OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS DE UMA EMPRESA DE FILTROS AUTOMOTIVOS

[1] Damasceno, Gabriela; [1]gabrielarkd97@gmail.com; [1]Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS);
[2]Martins, Carolina; [2]carol_tcch@hotmail.com; [2]Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS);
[3]Shiino, Luciene; [3]luciene_shiino@hotmail.com; [3]Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS);
[4]Silva, Giovanna; [4]giomartinssouza@gmail.com; [4]Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS);

RESUMO: *O objetivo deste artigo é apresentar um caminho otimizado das rotas de vendas da empresa Damfil, uma empresa de vendas de filtros automotivos localizada em Campo Grande – MS. Levou-se em consideração que a rota ótima coincidiria com o caminho de menor distância entre as cidades atendidas, passando apenas uma vez em cada cidade e retornando ao ponto de origem. Optou-se por utilizar o programa Solver do Excel para realizar a otimização do problema. A rota ótima lograda foi averiguada e considerada um bom resultado em consideração aos valores iniciais.*

PALAVRAS-CHAVE: *Problema do caixeiro viajante; Otimização de rotas; Minimização de trajeto; Pesquisa operacional.*

ABSTRACT: *The objective of this article is to present an optimized route of the sales routes of the company Damfil, an automotive filters company located in Campo Grande - MS. It was taken considered that the optimal route would coincide with the path of the shortest distance between the cities served, passing only once in each city and returning to the point of origin. It was closing to use the Excel Solver program to optimize the problem. The optimal route was verified and considered a good result considering the initial values.*

KEYWORDS: *Traveling salesman problem; Optimization of routes; Minimization of path; Operational Research.*

1. Introdução

O comércio varejista no Brasil consta com mais de 1 bilhão de empresas, segundo dados apresentados pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2014) e uma receita operacional líquida registrada em mais de 1 trilhão de reais. A variedade de produtos, marcas e preços que existem no comércio, faz com que as empresas busquem por estratégias para dominar sua área de atuação, a logística e o nível de desempenho no serviço podem gerar uma vantagem em relação aos concorrentes.

Segundo a ABRAFILTROS - Associação Brasileira das Empresas de Filtros e seus Sistemas Automotivos e Industriais (2014) as projeções apontam um crescimento para 2018 superior ao registrado em 2017, mas há ressalvas em relação ao dinamismo do mercado, o que resulta na necessidade de fornecedores atentos no fluxo do comércio, com ações, tecnologia e serviços para fidelizar o cliente.

Segundo Cunha (2000), a roteirização de veículos é uma área de aplicação dos métodos de pesquisa operacional cujos resultados são bastante satisfatórios, reafirmando sua importância na tomada de decisão de gestores para obter ganhos de produtividade e reduzir custos.

O objetivo deste artigo é apresentar um caminho que melhor auxilie a empresa Damfil Comercial LTDA, representante dos filtros Fram, localizada em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, desde maio de 1972, na logística de vendas de mercadorias nas cidades do interior de Mato Grosso do Sul, aplicando problema do caixeiro viajante para resolvê-lo.

2. Referencial teórico

2.1. Comércio

No início da história a aquisição de produtos era realizada por escambo, ou seja, a troca de produtos, que envolviam roupas, ferramentas, alimentos, entre outros, e com o passar do tempo essa troca de bens ou serviços começa a ser realizada por meio da moeda.

Segundo Freitas (2006), no século XIX, nos EUA e Inglaterra, surgiram as lojas de mercadorias gerais, que ofereciam diversas mercadorias, desde tecidos até munições e armas. Devido ao grande número de produtos comercializado, as lojas que naquela época concentravam-se nos centros comerciais das cidades, tiveram que se adaptar aos serviços de entregas, com construção de depósitos especializados, transportes adequados, para melhoria dos serviços ao consumidor.

2.2. Pesquisa operacional

A Pesquisa Operacional (PO) foi utilizada, pela primeira vez, segundo Tiwari e Sandilya (2006), principalmente na alocação de recursos militares na Segunda Guerra Mundial, tendo como objetivo principal otimizar os recursos limitados. Desde então, o uso dessas técnicas para resolver problemas de otimização é amplamente utilizado em vários setores empresariais (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

De acordo com Moreira (2010), a Pesquisa Operacional trata-se de um método científico, que busca obter a melhor solução (solução ótima) para um problema e consequentemente auxiliar empresas e gestores dos mais diversos campos nas tomadas de decisões.

Para a resolução de um problema de PO deve-se desenvolver: formulação do problema; construção do modelo do sistema; cálculo da solução por meio do modelo; teste do modelo e da solução; tomada de decisão na solução encontrada; a implementação e o acompanhamento

(PATRÍCIO et al., 2011).

O tipo e a complexidade do problema determinam a técnica que deve ser utilizada para a sua resolução. Entre essas técnicas estão a programação linear, programação inteira, programação dinâmica, programação não linear, teoria dos estoques, teoria das filas, simulação, teoria dos jogos (TAHA, 2008).

2.3. Programação dinâmica

A programação dinâmica é um método matemático desenvolvido por Richard Bellman na década de 60. O método resolve problemas recursivamente, o que implica na avaliação de um número de sequências de decisão significativamente menor do que a inspeção de todas as combinações possíveis (BELLMAN, 1957).

Em muitos problemas reais da engenharia e das ciências sociais o sistema apresenta um estado inicial conhecido, sujeito a leis de controle também conhecidas. Em outros casos, especialmente em problemas operacionais, as leis de controle são sujeitas à atuação da natureza. No primeiro caso, dizemos que o problema é determinístico, e no segundo estocástico. Ehrlich (1991) afirma que a Programação dinâmica é uma técnica muito empregada em problemas que envolvem a otimização de problemas que podem ser modulados por uma sequência de estados. Pode ser aplicada tanto a problemas lineares como a problemas não lineares.

Segundo Arenales et al (2007) a programação dinâmica envolve a decomposição do problema em pequenas partes, gerando um sequenciamento de problemas menores e mais simples. A programação dinâmica mostra-se como uma técnica destinada a otimizar processos de decisão de multiestágios. Define as principais similaridades na aplicação da técnica em problemas de otimização como: estágios, estados e decisões.

2.4. Problema do caixeiro viajante

Seu início é dedicado a William Rowan Hamilton, criador de um jogo que tinha como finalidade determinar um roteiro que iniciasse e terminasse no mesmo ponto (equivalente à cidade), porém, sem repetir nenhuma passada. O Ciclo Hamiltoniano estabeleceu um resultado para o jogo de Hamilton (GOLDBARG E LUNA, 2000).

Em otimização combinatória, o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é um dos mais estudados e conhecidos (LAPORTE, 1992). Ele consiste em um conjunto de nós V = {1, 2, ..., n} e um outro de arcos A. Os nós representam as cidades. Os arcos representam pares ordenados de cidades entre as quais uma viagem é possível. Para o arco (i, j) ∈ A, cij é o tempo de viagem da cidade i para a cidade j (LACHTERMARCHER, 2009).

Segundo Applegate et al (2011) muitos problemas podem ser aplicados e modelados por PCV, como rota de transporte escolar, manufatura de microchips, inspeção em plataformas petrolíferas e sequenciamento de DNA.

Como apresentado abaixo, temos a formulação de Dantzig, Fulkerson e Johnson, presente em Goldbarg e Luna (2000), do Problema do Caixeiro Viajante:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} c_{ij}\, x_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i,\, j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset N \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall\, i,j \in N \quad (4)$$

Onde:

c_{ij}: distância de ir do ponto i ao ponto j.

$x_{ij} = 1$, se arco (i, j) ∈ A , ou seja, for escolhido o caminho do ponto i até o ponto j para integrar a solução.

$x_{ij} = 0$, caso contrário;

S: é um subgrafo de G.

|S|: números de vértices do subgrafo S.

As restrições que determinam que o fluxo de chegada em cada cidade j deve ser 1, são as indicadas em (1). As restrições indicadas por (2) determinam que o fluxo de saída de cada cidade j deve ser 1. As restrições indicadas por (3) eliminam os subciclos. As restrições indicadas por (4) determinam que as variáveis sejam binárias, ou seja, podem assumir apenas os valores 0 ou 1.

3. Metodologia

3.1. O problema

A Damfil Comercial LTDA necessita visitar cinco cidades no interior do estado de Mato Grosso do Sul para realizar a venda de seus produtos. A empresa possui apenas um vendedor disponível para a realização das vendas no interior, e após a realização da mesma, deverá retornar a sua sede na capital do estado.

Através de uma entrevista com o gestor da empresa foi possível obter informações, como as cidades atendidas e o método de venda dos produtos, a rota atualmente utilizada foi determinada por escolha do próprio vendedor, considerando apenas o círculo que as cidades formam, e o mesmo optou por realizar Campo Grande – Dourados – Aquidauana – São Gabriel do Oeste – Três Lagoas – Nova Andradina – Campo Grande, totalizando 1.966 km. Neste contexto, observou-se a oportunidade de aplicação de estudos voltados a otimização da roteirização ao longo das cidades atendidas e prospectadas pela empresa, com objetivo de redução de custos na logística de vendas.

Portanto, o problema baseia-se em definir um itinerário de viagem que se inicia e termine em Campo Grande (1), deslocando-se pelo menor caminho obtido. As cidades que o vendedor precisa visitar são: Aquidauana (2), Dourados (3), São Gabriel do Oeste (4), Nova Andradina (5) e Três Lagoas (6).

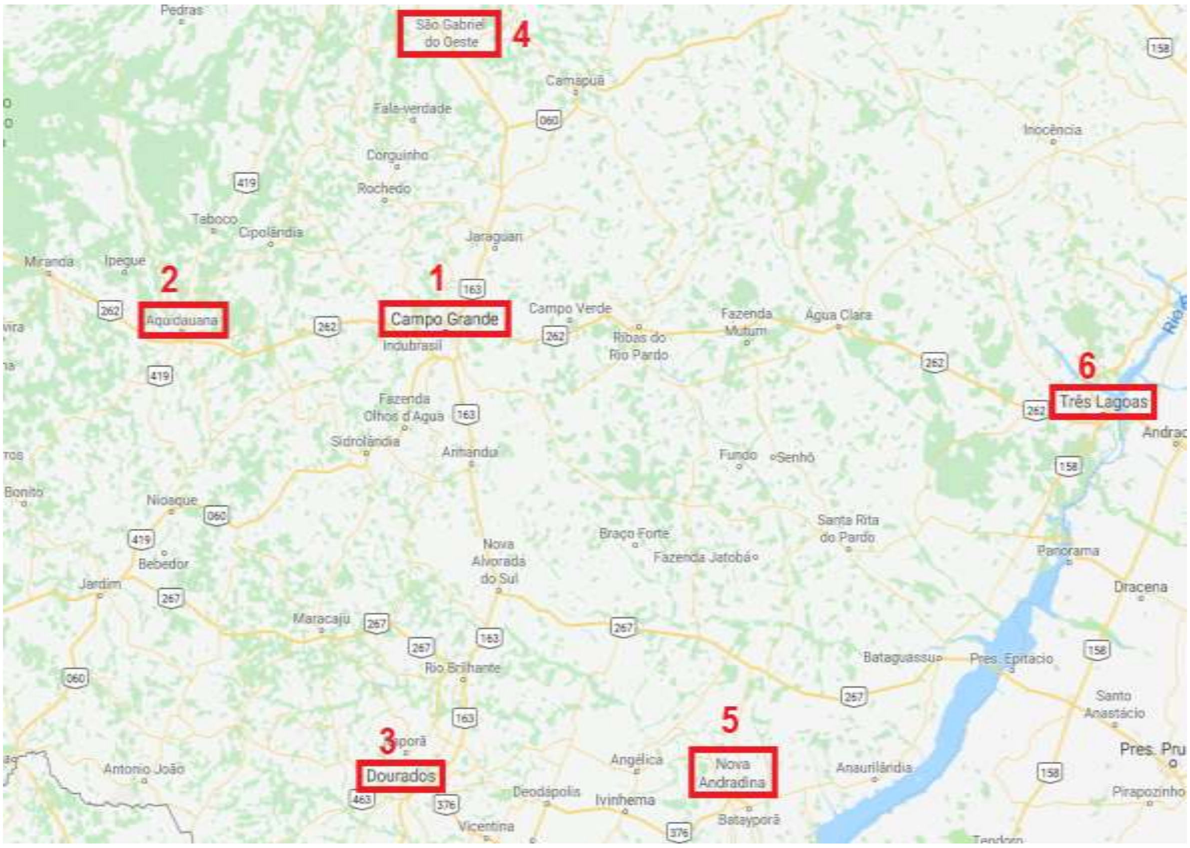

Figura 1: Relação das cidades no mapa. Fonte: Google Maps (2018).

Tabela 1: Relação cidade e identificação.

CAMPO GRANDE	1
AQUIDAUNA	2
DOURADOS	3
SÃO GABRIEL DO OESTE	4
NOVA ANDRADINA	5
TRES LAGOAS	6

Fonte: Autores (2018).

As distâncias entre as cidades foram obtidas com o auxílio do site Google Maps e estão representadas na matriz abaixo (Figura 2) com os respectivos valores em quilômetros.

Distâncias	1	2	3	4	5	6
1		141	228	145	297	326
2	141		325	283	431	482
3	228	325		368	178	449
4	145	283	368		436	456
5	297	431	178	436		273
6	326	482	449	456	273	

Figura 2: Matriz com a relação das distâncias entre as cidades. Fonte: Autores (2018).

3.2. Método de aplicação

O artigo foi elaborado com o auxílio de pesquisas bibliográficas, dados coletados com o gestor da empresa e por meio de coletas de informações em diversos textos relacionados ao assunto abordado. Para se encontrar a melhor solução do problema, foi escolhido usar a plataforma do Solver dentro do programa Excel para encontrar qual seria o melhor caminho a ser percorrido. O Solver é um programa que foi desenvolvido para a resolução de problemas matemáticos onde o mesmo busca otimizar a melhor solução.

Primeiramente montamos a matriz inicial como mostrado anteriormente na figura 2, nela consta as distâncias entre a cidade de partida e os destinos em que o vendedor da empresa terá que visitar. A modelagem matemática é dada pelas Eq. 5 a 9:

$$\begin{aligned} Min\ Z = \ & 141x_{12} + 228x_{13} + 145x_{14} + 297x_{15} + 326x_{16} + 141x_{21} + 325x_{23} + 283x_{24} \\ & + 431x_{25} + 482x_{26} + 228x_{31} + 325x_{32} + 368x_{34} + 178x_{35} + 449x_{36} \\ & + 145x_{41} + 283x_{42} + 368x_{43} + 436x_{45} + 456x_{46} + 297x_{51} + 431x_{52} \\ & + 178x_{53} + 436x_{54} + 273x_{56} + 326x_{61} + 482x_{62} + 449x_{63} + 456x_{64} \\ & + 273x_{65} \qquad (5) \end{aligned}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^{6} x_{ij} = 1 \qquad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{6} x_{ij} = 1 \qquad (7)$$

$$\sum_{i,j \in [1,6]} x_{ij} \leq |6| - 1 \qquad (8)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad (9)$$

As equações (6 e 7) indicam que as rotas de chegada e saída devem ser iguais a 1, a equação (8) elimina os subciclos e a equação (9) que os valores da matriz A devem ser todos binários. Na resolução do problema deve-se inserir apenas as restrições indicadas por (1), (2) e (4) para a execução do programa. Após a execução, verifica-se na solução obtida a existência de subciclos. Caso existam, é inserida no modelo a restrição (3), a qual desfaz os subciclos encontrados e o programa é executado novamente. Esse procedimento se repete até que a solução não contenha subciclos, ou seja, a solução ótima do problema.

A segunda matriz que deve ser inserida é a A, onde os valores iniciais são zero e a soma das rotas das linhas e colunas devem ser iguais a 1, pois determina a passagem por cada ponto apenas uma vez, a matriz também deve ser binária, ou seja, apresentar apenas os valores de 0 e 1.

Distâncias	1	2	3	4	5	6
1		141	228	145	297	326
2	141		325	283	431	482
3	228	325		368	178	449
4	145	283	368		436	456
5	297	431	178	436		273
6	326	482	449	456	273	

A	1	2	3	4	5	6	ROTA
1		0	0	0	0	0	0
2	0		0	0	0	0	0
3	0	0		0	0	0	0
4	0	0	0		0	0	0
5	0	0	0	0		0	0
6	0	0	0	0	0		0
ROTA	0	0	0	0	0	0	

Máximo	1	2	3	4	5	6
1		0	0	0	0	0
2	0		0	0	0	0
3	0	0		0	0	0
4	0	0	0		0	0
5	0	0	0	0		0
6	0	0	0	0	0	

B	1	2	3	4	5	6
1		0	0	0	0	0
2	0		0	0	0	0
3	0	0		0	0	0
4	0	0	0		0	0
5	0	0	0	0		0
6	0	0	0	0	0	
ROTA	0	0	0	0	0	0

MENOR DISTANCIA	0

Figura 3: Matrizes para a resolução no Solver. Fonte: Autores (2018).

Outra matriz necessária é a matriz B, a qual serve para validar todos os nós, e forçar a saída do nó 1 e assegurar que a somatória das rotas seja igual a zero, para isso deve-se subtrair a soma de cada coluna pela soma de cada linha. Posteriormente, deve-se adicionar nas restrições dos parâmetros do solver que a função a partir da coluna 2 deve ser sempre igual a 1 e todos os números devem ser inteiros. A última matriz auxiliar é a matriz Máximo, a qual multiplica cada célula da matriz A pelo número máximo de nós, ou seja, seis. Ela deve ser utilizada pois delimita os valores da matriz B, isto é, elimina os subciclos.

O resultado apresentado pela função objetivo na figura 4, que é a menor distância a ser percorrida pelo vendedor, é dado pela função "SOMARPRODUTO" dos valores da matriz Distâncias e da matriz A.

fx =SOMARPRODUTO(C3:H8;K3:P8)

Figura 4: Função objetivo. Fonte: Autores (2018).

Nos parâmetros do solver foi selecionado minimizar a função objetivo, as matrizes A e B como as células variáveis e foram adicionadas algumas restrições a fim de evitar os subciclos.

Essas restrições já citadas anteriormente são respectivamente (figura 5):

- A matriz B deve ser menor ou igual à matriz Máximo;

- A matriz B deve ter apenas números inteiros;
- A matriz A deve ter apenas números binários;
- Na matriz A, as somas da rota das colunas devem ser iguais a 1;
- Na matriz B, os valores da subtração da soma de cada coluna pela soma de cada linha devem ser iguais a 1, a partir da segunda coluna;
- Na matriz A, as somas da rota das linhas devem ser iguais a 1.

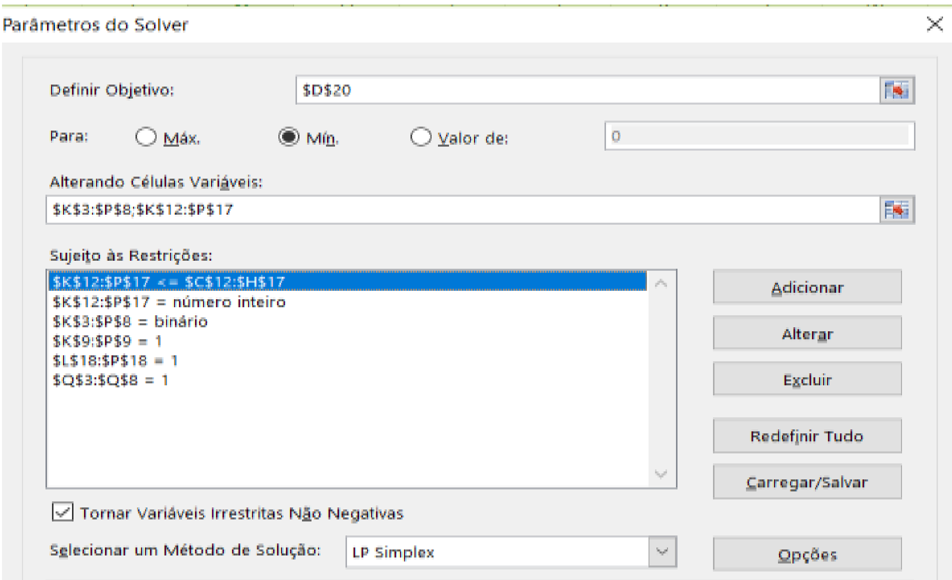

Figura 5: Modelagem do problema no solver. Fonte: Autores (2018).

4. Resultado

Após a resolução do solver, é possível observar as rotas que deverão ser percorridas por meio da matriz A, representadas por um sistema binário, onde o número 1 significa o caminho saindo das linhas e indo para as colunas.

Distâncias	1	2	3	4	5	6
1		141	228	145	297	326
2	141		325	283	431	482
3	228	325		368	178	449
4	145	283	368		436	456
5	297	431	178	436		273
6	326	482	449	456	273	

A	1	2	3	4	5	6	ROTA
1		1	0	0	0	0	1
2	0		1	0	0	0	1
3	0	0		0	1	0	1
4	1	0	0		0	0	1
5	0	0	0	0		1	1
6	0	0	0	1	0		1
ROTA	1	1	1	1	1	1	

Máximo	1	2	3	4	5	6
1		6	0	0	0	0
2	0		6	0	0	0
3	0	0		0	6	0
4	6	0	0		0	0
5	0	0	0	0		6
6	0	0	0	6	0	

B	1	2	3	4	5	6
1		5	0	0	0	0
2	0		4	0	0	0
3	0	0		0	3	0
4	0	0	0		0	0
5	0	0	0	0		2
6	0	0	0	1	0	
ROTA	-5	1	1	1	1	1

MENOR DISTANCIA	1518

Figura 6: Resultado encontrado pelo Solver. Fonte: Autores (2018).

Portanto, foi encontrada como solução ótima a rota 1-2-3-5-6-4-1, que é representada pelas cidades: Campo Grande - Aquidauana - Dourados - Nova Andradina - Três Lagoas - São Gabriel do Oeste - Campo Grande. Esse roteiro representa a menor distância para o vendedor percorrer passando por cada cidade apenas uma vez, totalizando 1518 km, como observado na figura 7.

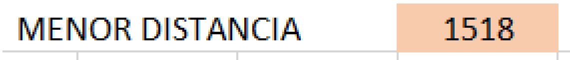

Figura 7: Resultado da distância total percorrida. Fonte: Autores (2018).

Abaixo (figura 8), o mapa com o desenho da rota otimizada entre as cidades.

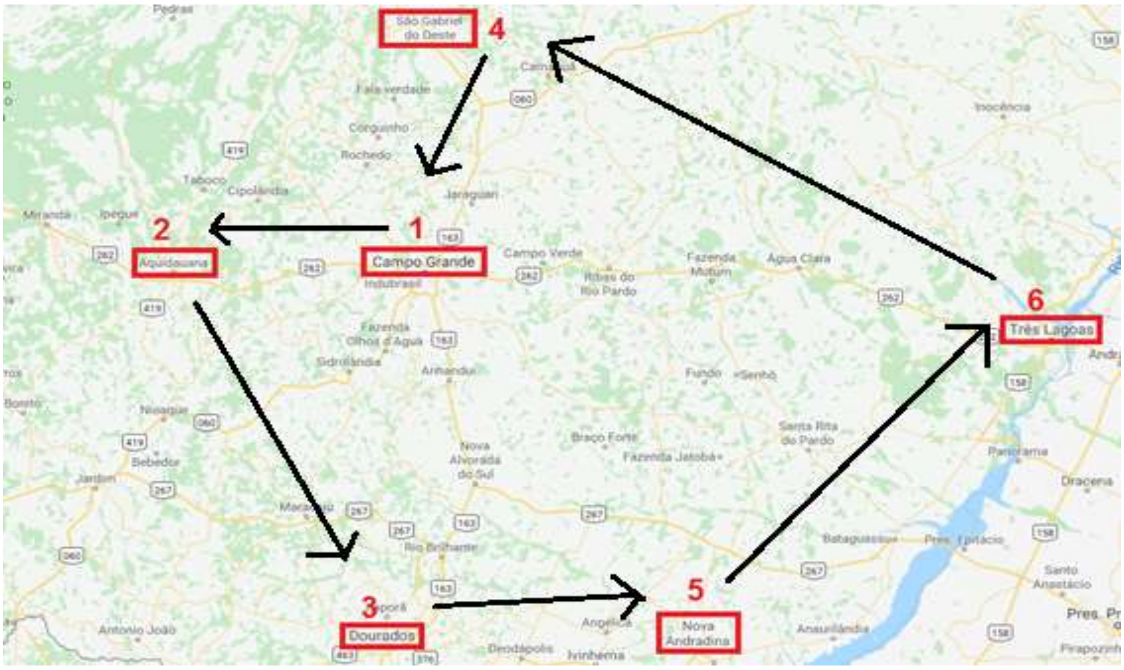

Figura 8: Rota representada no mapa. Fonte: Google Maps (2018).

Com isso, percebe-se que na nova rota otimizada haverá uma diminuição de 448km percorridos pelo vendedor, ou seja, com a utilização do problema do caixeiro viajante ficou evidente a economia que poderá ser feita pela empresa, uma vez que ao diminuir a distância percorrida existe uma diminuição no custo.

5. Considerações finais

Cada vez mais as empresas buscam formas de reduzir seus custos e aperfeiçoar o fluxo de suas operações, a fim de aumentar a sua produtividade e lucratividade. Existem diversos programas computacionais e técnicas matemáticas que podem auxiliar as organizações para uma melhor tomada de decisão.

Este estudo proporcionou à empresa Damfil a oportunidade de diminuir seus custos por meio da otimização da rota de venda de seus produtos, por meio da modelagem matemática baseada no Problema do Caixeiro Viajante. Com isso, o objetivo do presente estudo foi satisfatoriamente alcançado. Através da otimização realizada pelo Solver, foi possível obter a menor rota que deverá ser percorrida pelo vendedor (1-2-3-5-6-4-1), totalizando 1518 km.

O estudo realizado pode contribuir para diversos tipos de empresas que trabalham com rotas, e que pretendam minimizar seus custos, pois o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) tem uma modelagem padrão que pode ser aplicada em diferentes tipos de casos com diferentes restrições.

Uma das limitações presente no desenvolvimento foi não considerar o modelo do carro e o quanto o mesmo faz por quilômetro rodado, levando em consideração somente a distância entre as cidades que precisa ser visitada pelo vendedor para calcular se a nova rota seria ótima. Sugere-se no futuro um estudo aprofundado sobre o impacto da implementação dessa otimização na empresa para relatar se os resultados foram o mesmo esperado pela atual pesquisa, podendo também a realização de outras pesquisas considerando mais fatores para determinar a melhor rota.

Referências

ABRAFILTROS <https://www.abrafiltros.org.br/noticias.asp?noticia=1137> Acesso em 26 de maio de 2018.

APPLEGATE, D. L. et al. ***The traveling salesman problem: a computional study*.** Princeton University press, 2011.

ARENALES, MARCOS; ARMENTANO, VINÍCIUS; MORABITO, REINALDO; YANASSE, HORACIO; **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**; Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BELLMAN, RICHARD E. ***Dynamic Programming***. Princeton, Princeton University Press,1957.

CUNHA, CLÁUDIO B. **Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais.** Revista Transportes da ANPET. São Paulo, 2000. <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/188/170> Acesso em 26 de maio de 2018.

EHRLICH, P. J. **Pesquisa operacional: curso introdutório**. São Paulo: Atlas, 1991.

FREITAS, M. A. C. **Estratégias empresariais do setor varejista de produtos farmacêuticos de Belo Horizonte**. 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Faculdade de Ciências Econômicas, UFMG, Belo Horizonte, 2006.

GOLDBARG, M. C. & LUNA, H. P., **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**, 3ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Campus, (2000).

HILLIER, F. S. LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional.** 9 ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2013.

IBGE <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/comercio/9075-pesquisa-anual-de-comercio.html?edicao=9076&t=destaques> Acesso em 26 de maio de 2018.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões**, 5ª edição. LTC, 2016.

LAPORTE, G. ***The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms.*** *European Jounal of Operational Research*, n 59: 345-358, 1992.

MOREIRA, D. A. **Pesquisa Operacional – Curso Introdutóy rio.** 2. ed. São Paulo: Cenage Learning, 2010.

PATRÍCIO, C.; CARDOSO, F.; PALMEIRA, L.; SAKATE, M.; BAZONI, R.. **Educação sem fronteira.** 3. ed. São Paulo: Copyright, 2011.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional: uma visão geral.** 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TIWARI, N. K.; SANDILYA, S. K.. **Operations Research**. New Delhi: Pretice-Hall, 2006.