

PROPOSTA DE FERRAMENTA PARA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS INTEGRADA A UM SERVIÇO DE MAPAS

Vinicius Martins Rodrigues Pereira ¹; Otávio Martins Vasconcelos ²; Guilherme de Souza Ferreira ³; Luiza Bernardes Real

1 Vinicius Martins Rodrigues Pereira, Bolsista IFMG, Engenharia Mecânica, IFMG Campus Congonhas, Congonhas - MG; viniciusmartins6@hotmail.com

2 Otávio Martins Vasconcelos, Bolsista IFMG, Engenharia de Produção, IFMG Campus Congonhas, Congonhas - MG; otavio_vasconcelos@outlook.com

3 Orientador: Guilherme de Souza Ferreira, UFMG; ferreira.guilherme@gmail.com

4 Orientador Luiza Bernardes Real: Pesquisador do IFMG, Campus Congonhas; luiza.real@ifmg.edu.br

RESUMO

O Problema do Caixeiro Viajante é um dos mais tradicionais problemas de análise combinatória e vem sendo cada vez mais estudado como opção para otimização de rotas devido a sua grande aplicabilidade nos mais diversos setores das indústrias, já que sua correta utilização pode trazer retornos financeiros e operacionais com baixo custo. Este trabalho apresenta uma ferramenta matemática e computacional que integra uma busca automática das distâncias entre os endereços através de um serviço de mapas online, evitando que o usuário gaste tempo realizando essas buscas de forma manual, com um solver comercial para a resolução de uma formulação matemática para proposição de rotas mais curtas. Dessa forma, é possível usar este recurso desenvolvido sem ter qualquer conhecimento da teoria de Pesquisa Operacional ou programação da parte do usuário, sendo necessário apenas o fornecimento dos endereços a serem visitados. Para validação da ferramenta, um estudo comparativo foi realizado em uma empresa de usinagem na cidade de Contagem que usa um caminhão para buscar insumos de sua produção em fornecedores da região. Calculou-se a distância percorrida em cada rota adotada pela empresa, rotas essas criadas pelos funcionários apenas com o conhecimento da região e por pesquisas manuais feitas pelo computador. Essas distâncias foram comparadas com as distâncias que teriam sido percorridas caso a ferramenta desenvolvida tivesse sido utilizada. Com tempo de resolução entre 12 e 31 segundos, o resultado mostrou uma redução de 17,16% quilômetros rodados, atestando a eficácia da ferramenta desenvolvida tanto na questão da qualidade das soluções quanto no tempo de resposta e foi considerada apta para ser incorporada no cotidiano de empresa e apoiar o processo de definição das rotas. Como a ferramenta trouxe resultados satisfatórios fica como sugestão de trabalhos futuros o desenvolvimento de uma interface amigável, permitindo aos usuários finais utilizá-la diariamente com facilidade e agilidade na definição das rotas.

Palavras-chave: Problema do Caixeiro Viajante; Pesquisa Operacional; Python; Otimização de Rotas

INTRODUÇÃO:

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é um dos problemas mais tradicionais da Otimização Combinatória e vem sendo aprimorado desde 1930 devido a sua enorme aplicabilidade. Ele consiste em estabelecer a rota ótima que minimiza o valor de uma variável pré-definida (tempo, custo ou distância) passando em um conjunto de cidades e retornando à cidade original. O PCV tem por objetivo basicamente fazer com que todos os clientes sejam visitados apenas uma vez e que a distância total percorrida entre eles seja minimizada, ou seja, a rota gerada deve ser a menor possível (LISBOA, 2007).

O PCV é considerado de grande importância tanto no meio acadêmico quanto nos mais diversos setores da indústria devido: a sua ampla extensão prática, grande dificuldade de obtenção da solução exata e uma significativa relação com outros modelos (LAPORTE et al., 1996). O estudo do PCV pode gerar retornos financeiros consideráveis, tornando-se um diferencial para as empresas de pequeno, médio e grande porte.

De acordo com Ballou (2006), “A movimentação de cargas absorve de um a dois terços dos custos logísticos em uma empresa”. No Brasil, o cenário é ainda mais crítico. De acordo com Alves (2018, p. 34, apud ILOS, 2018), a logística de transporte representa 6,6% do PIB nacional. Dessa forma, pensar em soluções que minimizem esses custos logísticos tornam as empresas mais competitivas, promovendo assim reflexo para os consumidores finais, que são impactados pelo custo de toda a cadeia produtiva.

Apesar de ser possível encontrar no mercado sistemas de apoio a decisões de transporte, a maioria dos softwares de roteirização disponíveis não são de fácil acesso a empreendedores individuais, pequenas e médias empresas. Portanto, muitas vezes, essas decisões são tomadas com base em cálculos manuais e no bom senso. Além de poderem apresentar gaps de melhora significativos, esse processo de tomada de decisão demanda muito tempo. Uma rota que possui 10 locais a serem visitados, por exemplo, possui uma matriz de distância 10x10 com um total de 90 distâncias para serem analisadas, sendo improvável a escolha da melhor rota mesmo após muito tempo de análise.

Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar uma solução de baixo custo para auxiliar na tomada de decisão dos problemas de roteamento. Para isso, elaborou-se uma ferramenta matemática e computacional que integra uma Interface de Programação de Aplicação, ou em inglês *Application Programming Interface* (API) de um serviço de mapas com a solução de um modelo matemático.

METODOLOGIA:

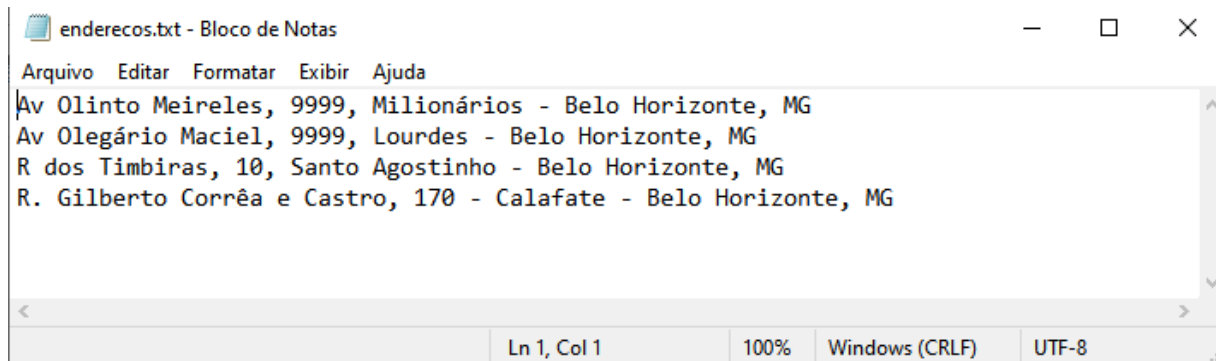
Embora vários artigos presentes na literatura apresentam dados reais e propõem a elaboração de rotas com base na solução de um modelo matemático do PCV, nenhum deles conta com uma integração entre um serviço de mapas para cálculo automático das distâncias e um solver para solução do modelo matemático. Essa falta de integração eleva o tempo gasto pelo usuário, que deve calcular manualmente as distâncias entre os diferentes destinos, o que torna inviável a depender do número de pontos (destinos utilizados). Esse trabalho busca tornar a aplicação mais próxima da realidade de um utilizador, sendo necessário apenas que ele insira os locais que precisam ser visitados.

Para determinar a rota mais curta entre o conjunto de endereços fornecidos pelo usuário a formulação matemática apresentada por Dantzig, Fulkerson e Johnson (1954) foi implementada. A ferramenta foi desenvolvida utilizando a linguagem Python versão 3.9 e o solver CPLEX versão 20.1.0 para resolução do problema de otimização. O Computador utilizado usa o Sistema Operacional Windows 10 – 64 bits com a CPU Intel(R) Core(TM) i7-8550U CPU @ 1.80GHz 1.99 GHz e memória RAM de 8.00 GB. Também é necessário conexão com a internet, porque o código usa a API do Bing Maps versão 7.0 que faz uma busca on-line dos endereços para retornar as distâncias entre cada par de endereço.

O recurso da API do Bing Maps foi muito importante para a resolução rápida do problema, porque ele dispensa a busca manual, que demanda tempo, e retorna em poucos segundos o resultado. Na inserção de dados, além do endereço, a API reconhece o nome do local, sendo possível utilizar nomes de restaurantes ou hotéis, o que facilita a interação do usuário com a ferramenta proposta. Um outro ponto positivo do uso da aplicação é que essa permite considerar o tráfego em tempo real, e assim retornar informações assertivas para o momento.

Para a execução do programa, o usuário deverá somente inserir os endereços em um arquivo de texto livre, de nome “enderecos.txt”, com cada endereço separado por quebras de linhas. Esse arquivo deve estar salvo na mesma pasta do arquivo.py e deve estar formatado de acordo com o exemplo ilustrado pela Figura 1.

Figura 1 – Exemplo da Entrada de Dados



Após a leitura dos endereços, o programa, calcula de forma automática todas as distâncias entre cada par de endereço através da API. As informações que a API retorna trazem ainda a situação do tráfego, evitando rotas que possuem problemas momentâneos. Em seguida, o CPLEX resolve a formulação matemática do PCV, e define qual será a melhor rota. A ferramenta proposta retorna para o usuário a distância total percorrida, a rota mais curta encontrada e o tempo total de execução da ferramenta. Esse tempo corresponde ao tempo de comunicação com a API, recebimento dos dados, criar e resolver o modelo matemático e indicar a distância percorrida.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Para exemplificar a melhoria que a solução apresentada nesse trabalho pode trazer para o mercado, avaliou-se possíveis ganhos que uma empresa de usinagem obteria ao adotar a ferramenta desenvolvida. Essa empresa fica situada na cidade de Contagem, Minas Gerais, onde apenas um caminhão é utilizado para buscar os insumos nos fornecedores que são utilizados como matéria-prima em sua produção.

Para quantificação dos benefícios, cinco rotas reais já praticadas pela empresa foram avaliadas. Considerando o endereço de origem (a empresa), as rotas 1, 2, 3, 4 e 5 contém 5, 6, 7, 7 e 8, endereços, respectivamente. A Tabela 1 apresenta na coluna 1, a rota considerada; na coluna 2, a distância total percorrida nas rotas praticadas pela empresa; na coluna 3, a distância total percorrida nas rotas sugeridas pela aplicação desenvolvida; na coluna 4, o percentual de melhoria (M (%)) entre a distância percorrida pela empresa atualmente (D_r) e a distância obtida pela aplicação proposta (D_s); e na coluna 5, o tempo de execução para o solver encontrar a melhor rota. A equação 1 apresenta como é calculado o percentual de melhoria:

Equação 1 – Cálculo do Percentual de Melhoria

$$M (\%) = 100\% \times \frac{(D_r - D_s)}{D_r}$$

Tabela 1 – Resultados do Solver

Rota	Real (Km)	Solver (Km)	Melhoria (%)	Tempo de Execução (s)
1	15,806	14,542	7,99	12
2	43,797	35,1	19,86	19
3	57,662	43,37	24,79	26
4	77,097	55,77	27,66	24
5	182,035	163,03	10,44	31
Total	376,397	311,813	17,16	-

Pode-se observar a partir da Tabela 1, que a ferramenta proposta foi capaz de otimizar a distância em todas as rotas analisadas, e resultou na redução de 64,57 Km rodados, ou seja, a rota ficou 17,16 % mais curta, com um tempo de solução, que apesar de variar de acordo com a quantidade de pontos, entre 12 e 31 segundos. O resultado é ainda mais relevante, pois ao considerar a distância das rotas encontradas pelo solver, foram utilizadas informações em tempo real o que não implica, necessariamente, que seja a rota mais curta. É importante ressaltar que além da redução da distância implicar em prováveis reduções de custos, ela também auxilia na redução de emissão de CO₂, reduz o desgaste e há um potencial aumento na disponibilidade do veículo. Além disso, o funcionário responsável por recolher esses insumos terá mais tempo para se dedicar a atividades que de fato agregam valor ao cliente final da empresa.

CONCLUSÕES:

Este trabalho teve como objetivo apresentar uma ferramenta matemática e computacional para auxiliar no processo de decisão de formação de rotas com o objetivo de minimizar os custos de transporte. A ferramenta foi desenvolvida na linguagem Python, com integração a uma API de serviços de mapa. Para solução do modelo, foi utilizado o solver comercial CPLEX.

Para testar a aplicação, a ferramenta foi empregada em um estudo de caso em uma empresa de usinagem. Para todos os casos avaliados, a aplicação obteve uma rota mais curta que a praticada pela empresa em questão, e reduziu em 17,16 % a distância total percorrida em relação ao praticado pela empresa, com um tempo de processamento máximo de aplicação de 31 segundos. Portanto, a ferramenta proposta mostrou-se efetiva tanto em qualidade da solução quanto no tempo de processamento, sendo considerada apta para ser usada como apoio para definição de rotas no cotidiano das empresas.

Para trabalhos futuros, do ponto de vista dos usuários, é importante desenvolver uma interface para os usuários finais utilizarem o programa diariamente, com um modo de fácil interação através de um aplicativo. Esse aplicativo pode ser adaptado para dispositivos móveis e tablets, o que ajudaria cada vez mais pessoas que enfrentam o problema de planejamento de rotas, tendo resultados otimizados disponibilizados rapidamente. Da perspectiva do problema, pode-se considerar características que foram simplificadas no presente modelo e são relevantes na aplicação real, como a capacidade. Por fim, do ponto de vista da aplicação, vislumbra-se o desenvolvimento de um solver de forma que a ferramenta proposta possa ser distribuída.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALVES, Leonardo Judice Maximiano. **CONFIGURAÇÃO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO COM BASE NOS CUSTOS LOGÍSTICOS E NA TRIBUTAÇÃO**. 2018. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Administração, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda/Rj, 2018. Disponível em:

<https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/9448/1/Disserta%20a7%20a3o%20Leonardo%20J%20c%20badice%20Maximiano%20Alves.pdf> . Acesso em: 27 abr. 2021

CHAVES, Antônio Augusto. **MODELAGENS EXATA E HEURÍSTICA PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM COLETA DE PRÊMIOS**. 2003. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003. Disponível em:

<http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/Orientacoes/PCVCP-Exato-VNS.pdf> . Acesso em: 28 abr. 2021.

CONTE, Nelson. **O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE, TEORIA E APLICAÇÕES**. 2002. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Matemática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/118198/000339835.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em: 28 abr. 2021.

CUNHA, C. B. **Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais**. Revista Transportes da ANPET, v. 8, n. 2, p.51-74, 2000.

DANTZIG, George Bernard; FULKERSON, Ray Delbert; JOHNSON, Selmer M. Solution of a Large Scale Traveling Salesman. Rand Research Memorandum,1954.

GOLDBARG, M. C., LUNA, H. P. L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**. Rio de Janeiro, RJ, Campus, 2000.

LACHTERMACHER, Gerson. Pesquisa Operacional: na tomada de decisões. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 1 p.

LAPORTE, Gilbert; MARTELLO, Silvano. The selective travelling salesman problem. **Discrete applied mathematics**, v. 26, n. 2-3, p. 193-207, 1990.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0166218X9090100Q> LIMA, Lais Brenda de Oliveira et al.

APLICAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE NA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS EM UMA EMPRESA PRODUTORA DE ORGÂNICOS. Sinep, Dourados, v. 1, n. 1, p. 1-12, nov. 2018. Disponível em:

<https://ocs.ufgd.edu.br/index.php?conference=sinep&schedConf=ISINEP&page=paper&op=viewFile&path%5B%5D=1169&path%5B%5D=1098> . Acesso em: 26 abr. 2021.

LISBOA, F. S. GRASP para o problema de roteamento de veículos com multi-comportamentos e restrição de janela de tempo. 2007. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ, 2007. Disponível em:

<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp034109.pdf> . Acesso em: 22 abril de 2018.

SCHWAAB, Cassio dos Santos. **UMA REVISÃO TEÓRICA SOBRE O PROBLEMA CLÁSSICO DO CAIXEIRO VIAJANTE E SUAS APLICAÇÕES**. 2019. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Matemática, Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2019. Disponível em:

<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/4880/1/TCC%20%20final.pdf> . Acesso em: 27 abr. 2021.

Participação em Congressos, publicações e/ou pedidos de proteção intelectual:

Publicado no SENGI – Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação