

## A distribuição das vacinas contra o COVID-19 por meio do problema do carteiro chinês

Jhonatan Guilherme de Oliveira Cunha<sup>1</sup>

Discente de Ciências da Computação/UTFPR, Campo Mourão, PR

Erika Patricia Dantas de Oliveira Guazzi<sup>2</sup>

DAMAT/UTFPR, Campo Mourão, PR

Neste trabalho, buscamos obter o melhor caminho para distribuir as vacinas contra o COVID-19 na 11ª Regional de Saúde do Paraná, formada por 25 municípios com sede na cidade de Campo Mourão, veja a Figura 1, por meio do problema do Carteiro Chinês.

Resumidamente, o problema do carteiro chinês consiste de problemas reais cuja modelagem matemática utiliza grafos valorados e tem o interesse na repetição de itinerários parciais. Assim, é gerado um itinerário único que será um percurso pré-euleriano, [1, 2, 5].

De forma geral, para problemas que podem ser representados por grafos não orientados e conexos, utilizam-se os seguintes passos: 1) verificar se o grafo  $G$  é euleriano; caso positivo, **ir para passo 6**; 2) determinar o conjunto  $I$  de vértices de grau ímpar em  $G$ ; 3) estabelecer as distâncias  $d_{ij}$  para  $i, j \in I$ ,  $i < j$ ; 4) seja  $D(I) = [d_{ij}]$  a matriz obtida, fazer  $d_{ii} = \infty$  e aplicar a  $D(I)$  o Algoritmo Húngaro; 5) para cada alocação  $(k, l)$  feita pelo algoritmo húngaro, acrescentar ao grafo a aresta  $(k, l)$  de valor  $d_{kl}$ ; e 6) aplicar um algoritmo de busca de percurso euleriano.

O estabelecimento das distâncias  $d_{ij}$ , para  $i, j \in I$  e  $i < j$ , é realizado por meio do Algoritmo de Dijkstra, que é um procedimento utilizado para encontrar os caminhos mínimos de um vértice  $s \in V$  aos demais vértices do grafo. Contudo, ele somente aceita arestas com valoração positiva, [1, 2, 5].

O Método Húngaro consiste em uma abordagem para resolver problemas de alocação linear, como, por exemplo, qual a melhor forma de alocar os funcionários e as máquinas de uma dada empresa. Em outras palavras, matematicamente, são problemas reais cuja modelagem leva a um grafo bipartido valorado. Existem outros métodos de resoluções para esses problemas, como por exemplo o Algoritmo do Transporte ou por meio da Programação Linear Inteira, [1, 3].

No último passo, empregamos o Algoritmo de Hierholzer na busca de percursos eulerianos (ou tour de Euler). Ressaltamos que esse algoritmo não depende de detecção de ciclos e existem outros algoritmos para realizar a busca de percursos eulerianos, por exemplo, o algoritmo de Fleury, [4].

Para a obtenção dos dados e sua modelagem, consideramos cada cidade pertencente à referida Regional de Saúde como sendo um vértice do grafo a ser modelado. A obtenção das arestas foram estabelecidas a partir de análises das rodovias que ligam essas cidades, veja a Figura 1. Ressaltamos que não consideramos as estradas rurais que ligam essas cidades e para as valorações utilizamos a distância em quilômetros entre as cidades, obtidas pelo *website* do *Google Maps*.

Assim, o problema consiste em encontrar um ciclo para conseguir entregar vacinas em todas as cidades de referida regional de saúde. Então, a partir do desenvolvimento dos passos do Problema do Carteiro Chinês para o grafo estabelecido a partir da modelagem das cidades que compõem a 11ª Regional de Saúde Paraná, obtivemos o ciclo: Campo Mourão, Iretama, Roncador, Nova Cantu, Altamira do Paraná, Campina da Lagoa, Juranda, Mamborê, Roncador, Luiziana, Corumbataí do

---

<sup>1</sup>jhonatancunha@alunos.utfpr.edu.br.

<sup>2</sup>erikapatricia@utfpr.edu.br.

Sul, Barbosa Ferraz, Iretama, Corumbataí do Sul, Campo Mourão, Farol, Campo Mourão, Mamborê, Boa Esperança, Mamborê, Luiziana, Iretama, Roncador, Nova Cantu, Campina da Lagoa, Ubatã, Juranda, Ubatã, Quarto Centenário, Goioerê, Janiópolis, Moreira Sales, Goioerê, Rancho Alegre d'Oeste, Juranda, Boa Esperança, Janiópolis, Farol, Araruna, Terra Boa, Engenheiro Beltrão, Terra Boa, Peabiru, Araruna, Campo Mourão, Luiziana, Corumbataí do Sul, Barbosa Ferraz, Fênix, Quinta do Sol, Engenheiro Beltrão, Peabiru, Campo Mourão, com distância total de 1666.50 km.

Destacamos que a partir das escolhas realizadas (região e métodos) para resolver o problema proposto, buscamos a melhor solução para o contexto apresentado. Entretanto, existem diversos outros fatores que podem alterar cada decisão tomada na modelagem e/ou na escolha dos métodos e/ou durante a execução dos algoritmos implementados, como por exemplo o menor custo das viagens (tempo, gastos financeiros, etc).

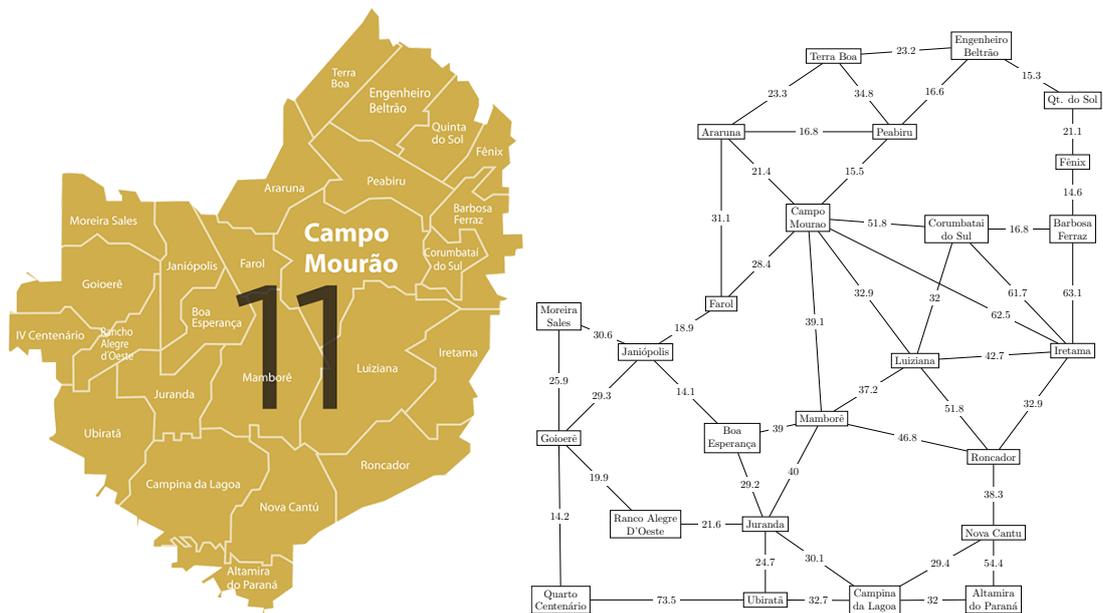


Figura 1: Mapa e Grafo da 11ª Regional de Saúde do Paraná, respectivamente.

## Referências

- [1] Boaventura Netto, P. O. e Jurkiewicz, S. *Grafos: introdução e prática*. 2ª edição. Blucher, São Paulo, 2017.
- [2] Bondy, J. A. and Murty, U. S. R. *Graph Theory*. In *Graduate texts in Mathematics*. v. 244. Springer, 2008.
- [3] Guirado, J. C. e Rocha, M. R. O método húngaro para resolução de problemas de otimização, *XII EPREM–Encontro Paranaense de Educação Matemática*. 2014.
- [4] Levada, A. L. M. *Teoria dos Grafos para Computação: Fundamentos teóricos, problemas e algoritmos*. In *Notas de Aulas*. UFSCAR - Departamento de Computação.
- [5] Nicoletti, M. C. e Hruschka Jr, E. R. *Fundamentos da teoria dos grafos para computação*. Grupo GEN, 2017.