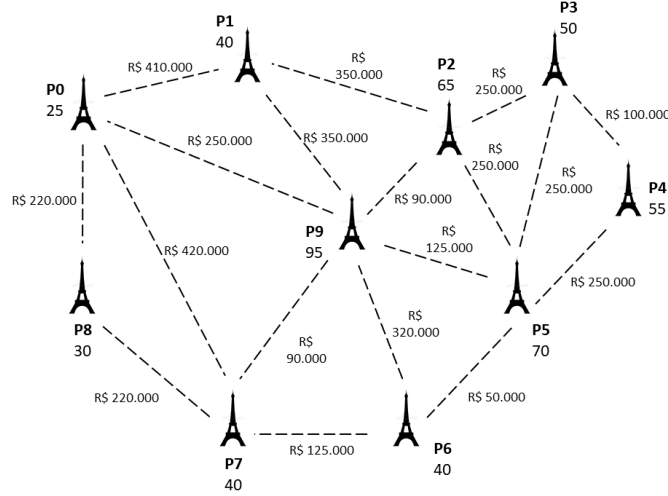


Figura 1: Exemplo do problema com 10 pontos de interesse

ponto de interesse. De maneira formal, foram apresentados \mathbf{T} trechos possíveis para a ciclovia, ligando um ponto de interesse (P_i) a outro ponto de interesse (P_j), com custo de construção igual a c_t . Além disso, definiu-se a **atratividade** de um trecho da ciclovia como sendo a soma dos valores turísticos dos dois pontos de interesse conectados por este trecho.

Sabe-se que por meio dos trechos propostos é possível construir uma ciclovia ligando todos os pontos de interesse e que para dois pontos de interesse quaisquer há, no máximo, uma alternativa possível de trecho.

O seu trabalho, nesta segunda etapa do projeto, é **determinar o custo mínimo para construção de uma ciclovia que não apresente ciclos, de forma que seja possível alcançar todos os pontos de interesse e que seja priorizado ao máximo a construção de trechos mais atrativos**. Assim, havendo mais de uma configuração de trechos para ciclovia com custo mínimo, você deve selecionar aquela que tenha a maior atratividade agregada (soma das atratividades dos trechos da ciclovia em dada configuração). Por fim, havendo duas ou mais configurações com custo mínimo e mesmo valor máximo de atratividade agregada (mantendo o custo mínimo), pode-se selecionar qualquer uma dessas configurações.

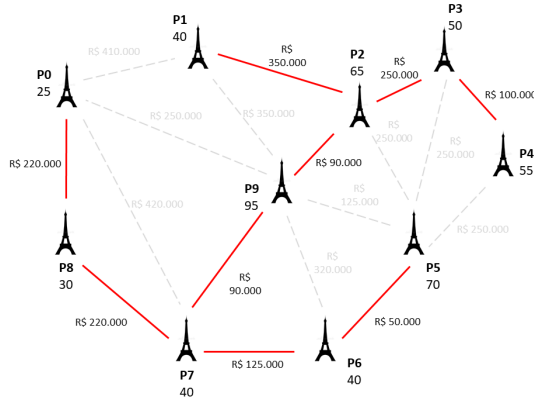
3 Exemplo do problema

A Figura 1 apresenta um problema no qual há 10 pontos de interesse (e seus respectivos valores turísticos) e 18 propostas de trechos com seus respectivos custos de construção. A entrada para este problema-exemplo encontra-se na seção 5.

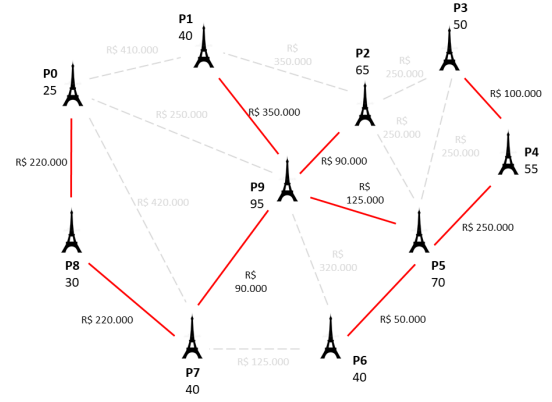
As Figuras 2a (Configuração R1) e 2b (Configuração R2) apresentam duas configurações possíveis de ciclovia, com custo mínimo de R\$ 1.495.000. Observe que em ambas as configurações todos os pontos de interesse são alcançáveis pela ciclovia por meio dos trechos selecionados. Enquanto a configuração R1 apresenta uma atratividade agregada de 935, a configuração R2 apresenta atratividade agregada igual a 1060. Desta forma, a resposta esperada para este exemplo é a configuração R2, pois apresenta o maior valor possível de atratividade agregada (mantendo o custo de construção da ciclovia mínimo).

4 Arquivos de entrada e saída

Cada caso de teste conterá na primeira linha dois inteiros \mathbf{N} ($2 \leq N \leq 500$) e \mathbf{T} (limite superior igual número máximo de combinações de pares dos \mathbf{N} pontos de interesse), onde \mathbf{N} é a quantidade de pontos de



(a) Config. R1 - Atratividade agregada: 935



(b) Config. R2 - Atratividade agregada: 1060

Figura 2: Duas configurações de ciclovias com custo mínimo para o problema (R\$ 1.495.000) e diferentes valores de atratividade agregada

interesse na cidade e \mathbf{T} a quantidade de trechos possíveis. Na segunda linha serão apresentados, separados por espaço, os \mathbf{N} valores turísticos de cada ponto de interesse ($0 \leq VT \leq 100$). Da terceira linha em diante, haverá \mathbf{T} linhas contendo três inteiros $a_i p_i p_j$, em que p_i e p_j são os pontos de interesse ligados por um trecho com custo c_t ($0 \leq c_t \leq 1000000$). **Importante:** Os identificadores dos pontos de interesse iniciam em 0, ou seja, na entrada e saída do exemplo fornecido, P0 é identificado por 0, P1 por 1, e assim por diante.

O arquivo de saída deverá conter, na primeira linha, dois inteiros separados por espaço representando o custo mínimo para construir a ciclovias ligando todos os pontos de interesse da cidade e a atratividade agregada da ciclovias (soma das atratividades dos trechos da ciclovias).

A segunda linha deve conter \mathbf{N} inteiros representando a quantidade de trechos partindo/chegando em cada ponto de interesse. A partir da terceira linha, devem ser apresentados os trechos selecionados (um por linha) no mesmo formato do arquivo de entrada.

Exemplo das linhas da entrada

```
N T // Qtde de pontos de interesse, Qtde de trechos possíveis.
VT_1 VT_2 VT_3 ... // Valores turísticos de cada ponto de interesse
p_i p_j c_t // Proposta de trechos interligando o ponto de interesse i \
              ao ponto de interesse j com custo c_t
...
```

Exemplo da saída

```
C A // Custo mínimo para construção da ciclovía e atratividade agregada
qtde_trechos_P1 qtde_trechos_P2 qtde_trechos_P3 qtde_trechos_P4 ...
// sequência da quantidade de trechos de cada ponto de interesse para configuração
da ciclovía selecionada
// Relação dos trechos selecionados para ciclovía no mesmo formato da entrada
```

5 Exemplo Prático de Entrada e Saída

A seguir são apresentadas a entrada e saída do exemplo fornecido na seção 3.

Entrada do exemplo da seção 3

```
10 18
25 40 65 50 55 70 40 40 30 95
1 0 410000
2 1 350000
3 2 250000
4 3 100000
5 2 250000
5 3 250000
5 4 250000
6 5 50000
7 0 420000
7 6 125000
8 0 220000
8 7 220000
9 0 250000
9 1 350000
9 2 90000
9 5 125000
9 6 320000
9 7 90000
```

Saída do exemplo da seção 3 - Configuração R2

```
1495000 1060 // Custo mínimo para construção da ciclovia e atratividade agregada
1 1 1 1 2 3 1 2 2 4 // Qtde de trechos da ciclovia partindo/chegando no ponto de interesse
4 3 100000
5 4 250000
6 5 50000
8 7 220000
8 0 220000
9 2 90000
9 7 90000
9 5 125000
9 1 350000
```

6 Especificação das entregas

Você deve submeter um arquivo compacto (zip ou tar.gz) no formato **MATRICULA_NOME** via Moodle contendo:

- todos os arquivos de código-fonte implementados;
- um arquivo *makefile*¹ **que crie um executável com nome tp02**;
 - **ATENÇÃO:** O makefile é para garantir que o código será compilado da forma como vocês implementaram, evitando erros na compilação. É **essencial** que ao digitar “make” na linha de comando dentro da pasta onde reside o arquivo makefile, o mesmo compile o programa e gere um executável chamado **tp02**.
- sua documentação (arquivo pdf).

Sua documentação deverá ser sucinta e conter não mais do que 5 páginas com o seguinte conteúdo obrigatório:

- Modelagem computacional do problema;
- estruturas de dados e algoritmos utilizados para resolver o problema (pseudo-código da solução implementada), bem como justificativa para tal escolha. Não transcreva trechos da código-fonte;
- análise de complexidade de tempo assintótica da solução proposta, devidamente justificada.

PONTO EXTRA: O aluno que realizar a demonstração matemática da corretude/otimalidade do algoritmo proposto fará jus a pontos extras no trabalho.

7 Implementação

7.1 Linguagem, Ambiente e Parâmetros

O seu programa deverá ser implementado na linguagem **C** ou **C++** e deverá fazer uso apenas de funções da biblioteca padrão da linguagem. Trabalhos que utilizem qualquer outra linguagem de programação e/ou que façam uso de bibliotecas que não a padrão não serão aceitos.

O aluno pode implementar seu programa em qualquer ambiente (Windows, Linux, MacOS, etc...), no entanto, deve garantir que seu código compile e rode nas máquinas do DCC (tigre.dcc.ufmg.br ou jaguar.dcc.ufmg.br), pois será neste ambiente que o TP será corrigido. Note que essas máquinas são acessíveis a todos os alunos do DCC com seu login e senha, podendo inclusive ser realizado acesso remoto via ssh. O aluno pode buscar informações no site do CRC (Centro de Recursos Computacionais) do DCC (<https://www.crc.dcc.ufmg.br/>).

O arquivo da entrada deve ser passado ao seu programa como entrada padrão, através da linha de comando (e.g., \$./tp02 < casoTeste01.txt) e gerar o resultado também na saída padrão (não gerar saída em arquivo).

ATENÇÃO: Não é necessário que o aluno implemente em ambiente Linux. Recomenda-se que o aluno teste seu código nas máquinas previamente especificadas, as quais serão utilizadas para correção do TP, a fim de conferir a funcionalidade, makefile e demais características do código.

¹https://pt.wikibooks.org/wiki/Programar_em_C/Makefiles

7.2 Testes automatizados

A sua implementação passará por um processo de correção automatizado, utilizando além dos casos de testes já disponibilizados, outros exclusivos criados para o processo de correção. O formato da saída de seu programa deve seguir a especificação apresentada nas seções anteriores. Saídas diferentes serão consideradas erro para o programa. O aluno deve certificar-se que seu programa execute corretamente para qualquer entrada válida do problema.

ATENÇÃO: O tempo máximo esperado para execução do programa, dado o tamanho máximo do problema definido em seções anteriores, é de 5 segundos.

7.3 Qualidade do código

Preze pela qualidade do código-fonte, mantendo-o organizado e comentado de modo a facilitar seu entendimento para correção. Caso alguma questão não esteja clara na documentação e no código fonte, a nota do trabalho pode ser penalizada.

8 Critérios para pontuação

A nota final do TP (NF) será composta por dois fatores: fator parcial de implementação (fpi) e fator parcial da documentação (npd). Os critérios adotados para pontuação dos fatores é explicado a seguir.

8.1 Fator parcial de implementação

Serão avaliados quatro aspectos da implementação da solução do problema, conforme a Tabela 1.

Aspecto	Sigla	Valores possíveis
Compilação no ambiente de correção	co	0 ou 1
Respostas corretas nos casos de teste de correção	ec	0 a 100%
Tempo de execução abaixo do limite	te	0 ou 1
Qualidade do código	qc	0 a 100 %

Tabela 1: Aspectos de avaliação da implementação da solução do problema

O fator parcial de implementação será calculado pela seguinte fórmula:

$$fpi = co \times (ec - 0,15 \times (1 - qc) - 0,15 \times (1 - te))$$

Caso o valor calculado do fator seja menor que zero, ele será considerado igual a zero.

8.2 Fator parcial da documentação

Serão avaliados quatro aspectos da documentação entregue pelo aluno, conforme a Tabela 2.

O fator parcial de documentação será calculado pela seguinte fórmula:

$$fpd = 0,4 \times mc + 0,4 \times ds + 0,2 \times at - 0,25 \times (1 - ap)$$

Caso o valor calculado do fator seja menor que zero, ele será considerado igual a zero.

Aspecto	Sigla	Valores possíveis
Apresentação (formato, clareza, objetividade)	ap	0 a 100%
Modelagem computacional	mc	0 a 100%
Descrição da solução	ds	0 a 100%
Análise de complexidade de tempo assintótica	at	0 a 100 %

Tabela 2: Aspectos de avaliação da documentação

8.3 Nota final do TP

A nota final do trabalho prático será obtida pela equação a seguir:

$$NF = 15 \times (0,6 \times fpi + 0,4 \times fpd)$$

É importante ressaltar que é obrigatória a entrega do código fonte da solução e documentação. Na ausência de um desses elementos, a nota do trabalho prático será considerada igual a zero, pois não haverá possibilidade de avaliar adequadamente o trabalho realizado.

Assim como em todos os trabalhos dessa disciplina é estritamente proibida a cópia parcial ou integral de código-fontes, seja da Internet ou de colegas. Se for identificado o plágio, o aluno terá a nota zerada e o professor será informado para que as medidas cabíveis sejam tomadas.

ATENÇÃO: Os alunos que submeterem os TPs com atraso, terão a nota final penalizada em termos percentuais de acordo com a seguinte regra: $2^{d-1}/0,16$ (onde d é a quantidade de dias úteis de atraso na entrega do TP)

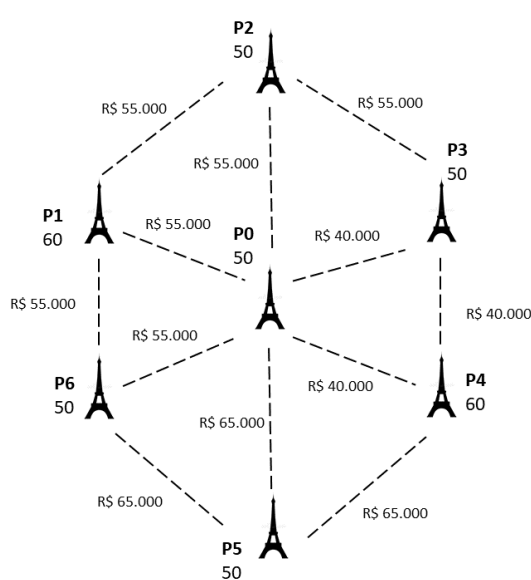
Anexo: Casos de teste para validação da implementação

Os casos de testes descritos a seguir estão disponibilizados na plataforma *moodle* em arquivo txt. Foram criados três casos de teste para que o aluno possa validar sua solução antes de submeter seu trabalho para correção. A seguir são apresentados os casos de teste com o respectivo diagrama visual.

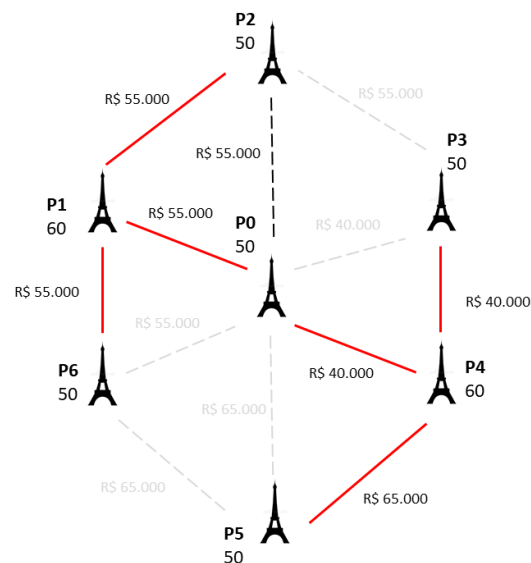
Recomenda-se que o aluno teste sua implementação com os casos de teste disponibilizados comparando sua resposta com aquela esperada a fim de reduzir a chance de ocorrência de *bugs* de implementação.

Caso 1: 7 Pontos de interesse e 12 propostas de trechos da ciclovia

A Figura 3a apresenta um diagrama das propostas de trechos do caso de teste 1. A seguir, será apresentada a saída esperada, bem como o diagrama da ciclovia com custo mínimo e máxima atratividade agregada (Figura 3b) .



(a) Propostas de trechos da ciclovia



(b) Configuração de custo mínimo (R\$ 310.000) e máxima atratividade agregada (660)

Figura 3: Caso de teste 1 - 7 pontos de interesse e 12 propostas de trechos da ciclovia

Arquivo de entrada: CasoTeste01.txt

Saída esperada

```
310000 660
2 3 1 1 3 1 1
0 4 40000
3 4 40000
0 1 55000
1 2 55000
6 1 55000
4 5 65000
```

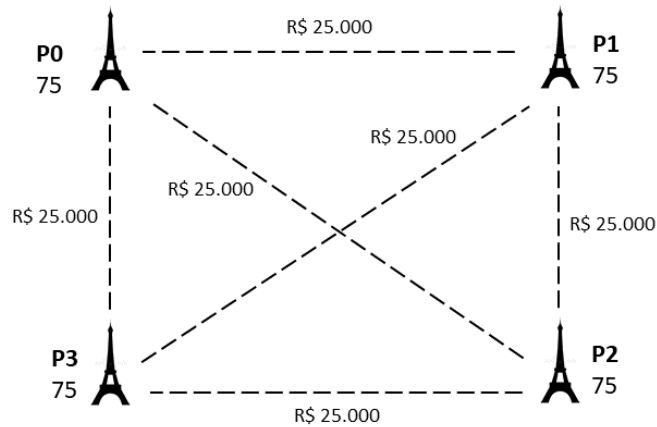


Figura 4: Caso de teste 2 - 4 pontos de interesse com mesmo valor turístico e 6 propostas de trechos com custo idêntico

Caso 2: 4 pontos de interesse e 6 propostas de trechos da ciclovia

A Figura 4 apresenta um diagrama das propostas de trechos do caso de teste 2. Observe que nesta situação, na qual todos os pontos de interesse tem o mesmo valor turístico e todas as propostas de trechos da ciclovia tem o mesmo custo de construção, existem diversas configurações possíveis (todas válidas, com mesmo custo mínimo, R\$ 75.000, e atratividade agregada, 450). Ao todo, são 20 possibilidades, sendo 4 possibilidades para cada padrão identificado nas Figuras 5a, 5b, 5c e 8 possibilidades para o padrão da Figura 5d (devido à rotação e espelhamento do padrão).

Arquivo de entrada: CasoTeste02.txt

Saída esperada para configuração possível no formato Seta (Figura 5b)

```
75000 450
3 1 1 1
0 1 25000
0 2 25000
0 3 25000
```

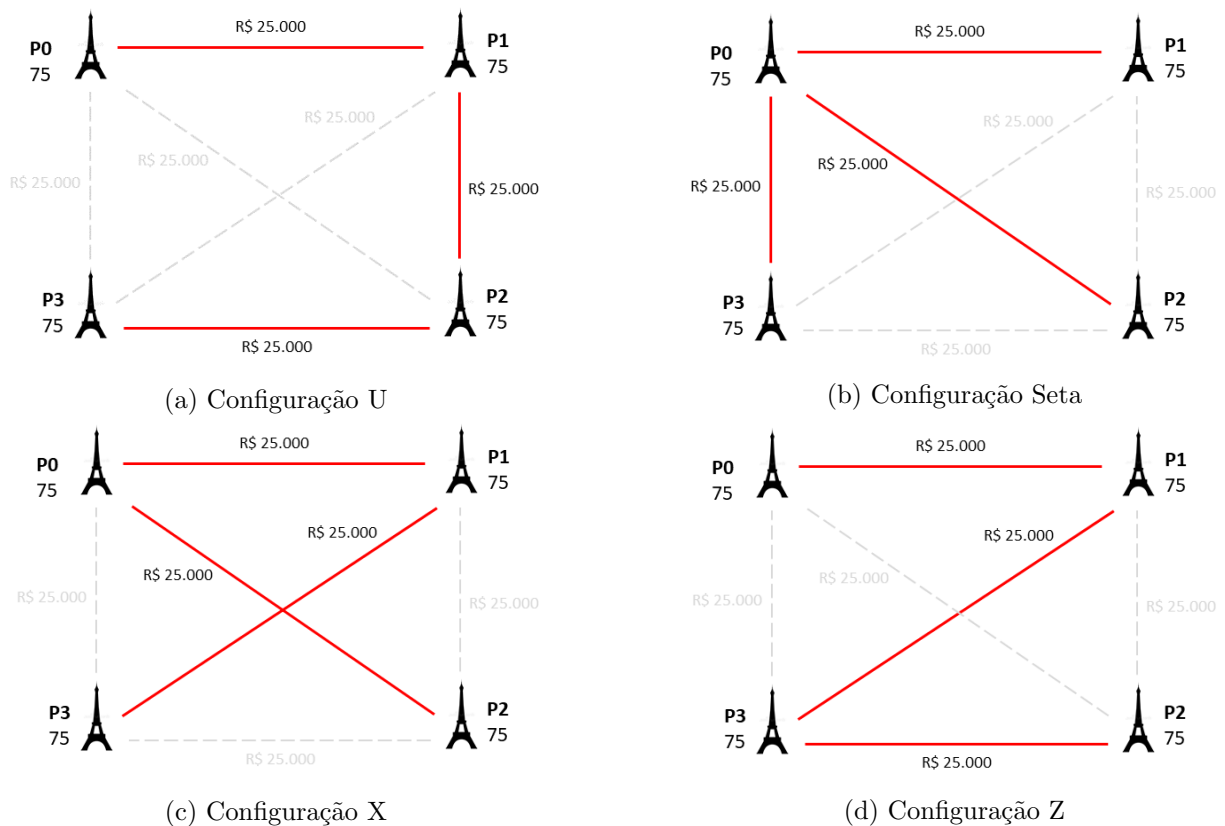


Figura 5: Caso de teste 2 - Padrões de configurações possíveis para situação de 4 pontos de interesse totalmente conectados, trechos com mesmo custo de construção e pontos de interesse com mesmo valor turístico

Caso 3: 10 pontos de interesse e 15 propostas de trechos da ciclovía

A Figura 6 apresenta um diagrama das propostas de trechos da ciclovía do caso de teste 3. A Figura 7 apresenta uma configuração possível de custo mínimo de construção (R\$ 1.445.000) e máxima atratividade agregada (865). Observe que outra configuração possível, mantendo o mesmo custo e atratividade agregada seria substituir o trecho $P5 < - > P6$ por $P6 < - > P9$.

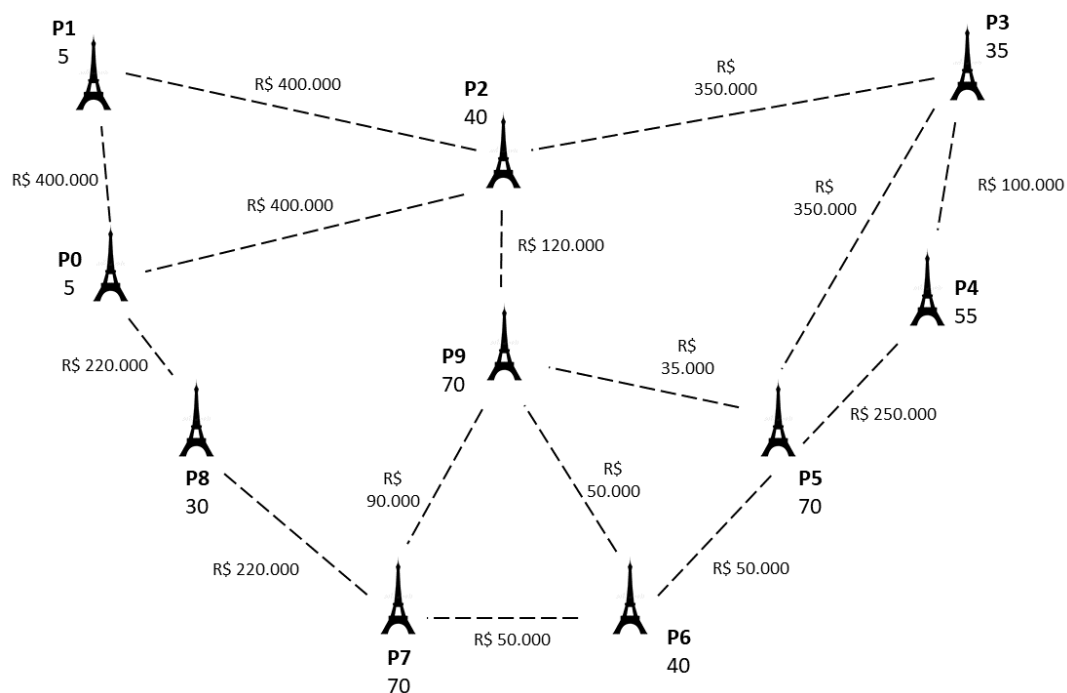


Figura 6: Caso de teste 3 - 10 pontos de interesse com valores turístico diversos e 15 trechos possíveis

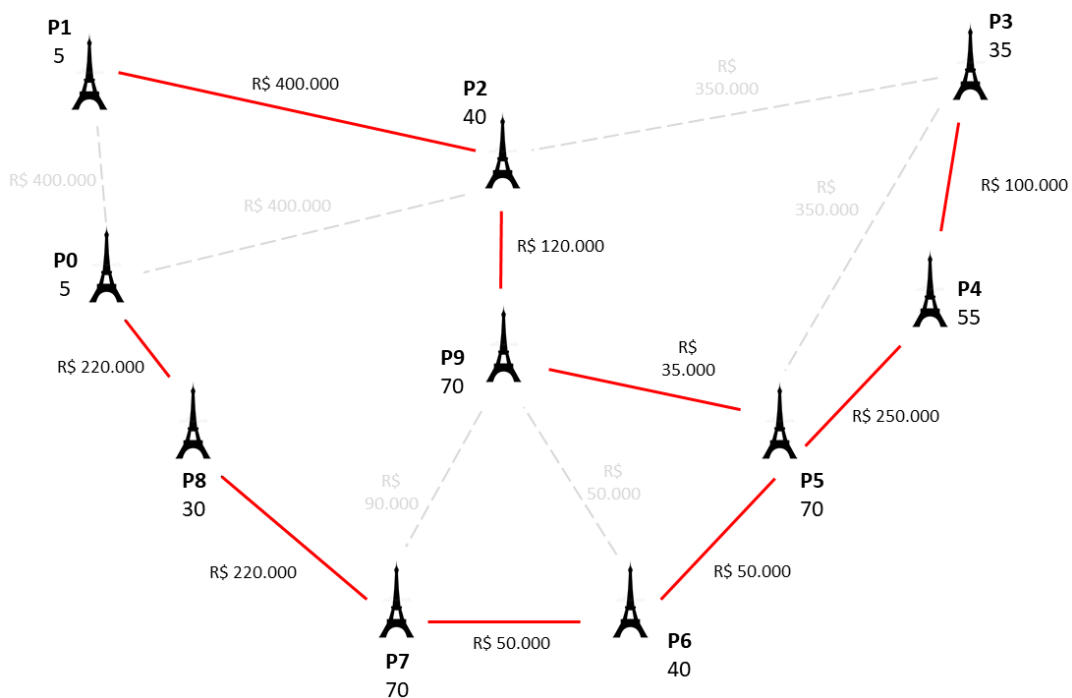


Figura 7: Configuração possível de custo mínimo (R\$ 1.445.000) e atratividade agregada máxima de 865

Arquivo de entrada: CasoTeste03a.txt
Saída esperada

```
1445000 865
1 1 2 1 2 3 2 2 2 2
5 9 35000
5 6 50000
6 7 50000
3 4 100000
2 9 120000
7 8 220000
0 8 220000
4 5 250000
1 2 400000
```