

## Relatório do Trabalho 1 - Inteligência Artificial

Augusto César Araújo de Oliveira - 508991

Com as cidades lidas, os pesos calculados e as condições a serem consideradas (randomização da vizinhança, estado inicial aleatório e operador a ser utilizado) escolhidas, a função “subida\_de\_encosta” foi executada. Nessa função, separamos a rota inicial com a mesma ordem das cidades lidas no arquivo de entrada, mas, caso a cidade inicial tenha que ser aleatória, o circuito inicial (o trajeto das cidades) é embaralhado. Com o circuito inicial, calcula-se o custo e, logo após, todos os vizinhos possíveis. Para cada vizinho de uma lista, é calculado o custo que é comparado ao circuito atual, com a intenção de escolher o primeiro vizinho com custo menor. Após a escolha, o loop se repete e uma nova vizinhança para o novo estado atual é calculada e comparada. Quando não houver nenhum valor melhor que o atual, o ciclo se encerra.

Para a experimentação, foram testados as 8 variações contidas no enunciado do problema, de modo que cada uma foi executada 30 vezes. Como resultado, temos:

Observação:

- Estado Inicial 1: a cidade inicial é conforme o arquivo de entrada.
- Estado Inicial 2: a cidade inicial é arbitrária.
- Operador 1: muda duas cidades de lugar em um circuito.
- Operador 2: inverte a ordem de um trecho do circuito.
- Randomização da vizinhança: embaralha os vizinhos após calcular a vizinhança para a comparação com o estado atual.

### 1. Estado Inicial 1 com Operador 1 sem randomização da vizinhança.

Execução	Melhor Custo	Melhor Rota
1	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
2	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
3	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
4	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
5	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
6	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
7	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
8	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
9	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
10	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
11	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]

12	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
13	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
14	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
15	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
16	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
17	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
18	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
19	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
20	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
21	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
22	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
23	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
24	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
25	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
26	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
27	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
28	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
29	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
30	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]

Como resultado final, essa variação teve o mesmo custo, isto é, não encontrou um custo menor com a vizinhança. Além disso, o circuito foi o mesmo para todas as execuções.

## 2. Estado Inicial 1 com Operador 1 com randomização da vizinhança.

Execução	Melhor Custo	Melhor Rota
1	11.300563	[5, 6, 2, 0, 4, 3, 1]
2	11.300563	[0, 4, 2, 6, 5, 1, 3]
3	11.300563	[5, 6, 2, 0, 4, 3, 1]
4	11.300563	[0, 2, 6, 5, 3, 1, 4]

<b>5</b>	11.886350	[4, 1, 5, 3, 0, 2, 6]
<b>6</b>	11.886350	[1, 4, 6, 2, 0, 3, 5]
<b>7</b>	12.064495	[2, 0, 3, 5, 6, 1, 4]
<b>8</b>	12.064495	[0, 2, 4, 1, 6, 5, 3]
<b>9</b>	11.886350	[4, 6, 2, 0, 3, 5, 1]
<b>10</b>	11.300563	[2, 6, 5, 1, 3, 4, 0]
<b>11</b>	11.300563	[3, 1, 5, 6, 2, 4, 0]
<b>12</b>	11.300563	[6, 2, 0, 4, 1, 3, 5]
<b>13</b>	11.300563	[6, 5, 3, 1, 4, 0, 2]
<b>14</b>	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
<b>15</b>	12.064495	[5, 3, 0, 2, 4, 1, 6]
<b>16</b>	11.886350	[0, 3, 5, 1, 4, 6, 2]
<b>17</b>	11.886350	[4, 1, 5, 3, 0, 2, 6]
<b>18</b>	11.886350	[3, 0, 2, 6, 4, 1, 5]
<b>19</b>	11.300563	[5, 1, 3, 0, 4, 2, 6]
<b>20</b>	11.300563	[2, 0, 4, 3, 1, 5, 6]
<b>21</b>	11.300563	[2, 4, 0, 3, 1, 5, 6]
<b>22</b>	11.300563	[1, 3, 0, 4, 2, 6, 5]
<b>23</b>	11.300563	[6, 2, 0, 4, 3, 1, 5]
<b>24</b>	11.300563	[3, 0, 4, 2, 6, 5, 1]
<b>25</b>	11.300563	[3, 4, 0, 2, 6, 5, 1]
<b>26</b>	11.300563	[5, 6, 2, 0, 4, 3, 1]
<b>27</b>	11.300563	[5, 6, 2, 4, 0, 3, 1]
<b>28</b>	11.300563	[1, 5, 6, 2, 4, 0, 3]
<b>29</b>	11.300563	[3, 0, 4, 2, 6, 5, 1]
<b>30</b>	11.300563	[1, 5, 6, 2, 4, 0, 3]

Nessa variação, apenas 18 execuções encontraram o mesmo custo, que neste experimento foi o melhor custo, as 12 restantes variaram de custos, sendo eles maiores. A maioria dos circuitos para as 18 execuções foram diferentes, mostrando que existem outros caminhos para o mesmo problema.

### 3. Estado Inicial 1 com Operador 2 sem randomização da vizinhança.

Execução	Melhor Custo	Melhor Rota
1	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
2	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
3	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
4	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
5	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
6	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
7	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
8	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
9	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
10	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
11	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
12	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
13	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
14	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
15	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
16	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
17	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
18	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
19	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
20	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
21	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
22	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
23	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
24	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
25	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]

<b>26</b>	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
<b>27</b>	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
<b>28</b>	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
<b>29</b>	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
<b>30</b>	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]

Como resultado final, essa variação teve o mesmo custo, isto é, não encontrou um custo menor com a vizinhança. Além disso, o circuito foi o mesmo para todas as execuções.

#### **4. Estado Inicial 1 com Operador 2 com randomização da vizinhança.**

<b>Execução</b>	<b>Melhor Custo</b>	<b>Melhor Rota</b>
<b>1</b>	11.300563	[3, 5, 6, 2, 0, 4, 1]
<b>2</b>	11.300563	[6, 2, 4, 0, 3, 1, 5]
<b>3</b>	12.064495	[6, 5, 3, 0, 2, 4, 1]
<b>4</b>	11.300563	[3, 5, 6, 2, 0, 4, 1]
<b>5</b>	12.064495	[5, 3, 0, 2, 4, 1, 6]
<b>6</b>	11.300563	[5, 6, 2, 0, 4, 3, 1]
<b>7</b>	11.300563	[6, 5, 3, 1, 4, 0, 2]
<b>8</b>	11.300563	[6, 5, 1, 3, 4, 0, 2]
<b>9</b>	11.300563	[1, 3, 4, 0, 2, 6, 5]
<b>10</b>	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
<b>11</b>	11.300563	[3, 4, 0, 2, 6, 5, 1]
<b>12</b>	11.300563	[6, 2, 0, 4, 3, 1, 5]
<b>13</b>	11.300563	[0, 4, 1, 3, 5, 6, 2]
<b>14</b>	11.300563	[2, 4, 0, 3, 1, 5, 6]
<b>15</b>	11.300563	[2, 0, 4, 3, 1, 5, 6]
<b>16</b>	11.300563	[5, 1, 3, 0, 4, 2, 6]
<b>17</b>	11.300563	[6, 2, 0, 4, 1, 3, 5]
<b>18</b>	11.300563	[5, 3, 1, 4, 0, 2, 6]

<b>19</b>	11.300563	[5, 3, 1, 4, 0, 2, 6]
<b>20</b>	11.300563	[5, 3, 1, 4, 0, 2, 6]
<b>21</b>	11.300563	[2, 4, 0, 3, 1, 5, 6]
<b>22</b>	11.300563	[3, 5, 6, 2, 0, 4, 1]
<b>23</b>	11.300563	[0, 4, 2, 6, 5, 1, 3]
<b>24</b>	11.886350	[6, 4, 1, 5, 3, 0, 2]
<b>25</b>	12.064495	[2, 4, 1, 6, 5, 3, 0]
<b>26</b>	11.300563	[5, 6, 2, 4, 0, 3, 1]
<b>27</b>	11.300563	[2, 0, 4, 3, 1, 5, 6]
<b>28</b>	11.300563	[1, 3, 0, 4, 2, 6, 5]
<b>29</b>	11.886350	[4, 1, 5, 3, 0, 2, 6]
<b>30</b>	11.300563	[5, 1, 3, 0, 4, 2, 6]

Nessa variação, 25 execuções encontraram o melhor custo, as restantes variaram de custos, sendo elas maiores. A maioria dos circuitos para as 25 execuções foram diferentes, mostrando que existem outros caminhos para o mesmo problema.

### **5. Estado Inicial 2 com Operador 1 sem randomização da vizinhança.**

<b>Execução</b>	<b>Melhor Custo</b>	<b>Melhor Rota</b>
<b>1</b>	11.300563	[6, 5, 1, 3, 4, 0, 2]
<b>2</b>	11.300563	[3, 1, 5, 6, 2, 4, 0]
<b>3</b>	11.300563	[4, 1, 3, 5, 6, 2, 0]
<b>4</b>	11.300563	[0, 4, 3, 1, 5, 6, 2]
<b>5</b>	12.064495	[3, 5, 6, 1, 4, 2, 0]
<b>6</b>	11.300563	[1, 3, 4, 0, 2, 6, 5]
<b>7</b>	12.064495	[1, 6, 5, 3, 0, 2, 4]
<b>8</b>	11.300563	[3, 5, 6, 2, 0, 4, 1]
<b>9</b>	11.886350	[2, 0, 3, 5, 1, 4, 6]
<b>10</b>	11.300563	[1, 3, 0, 4, 2, 6, 5]
<b>11</b>	11.300563	[6, 5, 1, 3, 0, 4, 2]

12	11.300563	[6, 2, 4, 0, 3, 1, 5]
13	11.300563	[0, 4, 3, 1, 5, 6, 2]
14	11.300563	[0, 4, 2, 6, 5, 1, 3]
15	11.300563	[0, 4, 3, 1, 5, 6, 2]
16	11.300563	[3, 1, 5, 6, 2, 4, 0]
17	11.300563	[3, 5, 6, 2, 0, 4, 1]
18	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
19	11.300563	[3, 1, 5, 6, 2, 4, 0]
20	11.300563	[1, 3, 0, 4, 2, 6, 5]
21	11.300563	[3, 5, 6, 2, 0, 4, 1]
22	11.300563	[5, 6, 2, 0, 4, 3, 1]
23	11.300563	[1, 5, 6, 2, 4, 0, 3]
24	11.300563	[6, 5, 1, 3, 0, 4, 2]
25	11.886350	[4, 6, 2, 0, 3, 5, 1]
26	11.300563	[0, 2, 6, 5, 1, 3, 4]
27	11.300563	[6, 2, 4, 0, 3, 1, 5]
28	11.300563	[3, 1, 5, 6, 2, 4, 0]
29	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
30	11.300563	[6, 5, 3, 1, 4, 0, 2]

Nessa variação, 26 execuções encontraram o melhor custo, as restantes variaram de custos, sendo elas maiores. A maioria dos circuitos para as 26 execuções foram diferentes, mostrando que existem outros caminhos para o mesmo problema.

#### 6. Estado Inicial 2 com Operador 1 com randomização da vizinhança.

Execução	Melhor Custo	Melhor Rota
1	11.300563	[0, 4, 2, 6, 5, 1, 3]
2	11.300563	[6, 2, 4, 0, 3, 1, 5]
3	11.886350	[1, 4, 6, 2, 0, 3, 5]
4	12.064495	[2, 0, 3, 5, 6, 1, 4]

5	11.300563	[5, 6, 2, 4, 0, 3, 1]
6	11.886350	[0, 3, 5, 1, 4, 6, 2]
7	11.886350	[0, 2, 6, 4, 1, 5, 3]
8	11.300563	[3, 4, 0, 2, 6, 5, 1]
9	11.300563	[0, 4, 1, 3, 5, 6, 2]
10	11.300563	[4, 3, 1, 5, 6, 2, 0]
11	11.300563	[6, 2, 0, 4, 3, 1, 5]
12	11.300563	[1, 3, 4, 0, 2, 6, 5]
13	11.300563	[6, 5, 3, 1, 4, 0, 2]
14	11.300563	[1, 3, 0, 4, 2, 6, 5]
15	11.300563	[0, 4, 2, 6, 5, 1, 3]
16	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
17	12.064495	[0, 2, 4, 1, 6, 5, 3]
18	11.300563	[0, 2, 6, 5, 3, 1, 4]
19	11.300563	[6, 2, 0, 4, 3, 1, 5]
20	11.300563	[6, 2, 0, 4, 3, 1, 5]
21	11.300563	[6, 5, 3, 1, 4, 0, 2]
22	11.886350	[0, 2, 6, 4, 1, 5, 3]
23	11.886350	[2, 6, 4, 1, 5, 3, 0]
24	11.300563	[3, 5, 6, 2, 0, 4, 1]
25	12.064495	[0, 2, 4, 1, 6, 5, 3]
26	11.300563	[6, 5, 1, 3, 0, 4, 2]
27	11.300563	[0, 4, 3, 1, 5, 6, 2]
28	12.064495	[5, 6, 1, 4, 2, 0, 3]
29	11.300563	[3, 5, 6, 2, 0, 4, 1]
30	11.300563	[4, 3, 1, 5, 6, 2, 0]

Nessa variação, 21 execuções encontraram o melhor custo, as restantes variaram de custos, sendo elas maiores. A maioria dos circuitos para as 21 execuções foram diferentes, mostrando que existem outros caminhos para o mesmo problema.



## 7. Estado Inicial 2 com Operador 2 sem randomização da vizinhança.

Execução	Melhor Custo	Melhor Rota
1	11.300563	[3, 0, 4, 2, 6, 5, 1]
2	11.300563	[3, 0, 4, 2, 6, 5, 1]
3	11.300563	[5, 6, 2, 0, 4, 3, 1]
4	11.300563	[5, 6, 2, 0, 4, 3, 1]
5	11.300563	[6, 5, 3, 1, 4, 0, 2]
6	11.300563	[3, 1, 5, 6, 2, 4, 0]
7	11.886350	[0, 3, 5, 1, 4, 6, 2]
8	12.064495	[2, 4, 1, 6, 5, 3, 0]
9	11.300563	[3, 5, 6, 2, 0, 4, 1]
10	11.300563	[3, 4, 0, 2, 6, 5, 1]
11	11.300563	[0, 4, 1, 3, 5, 6, 2]
12	11.300563	[6, 2, 0, 4, 1, 3, 5]
13	11.300563	[6, 2, 0, 4, 3, 1, 5]
14	11.300563	[5, 1, 3, 0, 4, 2, 6]
15	11.886350	[0, 2, 6, 4, 1, 5, 3]
16	11.300563	[0, 4, 2, 6, 5, 1, 3]
17	11.300563	[6, 5, 1, 3, 4, 0, 2]
18	12.064495	[5, 3, 0, 2, 4, 1, 6]
19	11.300563	[0, 4, 1, 3, 5, 6, 2]
20	11.300563	[0, 4, 2, 6, 5, 1, 3]
21	11.300563	[0, 4, 1, 3, 5, 6, 2]
22	11.300563	[2, 0, 4, 1, 3, 5, 6]
23	11.300563	[3, 4, 0, 2, 6, 5, 1]
24	11.300563	[6, 2, 0, 4, 3, 1, 5]
25	11.886350	[1, 5, 3, 0, 2, 6, 4]

26	11.886350	[1, 5, 3, 0, 2, 6, 4]
27	11.300563	[2, 0, 4, 3, 1, 5, 6]
28	11.886350	[0, 3, 5, 1, 4, 6, 2]
29	11.300563	[2, 6, 5, 3, 1, 4, 0]
30	11.300563	[0, 4, 1, 3, 5, 6, 2]

Nessa variação, 23 execuções encontraram o melhor custo, as restantes variaram de custos, sendo elas maiores. A maioria dos circuitos para as 23 execuções foram diferentes, mostrando que existem outros caminhos para o mesmo problema.

#### 8. Estado Inicial 2 com Operador 2 com randomização da vizinhança.

Execução	Melhor Custo	Melhor Rota
1	11.300563	[3, 1, 5, 6, 2, 4, 0]
2	11.300563	[3, 0, 4, 2, 6, 5, 1]
3	12.064495	[5, 3, 0, 2, 4, 1, 6]
4	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
5	11.300563	[3, 0, 4, 2, 6, 5, 1]
6	11.300563	[2, 6, 5, 3, 1, 4, 0]
7	11.300563	[2, 0, 4, 3, 1, 5, 6]
8	11.300563	[2, 0, 4, 3, 1, 5, 6]
9	11.300563	[4, 0, 2, 6, 5, 3, 1]
10	11.300563	[3, 1, 5, 6, 2, 4, 0]
11	11.300563	[6, 2, 4, 0, 3, 1, 5]
12	11.300563	[2, 0, 4, 3, 1, 5, 6]
13	11.300563	[5, 3, 1, 4, 0, 2, 6]
14	11.300563	[5, 6, 2, 4, 0, 3, 1]
15	11.300563	[5, 6, 2, 0, 4, 3, 1]
16	11.300563	[5, 6, 2, 0, 4, 3, 1]
17	11.300563	[1, 3, 4, 0, 2, 6, 5]
18	11.886350	[6, 4, 1, 5, 3, 0, 2]

<b>19</b>	11.300563	[5, 1, 3, 4, 0, 2, 6]
<b>20</b>	11.300563	[6, 5, 3, 1, 4, 0, 2]
<b>21</b>	11.300563	[2, 6, 5, 1, 3, 4, 0]
<b>22</b>	12.064495	[1, 4, 2, 0, 3, 5, 6]
<b>23</b>	11.300563	[0, 4, 1, 3, 5, 6, 2]
<b>24</b>	11.300563	[3, 0, 4, 2, 6, 5, 1]
<b>25</b>	11.300563	[6, 2, 4, 0, 3, 1, 5]
<b>26</b>	11.300563	[5, 3, 1, 4, 0, 2, 6]
<b>27</b>	12.064495	[5, 3, 0, 2, 4, 1, 6]
<b>28</b>	11.886350	[2, 0, 3, 5, 1, 4, 6]
<b>29</b>	11.300563	[5, 3, 1, 4, 0, 2, 6]
<b>30</b>	11.300563	[1, 3, 4, 0, 2, 6, 5]

Nessa variação, 25 execuções encontraram o melhor custo, as restantes variaram de custos, sendo elas maiores. A maioria dos circuitos para as 25 execuções foram diferentes, mostrando que existem outros caminhos para o mesmo problema.

Como conclusão, temos que as variações 1 e 3, as que não houveram nenhuma randomização, obtiveram os melhores resultados para a experimentação. Para comparar, calculamos a média de custo para cada variação:

<b>Variação</b>	<b>Melhor Custo</b>	<b>Operador</b>	<b>Estado Inicial</b>	<b>Randomização</b>
<b>1</b>	11.300563	1	1	Não
<b>2</b>	11.494114	1	1	Sim
<b>3</b>	11.300563	2	1	Não
<b>4</b>	11.416009	2	1	Sim
<b>5</b>	11.390544	1	2	Não
<b>6</b>	11.500052	1	2	Sim
<b>7</b>	11.449123	2	2	Não
<b>8</b>	11.416009	2	2	Sim

Após a análise, a sequência de melhores variações com base nos resultados obtidos foram: 1 e 3, 5, 4 e 8, 7, 2 e por fim 6. Como previsto, o resultado das variações que tinham a randomização como parte da execução obtiveram custos distintos, visto que nem sempre o trajeto traçado era o melhor, já os dois melhores resultados foram de variações com o estado inicial conforme a entrada e sem a vizinhança embaralhada, alterando apenas o operador. Logo, apesar de que há momentos em que a randomização auxiliou o encontro de bons resultados, ela pode levar para trajetos com custos piores. De modo geral, a randomização da vizinhança não favoreceu as variações em comparação com os outros “subida de encosta” que não embaralham os vizinhos.