

# Projeto 2: Multi-core

Filipe F. Borba

Inspier

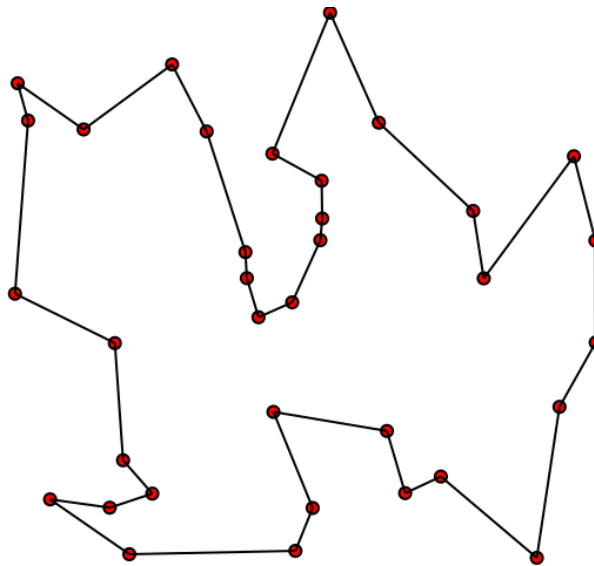
Super Computação, Prof. Igor Montagner

## Introdução

O problema explorado nesse projeto é o algoritmo do Caixeiro Viajante. Este problema encontra-se na área de Otimização discreta, que estuda problemas de otimização baseados em uma sequência de escolhas e que a solução ótima só pode ser encontrada se enumerarmos todas as escolhas possíveis. Em outras palavras, só conseguimos achar a solução ótima se tivermos todas as soluções possíveis. Assim, não existem algoritmos mais eficientes de resolução, pois todos tem complexidade  $O(2^n)$  ou pior.

Ao realizar esse teste das sequências de escolhas em paralelo, podemos diminuir consideravelmente o consumo de tempo do programa, o que é bastante interessante para computação paralela.

O problema do Caixeiro Viajante é o seguinte:



Um vendedor possui uma lista de empresas que ele deverá visitar em um certo dia. Não existe uma ordem fixa: desde que todos sejam visitados seu objetivo do dia está cumprido. Interessado em passar o maior tempo possível nos clientes ele precisa encontrar a sequência de visitas que resulta no menor caminho.

Para nosso projeto em específico, temos algumas simplificações:

- o nosso caixeiro usa Waze e já sabe qual é o caminho com a menor distância entre dois pontos;
- ele começa seu trajeto na empresa 0. Ou seja, basta ele encontrar um trajeto que passe por todas as outras e volte a empresa 0 ;
- ele não pode passar duas vezes na mesma empresa. Ou seja, a saída é uma permutação de  $0 \dots (N-1)$

Finalmente, os objetivos deste projeto são

1. implementar uma versão sequencial em C++ do caixeiro viajante a partir de uma implementação em Python.
2. Estudar e implementar os seguintes métodos paralelos:
  - enumeração exaustiva em paralelo
  - busca local paralela usando 2-opt
  - branch and bound (ou heuristic search)

\*\* Como descrito em <https://github.com/Insper/supercomp/blob/master/projeto-02/enunciado.md> (<https://github.com/Insper/supercomp/blob/master/projeto-02/enunciado.md>).

## Branch and Bound

Um dos métodos de paralelismo utilizados foi o branch and bound, que melhora o tempo de execução do algoritmo drasticamente. A ideia do Branch and Bound é ignorar o resto dos caminhos de uma subárvore de recursão caso seu custo atual já seja pior do que o melhor custo calculado. Com isso, realizamos menos operações e ganhamos desempenho.

## Organização do Projeto

O projeto foi realizado utilizando a linguagem C++ e o compilador g++ do Ubuntu Linux com a biblioteca OpenMP. Temos, então, alguns arquivos diferentes.

- Arquivo `tsp.py`, que implenta o método de enumeração exaustiva sequencial em Python. (Este serve como referência para os outros).
- Arquivo `tsp_seq.cpp`, que implementa o mesmo método, porém em C++.
- Arquivo `tsp_par.cpp`, que implementa o método de enumeração exaustiva em paralelo.

OBS: temos o arquivo `gerador.py` para gerar uma entrada fixa para que possamos testar a mesma entrada em diferentes executáveis. Para usá-lo e salvar uma entrada, basta utilizar o comando na pasta raiz do projeto

```
echo N | python3 gerador.py > ./tests/nome_da_entrada ,
```

onde N é o número de pontos.

Além disso, o projeto possui um `CMakeLists.txt` que possibilita a compilação dos executáveis. São eles:

- `tsp_seq` (sequencial)
- `tsp_par` (paralelo)
- `time_tsp_seq` (sequencial com print do tempo)
- `time_tsp_par` (paralelo com print do tempo)

Para compilar todos os executáveis, basta usar os seguintes comandos na pasta raiz do projeto:

```
mkdir build; cd build; cmake ..; make
```

O comando `make` é responsável por compilar os executáveis. Após isso, para iniciar cada executável, basta utilizar o comando

```
./nome_do_arquivo < ../tests/nome_da_entrada
```

dentro da pasta `build`.

Caso queira rodar o arquivo em Python, utilize

```
python3 tsp.py < ../tests/nome da entrada
```

# Resultados

## Testes Básico

Nesta seção, vamos testar os diferentes executáveis com uma entrada com 5 e outra com 6 pontos. Com isso, podemos verificar se nossas saídas estão dentro do esperado, usando a saída do programa em Python como referência.

OBS: Os arquivos de teste usados estarão sempre com o número de pontos no nome do arquivo.

In [1]:

```
%matplotlib inline
import os
import subprocess

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
```

In [2]:

```
# Pegar o nome dos executaveis
executables = sorted([n for n in os.listdir("./build/") if n.startswith('tsp')])
executables
```

Out[2]:

```
['tsp_bb', 'tsp_par', 'tsp_seq']
```

In [3]:

```
# Pegar o nome das entradas menores
inputs = sorted([n for n in os.listdir("./tests/") if n.startswith('in0')])
inputs
```

Out[3]:

```
['in05.txt', 'in06.txt']
```

In [4]:

```
def run_basic_test(executable, input_file):
    with open('./tests/' + input_file, 'rb', 0) as f:
        output = subprocess.check_output(['./build/' + str(executable)], stdin=f)
        output = output.decode("utf-8").splitlines()

    print(f"--{executable}-----{input_file}--")
    print("\n".join(output))

def run_basic_test_python(executable, input_file):
    with open('./tests/' + input_file, 'rb', 0) as f:
        output = subprocess.check_output(['python3', executable], stdin=f)
        output = output.decode("utf-8").splitlines()

    print(f"--{executable}-----{input_file}--")
    print("\n".join(output))
```

In [5]:

```
# Caso queira rodar todos os testes básicos, use:
py_script = "tsp.py"

for i in inputs:
    run_basic_test_python(py_script, i)
    for e in executables:
        run_basic_test(e, i)
```

```
--tsp.py-----in05.txt--
18599.56718 1
0 3 1 2 4
--tsp_bb-----in05.txt--
18599.56718 1
0 4 2 1 3
--tsp_par-----in05.txt--
18599.56718 1
0 3 1 2 4
--tsp_seq-----in05.txt--
18599.56718 1
0 3 1 2 4
--tsp.py-----in06.txt--
6301.16236 1
0 3 2 5 1 4
--tsp_bb-----in06.txt--
6301.16236 1
0 3 2 5 1 4
--tsp_par-----in06.txt--
6301.16236 1
0 3 2 5 1 4
--tsp_seq-----in06.txt--
6301.16236 1
0 3 2 5 1 4
```

## Testes de Desempenho

Aqui estamos preocupados com a diferença de desempenho, então o tamanho das entradas é maior. O tempo foi medido a partir da biblioteca e o `high_resolution_clock`. Como validamos nossa saída com os testes básicos, não precisamos rodar o programa em Python, pois ele demora muito mais do que os outros. A partir de uma entrada de tamanho  $N=14$ , o algoritmo começa a demorar muito e o gráfico de comparação ficaria estranho, então não foram testados com tamanhos maiores.

OBS: outros executáveis foram criados para que a saída devolvesse o tempo, mas o código neles é igual.

In [6]:

```
def run_test(executable, input_file):
    with open('./tests/' + input_file, 'rb', 0) as f:
        output = subprocess.check_output(['./build/' + str(executable)], stdin=f)
        output = output.decode("utf-8").splitlines()

    print(f"--{executable}-----{input_file}--")
    print("\n".join(output))
    return [executable, input_file, output[0]]
```

In [7]:

```
# Vamos rodar os testes pesados e colher dados de desempenho
executables = sorted([n for n in os.listdir("./build/") if n.startswith('time')])
inputs = sorted([n for n in os.listdir("./tests/") if n.startswith('in1')])
data = []
for i in inputs:
    for e in executables:
        data.append(run_test(e, i))
```

```
--time_tsp_bb-----in10.txt--
2
milisegundo(s).
6303.41552 1
0 9 5 2 1 7 8 3 4 6
--time_tsp_par-----in10.txt--
11
milisegundo(s).
6303.41552 1
0 9 5 2 1 7 8 3 4 6
--time_tsp_seq-----in10.txt--
22
milisegundo(s).
6303.41552 1
0 9 5 2 1 7 8 3 4 6
--time_tsp_bb-----in11.txt--
9
milisegundo(s).
14910.06920 1
0 9 8 7 10 4 1 5 3 6 2
--time_tsp_par-----in11.txt--
65
milisegundo(s).
14910.06920 1
0 9 8 7 10 4 1 5 3 6 2
--time_tsp_seq-----in11.txt--
189
milisegundo(s).
14910.06920 1
0 9 8 7 10 4 1 5 3 6 2
--time_tsp_bb-----in12.txt--
46
milisegundo(s).
15761.98802 1
0 9 5 2 7 1 8 6 4 10 11 3
--time_tsp_par-----in12.txt--
674
milisegundo(s).
15761.98802 1
0 9 5 2 7 1 8 6 4 10 11 3
--time_tsp_seq-----in12.txt--
1995
milisegundo(s).
15761.98802 1
0 9 5 2 7 1 8 6 4 10 11 3
--time_tsp_bb-----in13.txt--
231
milisegundo(s).
14961.71525 1
0 12 11 2 1 7 4 9 6 5 8 10 3
```

```
--time_tsp_par-----in13.txt--
6962
milisegundo(s).
14961.71525 1
0 12 11 2 1 7 4 9 6 5 8 10 3
--time_tsp_seq-----in13.txt--
25386
milisegundo(s).
14961.71525 1
0 12 11 2 1 7 4 9 6 5 8 10 3
```

In [8]:

```
df = pd.DataFrame(data, dtype=np.float64)
df
```

Out[8]:

	0	1	2
0	time_tsp_bb	in10.txt	2.0
1	time_tsp_par	in10.txt	11.0
2	time_tsp_seq	in10.txt	22.0
3	time_tsp_bb	in11.txt	9.0
4	time_tsp_par	in11.txt	65.0
5	time_tsp_seq	in11.txt	189.0
6	time_tsp_bb	in12.txt	46.0
7	time_tsp_par	in12.txt	674.0
8	time_tsp_seq	in12.txt	1995.0
9	time_tsp_bb	in13.txt	231.0
10	time_tsp_par	in13.txt	6962.0
11	time_tsp_seq	in13.txt	25386.0

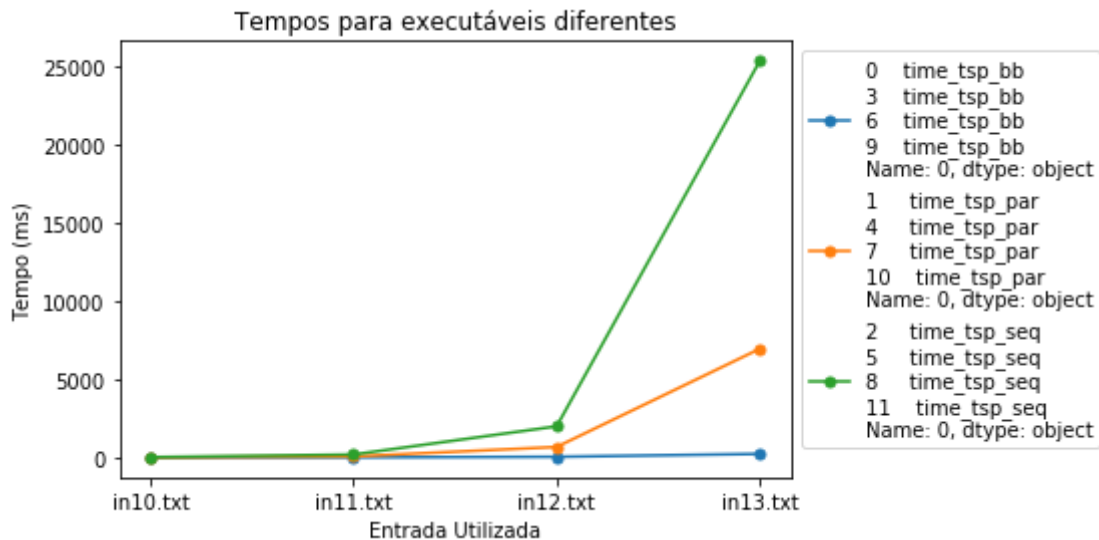
In [9]:

```

groups = df.groupby(0)

fig, ax = plt.subplots()
for name, group in groups:
    ax.plot(group[1], group[2], marker='o', linestyle='--', ms=5, label=group[0])
plt.title('Tempos para executáveis diferentes')
plt.ylabel('Tempo (ms)')
plt.xlabel('Entrada Utilizada')
plt.legend(loc='upper left', bbox_to_anchor=(1, 1))
plt.show()

```



Como podemos verificar no gráfico acima, o algoritmo sequencial acaba sendo muito mais lento que os paralelos, dado que ele está fazendo a busca exaustiva totalmente e sem paralelizar distribuir o processamento. acaba não sendo tão mais rápido que o sequencial. Já, o método de Branch and Bound é muito mais rápido que os demais, pois além de ser paralelo, realiza menos operações do que os outros algoritmos, pois acaba ignorando certos caminhos quando eles já estão piores que a melhor solução atual encontrada. Por fim, o método paralelo é bem mais rápido do que o sequencial, mas não utiliza o "truque" do branch and bound, então ele não diminui o tamanho do problema que precisa resolver, processando dados "inúteis".

Outro ponto interessante de se notar é como o tempo de execução aumenta exponencialmente dado um incremento pequeno de N. Isso indica que é extremamente necessário estudar esses problemas a fundo e trazer soluções mais otimizadas (como o Branch and Bound) ao implementá-las.