

SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA A OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE DISTRIBUIÇÃO

Miguel, R. D. S., Muelas, A. F. R., Martins, C. L., Santos Neto, J. B. S., Barbosa, F. B. M. H.

Resumo: Donos de empresa tomam diversos tipos de decisão e uma delas refere-se à rota a ser percorrida na entrega de diferentes produtos. Assim, o objetivo deste trabalho é propor um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) com base em planilhas eletrônicas para otimizar rotas de distribuição. Para tanto, uma micro empresa de distribuição de pisos foi selecionada e aplicou-se o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) objetivando minimizar a distância total percorrida. O sistema foi criado com o auxílio do software Excel e da programação Visual Basic for Applications, a fim de facilitar a utilização diária do SAD e torná-lo parte da cultura dos funcionários da empresa. Os resultados foram satisfatórios e evidenciaram uma redução percentual notável da distância traçada utilizando o sistema proposto, otimizando o processo e tornando-o mais eficiente.

Palavras chave: Sistema de Apoio à Decisão, Problema do caixeiro viajante, Logística.

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR DISTRIBUTION ROUTES OPTMIZATION

Abstract: Every day business owners have to make several types of decisions and one of these decisions is the route that will be taken in the delivery process of different products. Therefore, the objective of this paper is to propose a spreadsheet based Decision Support System to optimize the delivery route of a distribution business. For this purpose, a micro enterprise of flooring distribution was selected and the Travelling Salesman problem was applied to minimize the travelled distance. The system was created with the aid of the Excel software and the Visual Basic for Applications programming language in order to facilitate the daily use of the Decision Support System and make it part of the employees' culture. The results were satisfying and presented a notable reduction percentage in the travelled distance using the proposed system, optimizing the process and making it more efficient.

Key-words: Decision Support System, Travelling Salesman Problem, Logistics.

1. Introdução

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2013), entre 2009 e 2013, o número de empresários no Brasil cresceu quase 20%, aumentando de 5,1 milhões para 6,1 milhões de pessoas. Os empresários são expostos todos os dias ao processo de tomada de decisão, onde, é necessário ter disponível: dados, informações e conhecimentos. Entretanto, esses geralmente estão espalhados, fragmentados e acondicionados internamente a consciência dos indivíduos (Angeloni 2003).

Uma grande aliada no processo de tomada de decisão nas organizações é a pesquisa operacional (PO). Para Longaray (2013), a PO pode ser definida formalmente como um conjunto de técnicas que faz o uso do método científico para auxiliar as pessoas em tomadas de decisão. Sendo assim, no campo empresarial as técnicas são instrumentalizadas na prática por meio de modelos matemáticos, e traduzem de forma clara e objetiva situações que ocorrem na rotina de uma organização.

Em conjunto com a pesquisa operacional, tem-se o uso de Sistemas de Apoio à Decisão (SAD).

Um SAD pode ser definido como um sistema de informação fundamentado em computador que auxilia os tomadores de decisão por meio do uso de dados e modelos para resolver problemas semiestruturados e estruturados, que colabora para a melhor tomada de decisão e responde a questões complexas (Bidgoli et al. 1989).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é criar um SAD com base em planilhas eletrônicas para otimizar as rotas de entrega de uma empresa de distribuição. Para tanto, uma micro empresa de distribuição de pisos foi selecionada para fazer uma aplicação real do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), com o intuito de obter uma rota de destinos a serem visitados, objetivando minimizar a distância e o custo de distribuição dos pisos. O sistema foi criado com o auxílio do *software Excel* e da programação *Visual Basic for Applications*, a fim de facilitar a utilização diária do SAD e torná-lo parte da cultura dos funcionários da empresa.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Problema do caixeiro viajante

O problema do caixeiro consiste em: um representante comercial que tem sede em uma cidade, necessita visitar (n-1) outros locais passando por todos os locais sem passar duas vezes por um mesmo ponto (Loesch e Hein 2009). De maneira simples, pode ser caracterizado como o problema de encontrar o roteiro de menor distância ou custo que passa por um conjunto de cidades, sendo cada cidade visitada exatamente uma vez.

A formulação matemática pode ser relacionada tanto para maximização quanto para minimização, porém, normalmente se utiliza para um problema de minimização. De forma geral, o problema pode ser formulado como:

Função objetivo: $\text{MIN } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij}$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, n \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (2)$$

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

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

A variável inteira $x_{ij} = 1$ mostra que a cidade j é visitada logo depois da cidade i , senão $x_{ij} = 0$. A variável n simboliza a quantidade de cidades do problema, s é um subconjunto do conjunto $\{1,2,3 \dots, n\}$ e o símbolo " $|S|$ " indica o número de elementos do conjunto. A função objetivo caracteriza a minimização dos somatórios das distâncias entre as cidades da rota. As restrições (1) e (2) certificam que para cada cidade $i \in n$, há precisamente uma ligação de chegada e uma ligação partindo para outra cidade. A restrição (3) assegura a não existência de subrotas, no caso, uma rota que não inclua todas as cidades e a restrição (4) estabelece x como variável binária (Colin 2017).

2.2. Sistema de apoio à decisão

Sprague e Watson (1991) definem sistema de apoio a decisão (SAD) como sistemas computacionais que auxiliam os encarregados pela tomada de decisão a enfrentar problemas estruturais por meio da interação direta com modelos de dados e análises. Os autores ainda afirmam que qualquer sistema de informação que forneça informações que auxiliam à tomada de decisão é um SAD.

Segundo Power (2000), os processos para a criação de um SAD incluem diversos pacotes de *software*, dentre eles, as planilhas eletrônicas. A planilha é uma ferramenta muito utilizada, pois esta possui diversas vantagens, como por exemplo, os usuários escreverem seus próprios modelos, comandarem análises "What-If" (ferramenta utilizada para análise de riscos) e explorar diferentes tipos de cenários. Além de que, os relatórios podem ser consolidados e os dados organizados ou agrupados em ordem alfabética ou numérica.

Logo, um SAD fundamentado em planilha eletrônica é criado em um ambiente particular com o aperfeiçoamento de uma linguagem de programação e o desenvolvimento de uma interface para o usuário. As planilhas possuem todos os itens fundamentais para um SAD, como por exemplo, o cálculo de funções e modelos de otimização (Liang et al. 2005).

O *Microsoft Excel* possui diversas características disponíveis para o armazenamento de dados e análises. Um recurso específico do *Excel* para o desenvolvimento de um SAD é o *Visual Basic for Applications* (VBA), uma linguagem de programação de macros que possibilita que um programador automatize a execução de uma otimização, criando interfaces dinâmicas que recebem dados de entrada dos usuários. Essa interface deve ser de fácil compreensão ao usuário (Seref e Ahuja 2008).

3. Metodologia

A criação do SAD foi baseada no processo decisório proposto por Simon (1963), que possui, no geral, três fases: prospecção, concepção e decisão. Sendo prospecção, a análise de um problema ou situação que seja necessária solução; concepção, a criação de alternativas para solução do problema ou situação; e a decisão a análise e escolha das alternativas propostas.

A rota percorrida nas entregas é escolhida de forma intuitiva pelo motorista baseado em sua longa experiência na função.

A Figura 1 descreve as etapas para a criação SAD.

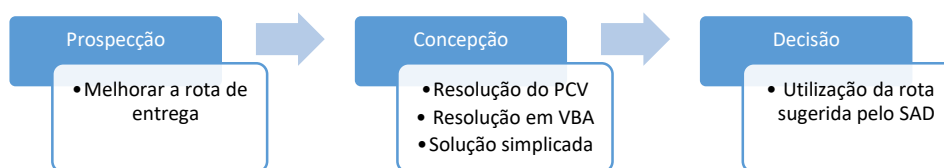


Figura 1- Etapas da criação do SAD

A decisão a ser tomada diariamente consiste na ordem de entrega dos pedidos. Com isso, como pode ser visto na Figura 1, a situação escolhida para resolver foi a melhoria nas rotas de entrega, visando o menor caminho.

O problema de decisão apresentado pode ser resolvido como um problema do caixeiro viajante (PCV). Assim, foi feita a formulação matemática do problema, baseada na modelagem apresentada na seção 2.1. As três fases necessárias para resolver o problema foram: resolver

o PCV com a utilização de planilhas eletrônicas e do Solver; resolver o PCV utilizando VBA; visualização e solução do problema de maneira simplificada.

A primeira fase apresentou como objetivo resolver o problema, enquanto as outras duas objetivaram simplificar a utilização do sistema. Apesar da ferramenta Solver do Excel resolver o problema, a resolução e modelagem, do ponto de vista do usuário do sistema, era complexa e demandava muito trabalho. Para sanar o problema da complexidade, utilizou-se a programação VBA com a criação de botões macros, o que deixou a resolução do problema simples e intuitiva. Todos os passos e fases necessárias estão descritos nos itens 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3.

3.1.1 Definindo a solução por meio da ferramenta Solver do Excel

O primeiro passo consistiu na criação de uma matriz com as distâncias entre cada local de entrega, evidenciada na Tabela 1 da Figura 2, que apresenta uma aplicação com dados reais de entrega da empresa. Os pontos de entrega para um determinado dia da semana foram denominados de 1 até 8, sendo o ponto 1 a origem, ou seja, a distribuidora de pisos.

As Tabelas 2, 3 e 4 da Figura 2 demonstram os outros passos para solucionar o problema no Excel e evidenciam as seguintes informações: a Tabela 2 mostra a rota, cuja qual conta a quantidade de vezes em que determinado estabelecimento foi utilizado como ponto de passagem. A Tabela 3 desempenha o papel de limitar o programa à quantidade de etapas que o PCV poderá executar. Por fim, a Tabela 4 define a rota do PCV. A Figura 2 a seguir evidencia a resolução do PCV no Excel.

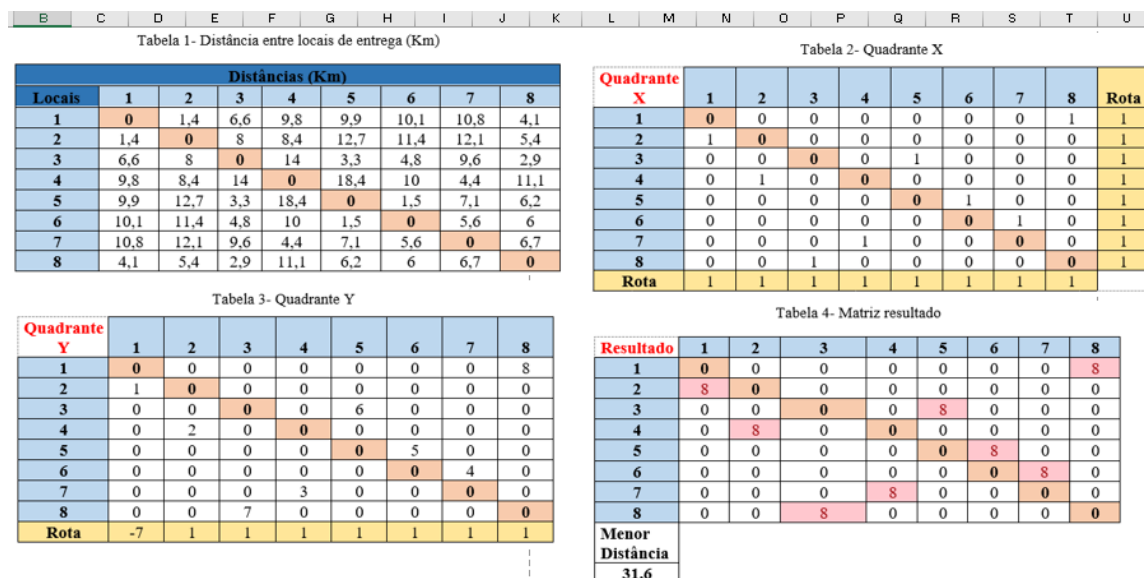


Figura 2- Resolução do PCV no Excel

Em sequência, ocorre a criação de uma segunda matriz, chamada de Quadrante X, que tem como função alertar o usuário sobre quais rotas já foram operadas. Por exemplo, na primeira linha da Tabela 2, na Figura 2, é possível verificar que a rota de 1 para 8 já foi utilizada (onde se encontra o número 1). Então, não pode ser utilizada novamente, pois a entrega nunca passa duas vezes no mesmo local. Portanto, a coluna e a linha onde está escrito rota sempre têm que estar com o resultado final da soma 1, caso contrário, a resolução do problema, estará incorreta.

O terceiro passo consiste em criar a terceira matriz, chamada de Quadrante Y, que tem como finalidade obrigar a rota a sair do local 1 (que sempre será a distribuidora), percorrendo as demais localidades. O quarto passo consiste em criar a quarta e última matriz, chamada matriz do resultado, onde, depois de colocadas todas as restrições necessárias no *Solver*, aparecerá a menor rota a ser utilizada e o total de quilômetros a serem percorridos.

Após a criação das quatro matrizes, basta resolver o problema inserindo os seguintes parâmetros no *Solver* do *Excel*: a função objetivo é a célula onde o *Excel* insere a distância total do menor caminho encontrado; as células variáveis são todas as rotas possíveis de se percorrer nos Quadrantes X e Y.

Por fim, as cinco restrições em que, todas as somas da coluna “rota” no Quadrante X tem que ser igual a 1, todas as somas da linha “rota” no Quadrante X tem que ser igual a 1; todas as somas da linha “rota” a partir do nó 2 até o 8 terão que somar obrigatoriamente 1, todos os valores do Quadrante Y tem que ser menor do que os valores do quadrante resposta e todas as células do Quadrante X necessariamente precisam ser binárias. Tais parâmetros devem ser inseridos no *Solver*.

3.1.2 Definindo a solução por meio de programação VBA

Como a resolução no *Solver* demanda muito esforço por parte do colaborador, o próximo passo foi transcorrer a resolução para a programação VBA. Basicamente, o VBA atua como uma linguagem de programação à serviço do usuário que utiliza, pois permite a automatização de inúmeros processos dentro das planilhas e tabelas desenvolvidas no *Excel*. Logo, a programação permite que as planilhas ganhem um arsenal de possibilidades na forma de controle, como, realizar cálculos e automatização de alguns processos.

Portanto, por meio da programação é possível instruir o *Excel* a quais funções ele deve executar automaticamente quando um macro for acionado.

Foi possível automatizar a resolução do problema, resolvendo o trajeto a ser percorrido em questão de segundos. Para acelerar ainda mais a resolução, foram criados dois macros (botões que executam os códigos inseridos na programação), um macro chamado “processar rota”, que serve para dar início a rodagem do programa e resolvê-lo e outro chamado “limpar resolução”, que como o próprio nome diz, limpa as principais células para que possam ser preenchidas novamente.

3.1.3 Criação de uma solução simplificada e atalho para o Google Maps

Foi observado que a solução do problema, ou seja, a rota a ser percorrida não era de fácil visualização no *Excel*, demandava grande atenção e tempo, como pode ser visto Figura 3. Para gerar a rota, era necessário observar na coluna “de” para saber o local de partida, que neste caso é sempre a própria distribuidora (número 1) e procurar na linha “para” onde estava o número 8. Portanto, no exemplo, a rota inicia em 1 e vai para 8, de 8 para 3, 3 para 5, 5 para 6 e assim sucessivamente até retornar de 2 para 1.

DE	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	8
2	8	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	8	0	0	0
4	0	8	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	8	0	0
6	0	0	0	0	0	0	8	0
7	0	0	0	8	0	0	0	0
8	0	0	8	0	0	0	0	0

Figura 3 - Visualização da rota

Assim, com a utilização das fórmulas “índice” e “corresp” no VBA, foi elaborada uma forma mais simples de enxergar a rota, onde o usuário precisa apenas conhecer qual número está vinculado a cada local, pois a criação da rota tornou-se automática, como verificado no Quadro 1.

MELHOR ROTA								
1	8	3	5	6	7	4	2	1

Quadro 1- Nova visualização de rota

Após todos os ajustes necessários, obteve-se a interface final do sistema que pode ser visualizada na Figura 4.

SISTEMA DE APOIO A DECISÃO

B Distâncias

D Processar rota

F Limpar resolução

		Distâncias (Km)							
Locais		1	2	3	4	5	6	7	8
Distribuidora	1	0							
	2	0	0						
	3	0	0	0					
	4	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0			
	6	0	0	0	0	0	0		
	7	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0	0	0	0	0

Distância Total		MELHOR ROTA							
	1								

Figura 4- Interface final do SAD

Por fim, para executar o sistema o usuário deve: preencher a coluna “locais” com os destinos das entregas, sendo que o primeiro local é designado permanentemente para distribuidora, e os demais locais podem ser preenchidos na ordem que o usuário desejar; pressionar o botão “distâncias”, para ser redirecionado automaticamente a plataforma *Google Maps* e pesquisar as respectivas distâncias entre todos os locais; preencher o campo com as distâncias encontradas; pressionar o botão “processar rota” onde o resultado será computado e exposto no campo E; a menor rota será exibida, bem como, a distância total a ser percorrida.

Após estes passos o processo é finalizado, caso o usuário deseje realizar outra consulta basta clicar no botão “limpar resolução” (F), para as informações serem deletadas e o sistema retornar ao seu estado inicial.

4. Resultados e Discussão

Com os dados fornecidos pela empresa o primeiro passo foi realizar a validação do sistema, ou seja, verificar se o SAD resolvia o problema das rotas de maneira satisfatória. Logo nas primeiras simulações, percebeu-se que sistema funcionava corretamente, pois as rotas sugeridas seguiam uma lógica e quando inseridas no *Google Maps* eram completamente viáveis.

A partir dos resultados das simulações foi possível identificar diferenças entre as rotas traçadas com o uso do SAD e as rotas traçadas a partir do conhecimento intrínseco dos colaboradores da empresa analisada.

Alguns trajetos mostraram grandes diferenças, de até 10,6 quilômetros, enquanto outros caminhos mostraram pequenas diferenças, como 300 metros. Entretanto, todos os caminhos encontrados com o apoio do SAD tiveram uma quilometragem inferior aos caminhos realizados. Logo abaixo, encontra-se um exemplo de trajeto comparado neste trabalho.

Exemplo de entrega realizada no dia 16/04/2018: Neste dia o caminhão realizou entrega em sete lugares diferentes e retornou para a distribuidora. O trajeto escolhido pelos colaboradores, pode ser visto logo abaixo no Quadro 2 e na Figura 5. Ou seja, o caminho começou em 1 na distribuidora, foi para 2 (A), 3 (B) e assim sucessivamente, até retornar ao início.

TRAJETO REALIZADO								
Dist.	A	B	C	D	E	F	G	Distr.
1	2	3	4	5	6	7	8	1

Quadro 2- Trajeto realizado 16/04/18

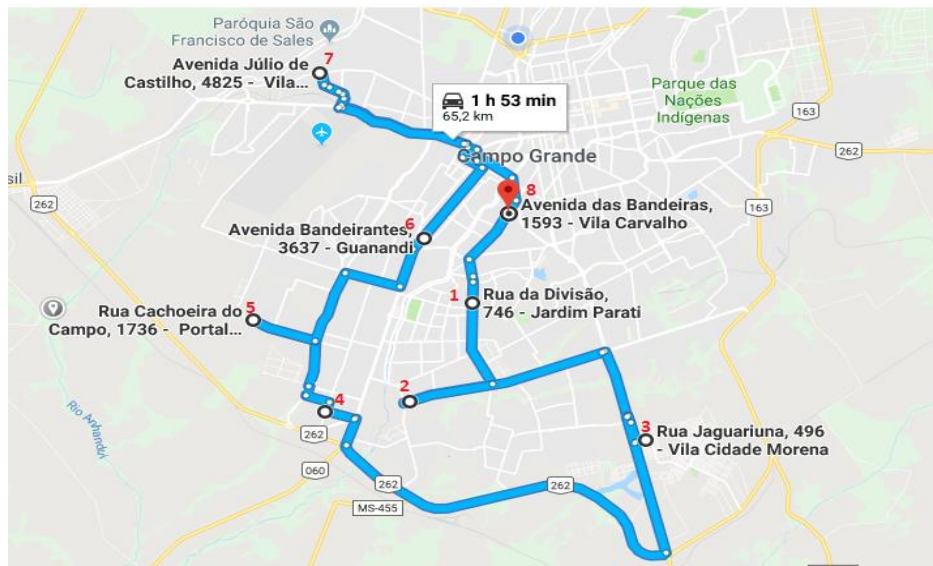


Figura 5- Trajeto realizado 16/04/18

Na Figura 5 é possível visualizar que a quilometragem percorrida pelo caminhão foi de 65,2km e o tempo estimado foi de 1 hora e 53 minutos, até o retorno para a empresa. Após colocar as informações no SAD e resolver o problema da rota, o melhor trajeto foi encontrado e pode ser visualizado na Figura 6.

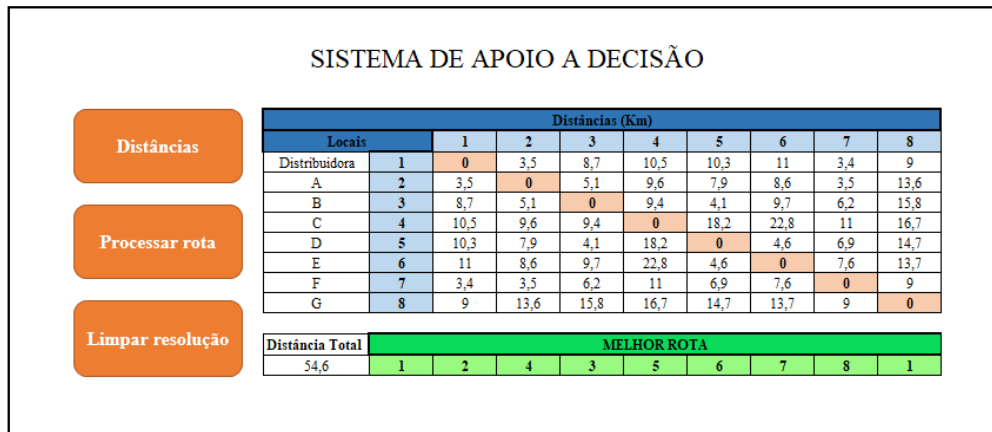


Figura 6 - Resolução do exemplo 1

É possível observar que o caminho se inicia na distribuidora em 1, depois foi para 2 (A), 4(C), 3(B), 5(D), 6(E), 7(F), 8(G) e retornou para distribuidora, gerando um percurso diferente do realizado. O percurso não é muito diferente do que foi realizado pela empresa, é possível notar que a diferença está no terceiro e quarto local visitados, porém em termos de quilometragem a distância é bastante significativa.

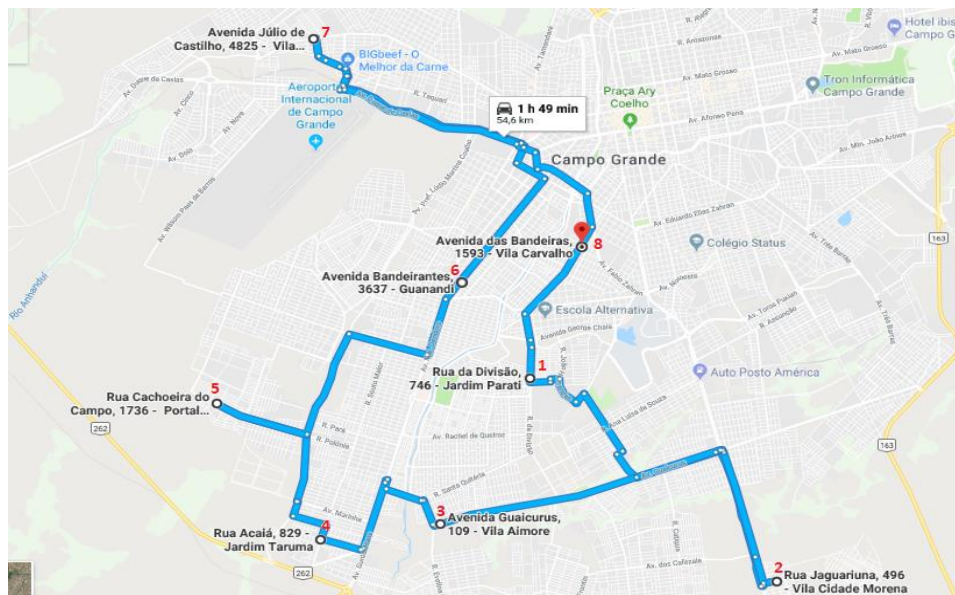


Figura 7- Trajeto indicado 16/04/18

Na Figura 7 é possível visualizar que o caminhão, caso tivesse realizado esse trajeto, percorreria 54,6 km em aproximadamente 1 hora e 49 minutos.

Comparando os resultados é possível perceber que: o trajeto sugerido pelo SAD é 10,6 quilômetros menor que o percorrido; em termos percentuais, a rota foi reduzida em 16,26%; em relação ao tempo, houve uma redução de 4 minutos.

Além deste exemplo, foram testadas mais 14 entregas, totalizando 15 simulações, conforme a Figura 8.

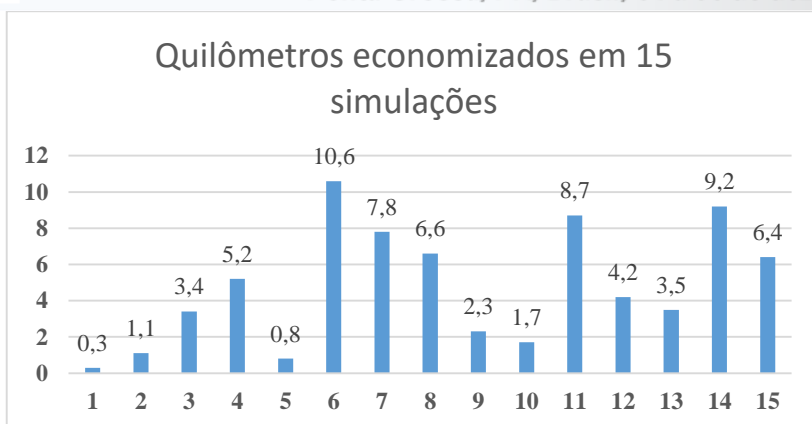


Figura 8- Quilômetros economizados

Os resultados encontrados foram: economia de 71,8 km; economia de 13,05 litros de diesel, considerando que o caminhão percorre com um litro de diesel 5,5 quilômetros (quilometragem economizada/quilômetros por litro); economia de 46,85 reais. O diesel em outubro de 2018 estava custando em média R\$ 3,59/L, logo, multiplicando os litros de diesel economizados x preço do diesel, é possível obter a economia em reais. É de grande valia salientar que a cada dia o caminhão sai duas vezes para entrega, portanto, 15 simulações se equiparam a 7 dias e meio de funcionamento.

Com os resultados obtidos nas simulações foi possível calcular a média de quilômetros, litros e reais economizados. Para se obter a média foi necessário dividir os totais encontrados pela quantidade total de simulações (15), obtendo então os seguintes resultados: 4,79 quilômetros; 0,9 litros de diesel; 3,10 reais.

Em seguida, utilizando as médias encontradas o resultado foi ampliado para um mês, para a realização do cálculo foi utilizada a média geral de dias trabalhados, ou seja, 20 dias. Com isso, a empresa obteria as seguintes economias: 95,8 quilômetros; 17,4 litros; 62,4 reais.

Por fim, os resultados foram expandidos para um ano, logo todos os valores encontrados ao mês foram multiplicados por 12 (quantidade de meses em um ano). Portanto, em um ano a empresa obteria os seguintes resultados: aproximadamente 1.150 quilômetros; 208,8 litros; 748,8 reais, conforme o Quadro 3.

Economias	Média	Mensal	Anual
Quilômetros (Km)	4,8	95,8	1.149,6
Litros (L)	0,9	17,4	208,8
Reais (R\$)	3,1	62,4	748,8

Quadro 3- Economias obtidas

Desse modo, o dinheiro economizado com a utilização do SAD pode ser empregado em outras necessidades da empresa, como: pagamento de contas de luz, energia, água, telefone, materiais para escritório, auxiliar no pagamento do aluguel, salários, combustível, reservar para uma possível eventualidade fora do orçamento, pagar o aluguel da empilhadeira e evidentemente na compra de pisos.

5. Conclusão

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise de como um SAD pode melhorar o processo de tomada de decisão e seus impactos na distribuidora de pisos, onde a decisão a ser tomada diariamente é qual rota seguir para realizar as entregas dos pisos.

Assim, foi possível criar um SAD que tem como principal finalidade encontrar o menor percurso. Os testes foram realizados em 15 entregas diferentes e, com isso, foi possível constatar a eficácia do sistema e seus resultados na distribuidora. Em todos os casos estudados, os caminhos sugeridos pelo sistema foram menores do que os caminhos percorridos pelos colaboradores.

Foi observado que, com a utilização do SAD, a tomada de decisão se tornou um processo mais fácil e confiável, pois basta o usuário preencher as informações de distâncias e processar o SAD para obter a melhor rota possível. As decisões, portanto, se tornam mais eficazes e eficientes, tendo em vista que as respostas do sistema são extremamente confiáveis.

Outras contribuições oferecidas pelo sistema são: a possibilidade de manipulação de informações, no caso de o usuário utilizar o sistema para simular cenários e a facilidade de interação, considerando que o sistema por si só, é bastante intuitivo. Logo, é possível afirmar que a utilização do sistema oferece a distribuidora algumas vantagens, entre elas, economia de diesel, menor desgaste do caminhão, diminuição de custos e aumento nos lucros. Outra vantagem de grande relevância, é que não existe custo na implementação e manutenção do sistema, sendo assim, a empresa não precisa investir dinheiro, apenas usufruir dos benefícios oferecidos pelo mesmo.

ma sugestão para trabalho futuro é descomplicar a forma de encontrar as distâncias entre as localidades e criar um banco de dados com os problemas resolvidos, e dessa maneira, diminuir significativamente o tempo para encontrar os menores percursos.

Referências

- ANGELONI, M. T. (2003). **Elementos Intervenientes na tomada de decisão**. *Ciência da Informação*, Brasília, v. 32, n. 1, p.17-22, abr.
- BIDGOLI, H. (1989). **Decision Support System- Principales and Practice**. New York: West Publishing Company.
- COLIN, E. C. (2017). **Pesquisa Operacional - 170 Aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas**, 2ª edição. Atlas.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2013). **Pesquisa Nacional de Amostra Domiciliar (PNAD)**.
- LIANG, T. P., TURBAN, E., ARONSON, J. E. (2005). **Decision Support Systems and Intelligent Systems**. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- LOESCH, C.; HEIN, N. (2009). **Pesquisa Operacional: Fundamentos e Modelos**. São Paulo: Saraiva, 2009.
- LONGARAY, A. A. (2013). **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Saraiva.
- POWER, D. J., A. (2000). **History of Microcomputer Spreadsheets**, *Communications of the Association for Information Systems*, 4, 9, October, 154-162.
- SEREF, M. M., AHUJA, R. K., WINSTON, W. L. (2007). **Developing spreadsheet-based decision**

support systems. Dynamic Ideas.

SIMON, H. A. (1963). **A Capacidade de Decisão e de Liderança.**i: Fundo de Cultura.

SPRAGUE, J. , WATSON, H. J. (1991). **Sistema de apoio à decisão: Colocando a teoria em prática.** Rio de Janeiro: Campus.