



Aplicação de roteirização por meio da pesquisa operacional para redução de custos uma empresa em Penedo-AL

SILVA, Diewelly Maria*; **SILVA, Mayara do Nascimento Maurício**;
FERREIRA, Thiago Pereira; **SILVA, Jeisiely da Cruz**;
ESCARPINI FILHO, Romildo dos Santos

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Unidade de Ensino Penedo – UFAL;

* Autor de correspondência. E-mail: diewellysilva@hotmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho consiste em analisar os problemas e restrições existentes para escolha da melhor rota para a proprietária de uma lanchonete, no município de Penedo/ AL. Através desta análise, com o auxílio do software LINDO estudar o melhor percurso que atinge todos os pontos onde a empresária deve passar, buscando a otimização de tempo, menor distância, com isso, menor custo de combustível. A Pesquisa Operacional é uma ferramenta proposta para solução de sucessivos problemas de rotas, através de um desenvolvimento de linguagem de programação linear e o Lindo. Depois da aplicação do parâmetro matemático de roteirização pode-se ver a eficácia na otimização da rota e com isto, a redução nos custos com combustível.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional; Roteirização; Distribuição de Redes; Software LINDO.

Routing application through cost reduction operational research a company in Penedo-AL

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the problems and restrictions that exist for choosing the best route for the owner of a snack bar in the municipality of Penedo / AL. Through this analysis, with the help of LINDO software to study the best route that reaches all points where the businesswoman must go, seeking optimization time, shorter distance, with this, lower fuel cost. Operational Research is a proposed tool for solving successive routing problems through a linear programming language development and Lindo. After applying the routing mathematical parameter one can see the efficiency in route optimization and with this the reduction in fuel costs.

Keywords: Operational Research; Routing; Network Distribution; LINDO Software.

1 Introdução

O ambiente econômico atual é demonstrado pelos fenômenos inovação tecnológica e da globalização, com isso, a logística vem se transformando na principal ferramenta para o aumento da competitividade empresarial. A operação de transporte nos custos logísticos e o nível de serviço de uma organização é de suma importância, pois busca um desempenho operacional mais adequado se quantificando das operações e dimensionando o impacto financeiro da mesma, além de gerar uma vantagem estratégica competitiva.

A utilização de modelagem e da pesquisa operacional por meio de programação linear vem tomando destaque ao longo dos anos, aumentando sua importância no meio científico. A pesquisa operacional é a aplicação de métodos científicos a problemas, complexos para auxiliar no processo de decisões, tais como projetar, planejar e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos (ARENALESBET *et al.*,2007). Segundo Moreira (2010, p.3) a Pesquisa Operacional auxilia em situações críticas de análise e estudo, como em resoluções de problemas de diferentes áreas através de técnicas e modelos matemáticos, para otimizar processos, maximizando ou minimizando custos desempenhando um planejamento estratégico competitivo.

Os problemas de roteirização de veículos abrangem uma categoria ampla de problemas de pesquisa operacional, conhecida como problemas de otimização de rede, onde pode ser encontrado em várias áreas, mas geralmente ocorre nas áreas de transporte e comunicações. Nessa categoria encontram-se problemas clássicos, como problema de transporte, do caminho mínimo, de designação e de fluxo máximo.

Na busca pela maximização de fatores positivos para o crescimento futuro de uma empresa, buscou-se implementar ferramentas de pesquisa operacional, determinadas dentro das atividades de roteamento de veículos para buscar as possíveis rotas para o recebimento/entrega de mercadorias, a fim de diminuir os custos de transporte e/ou o tempo de percurso. A pesquisa tem como objetivo a otimização das rotas de uma empresa do ramo alimentício, para ter um maior aproveitamento dos recursos de transporte, identificando as melhores rotas que permitam redução do tempo e distância. Para uma empresa cumprir com seus objetivos, ela precisa sempre de fatores estratégicos internos e externos, assim a otimização do resultado se torna um fator de extrema importância.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Pesquisa Operacional

A pesquisa operacional é uma ciência voltada para a solução de problemas reais, ajudando na tomada de decisões, aplicação de conceitos que geram: minimização de custos, otimização de rotas e maximização de lucro. É uma maneira das empresas identificarem soluções para problemas complexos com ajuda de fórmulas e cálculos otimizando seus resultados e aumentando seu desempenho (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

A resolução em problemas de roteirização e programação de veículos pode diminuir bastante o custo de transporte, levando uma economia bastante significativa para a empresa distribuidora como para o consumidor final (ENOMOTO, 2005). A aplicação da Pesquisa Operacional trouxe resultados satisfatórios na administração das empresas, pois sua utilização é ampla, podendo ser usada em agências governamentais, instituições financeiras e hospitais, com várias técnicas para resolução de problemas (SILVA, 2013).

2.2 Programação Linear

A programação linear é uma importante área da otimização, pois consegue solucionar vários problemas práticos, auxiliando as empresas nas buscas de recursos e tempo, com uma redução de custos e melhores resultados, considerando restrições compreendidas no processo estudado. No geral a programação linear é utilizada para otimizar uma função linear de variáveis, que é chamada de função objetivo, e está sujeita a uma série de restrições.

A programação linear é uma programação matemática, onde as equações do problema de otimização são funções lineares, ou seja, as equações são polinômios de primeiro grau (LACHTERMACHER, 2007). Ela examina a quantidade possível de soluções executáveis, considerando como solução ótima aquela que otimiza as funções objetivo sem romper as condições de restrição. Um modelo de programação linear segue basicamente três etapas (RAVINDRAN *et al.*, 1987):

- 1) Identificação das variáveis de decisão;
- 2) Identificação da função objetivo linear;
- 3) Identificação das restrições.

Para que um problema matemático se encaixe em um modelo de programação linear, ele precisa ter um formato bem genérico, a fim de buscar planejar as atividades para ter um melhor resultado entre todas as alternativas possíveis (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Exemplificando o modelo da PL, caracterizemos que objetivo é maximizar o lucro (Z). Onde temos as variáveis, que seria a quantidade a ser vendida de cada produto (x_1, x_2, \dots, x_n), e o parâmetro de custo de cada produto (a_n). A função objetivo fica sujeita a restrições, onde nelas também tem parâmetros para as variáveis (b_n e c_n) que podem ser informações sobre a produção em fábricas ou máquinas diferentes. Segue o modelo padrão:

$$\text{Maximizar } Z = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

Sujeito a

$$b_1x_1 + b_2x_2 \leq c_1$$

$$b_2x_1 + b_3x_2 \leq c_2$$

⋮

$$b_nx_n + b_nx_n \leq c_n$$

Onde $x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$

A técnica do Método Simplex é amplamente empregada, pois tem a capacidade de modelar os complexos problemas de decisão, e de produzir soluções rapidamente (FORTES; MÜLLER; RIBEIRO, 2014).

2.3 Roteirização

A roteirização de veículos nos últimos anos vem ganhando destaque no cenário logístico, pois, através dessa área é possível conquistar diferenciais no atendimento, com o melhoramento no tempo, custo e qualidade para todos os interessados em transporte das cargas.

Para analisar um roteiro é preciso saber a origem e o destino, para que se possa fazer inúmeras análises para verificar a viabilidade e percurso, os locais de entregas, o tempo destinado para atribuir ou apanhar as mercadorias e tamanho e capacidade da frota, implicando diretamente no custo total. Através da roteirização, pode-se planejar a entrega ou recebimento de forma eficiente, com o objetivo de minimizar os custos com a escolha do melhor roteiro, evitando atrasos, fazendo com que o nível de qualidade do atendimento ao cliente no horário previsto seja maior.

A roteirização tem como um dos objetivos principais propiciar um serviço de alto nível aos clientes, mas mantendo os custos operacionais e de capitais tão baixos quanto possível (NOVAES, p.283). Neste tipo de abordagem, diversas variáveis são envolvidas, como a dimensão e peso da carga, números de clientes, o trajeto a ser percorrido, e, principalmente o tempo de entrega. Entre os sistemas de roteirização, estão o método Clarke & Wright e o método

de Varredura, com esses métodos é possível analisar e efetuar um planejamento das rotas de maneira eficiente (VIDAL, p.4).

Uma das técnicas de roteirização é a distribuição de redes. Segundo Vidal (2003) uma rede é um conjunto de pontos, chamados nós e um conjunto de curvas, chamadas ramos (ou arcos, ou ligações) que conectam certo número de pares de nós.

2.4 Softwares de Roteirização

O *software* de roteirização utiliza algoritmos matemáticos e computacionais para calcular as melhores rotas a partir de variáveis, levando em consideração a frota disponível ou projetada, para que com isso faça uma a melhor distribuição das cargas para otimização dos custos operacionais.

Com o cenário econômico contemporâneo é preciso ter uma vantagem competitiva e os *softwares* de roteirização servem para isso, pois é um solucionador de problemas que resultam em economia para o empreendimento. Eles possuem inúmeros benefícios para a empresa, dentre eles, a economia de combustível, utilização da capacidade máxima, redução da quilometragem rodada, e o principal é o financeiro, que é obtido com a combinação desses três aspectos falados anteriormente.

2.5 Software Lindo

A ferramenta de pesquisa operacional *Linear Interactive Discret e Optimizer (LINDO)* soluciona problemas lineares, quadráticos e de programação inteira, avaliando a adequação de resultados, fazendo modificações nos dados até que se obtenha um resultado ótimo. É um dos *softwares* com maior velocidade e praticidade na sua aplicação, dessa maneira, podendo sanar os problemas básicos de uma empresa, como o planejamento e transporte de produção, entre outros (BAZARRA; JARVIS; SHERALI, 2009).

3 Metodologia

O presente trabalho utiliza a pesquisa operacional para a modelagem como método para realizar uma proposta de otimizar a rota de uma empresa do ramo alimentício a forma de avaliar tais percursos ou sugerir novos trajetos que possam aperfeiçoar os fatores de tempo de trajeto e distância total do percurso. O fundamento teórico para a construção desta pesquisa será a revisão da bibliografia, a análise documental e a documentação técnica do *software* Lindo. Estes dados serão aplicados pelo *software* Lindo, analisando e determinando a melhor roteirização.

Para a coleta dos dados utilizou-se uma visita as dependências da empresa e entrevistas estruturadas à gerência da empresa, de forma que foi observado uma deficiência no

fornecimento dos produtos a serem vendidos. Para a revisão bibliográfica, realizou-se um levantamento de acervos para a fundamentação teórica como conceitos de pesquisa operacional, programação linear e *softwares*.

A modelagem matemática do problema foi descrita através das variáveis do problema, função objetivo e restrições, utilizando o conceito de distribuição de redes, a ferramenta *software* Lindo para a obtenção do resultado ótimo. Para a interpretação do resultado gerou-se o relatório a partir do melhoramento obtido e apresentação da conclusão. Os resultados obtidos foram organizados em formas de tabelas com o auxílio do programa *Microsoft Office Excel*.

4 Estudo de Caso

Para este estudo, utilizou-se o caso de uma empresa localizada na cidade de Penedo-Alagoas, onde a empresária precisa pegar suas mercadorias em seus fornecedores todos os dias no período da manhã, de forma que o objetivo é minimizar a distância e o custo de pegar as mercadorias através de um problema de transporte de menor caminho.

4.1 Dados do Problema

Efetuuou-se o registro com dados e informações, visto que a empresária passa por três fornecedores, todos os dias, os quais ficam em pontos distintos da cidade, tendo um custo em tempo e combustível. A Tabela 1 mostra as rotas percorridas pela empresária, ou seja, os pontos de interesse.

Tabela 1 – Pontos de interesse

ORIGEM	DESTINO
(1) Conj. Monte Rey , Penedo - AL, 57200-000	(2) R. Nova, 106 - Sr. do Bonfim, Penedo - AL, 57200-000
(1) Conj. Monte Rey , Penedo - AL, 57200-000	(3) R. Dom Pedro II, 625 - Dom Constantino, Penedo - AL, 57200-000
(1) Conj. Monte Rey , Penedo - AL, 57200-000	(4) R. Campos Teixeira, 103 - Centro, Penedo - AL, 57200-000
(1) Conj. Monte Rey , Penedo - AL, 57200-000	(5) Mercado Municipal, 59,, Av. Floriano Peixoto, 13, Penedo - AL, 57200-000
(2) R. Nova, 106 - Sr. do Bonfim, Penedo - AL, 57200-000	(3) R. Dom Pedro II, 625 - Dom Constantino, Penedo - AL, 57200-000

Fonte: Autores (2019)

Na Figura 1, pode se fazer um mapeamento das rotas com a ajuda do Google Maps, podendo observar que os pontos em bairros distintos, fazendo com que o custo de transporte seja maior.

Figura 1 – Mapa dos pontos de interesse



Fonte: Google Maps (2019)

Após a coleta das informações dos destinos, buscaram-se as informações de tempo e distâncias entre o ponto de partida (1) Conj. Monte Rey , Penedo – AL é a casa da empresária (origem), (2), (3) e (4) são cada um dos destinos, e também incluíram as informações dos tempos e distâncias entre os fornecedores, o custo de combustível a cada distância percorrida, de acordo com o modelo e ano do carro que foi passado a fim de ter as informações necessárias para a modelagem de um problema de menor caminho para otimizar o percurso. Na Tabela 2 matriz distância, agrupou-se os dados apanhados quanto a distância, em quilômetros, para obtenção de uma melhor visualização.

Tabela 2 – Matriz distância

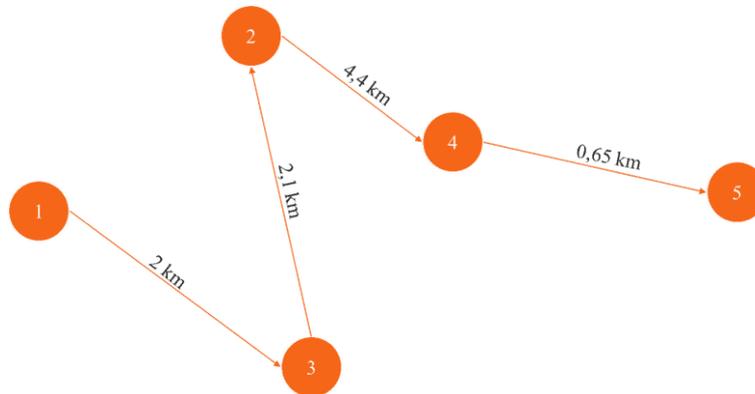
ORIGEM/DESTINO	DISTÂNCIA(KM)				
	1	2	3	4	5
1	X	2,8	2	4	4,2
2	X	X	2,4	4,4	5,2
3	X	2,1	X	4,2	5
4	X	3,6	4,1	X	0,65
5	X	X	X	X	X

Fonte: Autores (2019)

O problema real do estudo refere-se a uma empresa do ramo alimentício que não possui fornecedores que entreguem as mercadorias no estabelecimento, tendo que ter um custo a mais

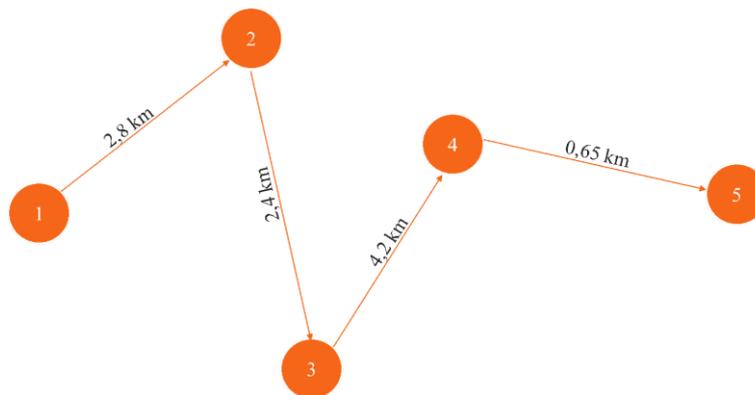
de transporte e de tempo para pegar suas mercadorias para fornecer a seus clientes. De modo geral, é possível fazer duas rotas diferentes, como é mostrada na Figura 2 e 3.

Figura 2 – Possível caminho (rota 1)



Fonte: Autores (2019)

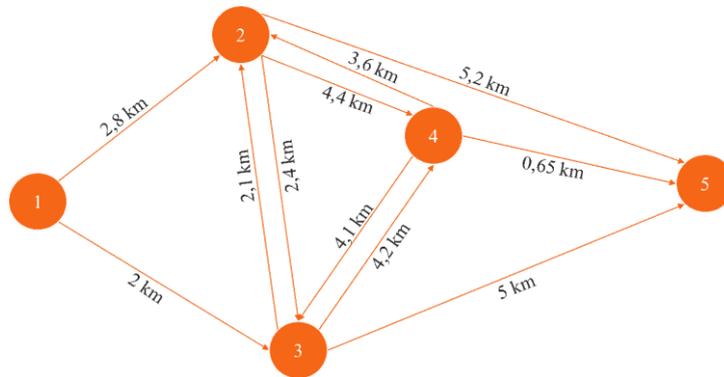
Figura 3 – Possível caminho (rota 2)



Fonte: Autores (2019)

Uma rede é um conjunto de pontos, chamados nós e um conjunto de curvas, chamadas ramos que conectam um certo número de pares de nós. O problema de percurso mínimo envolve uma rede de custos não negativos associados a cada um dos ramos, onde um nó é origem e um outro é destino, com o objetivo de interligar esses pontos. Como é mostrado na Figura 4, a representação em rede dos dados juntando as rotas possíveis mencionadas anteriormente.

Figura 4 – Representação em rede dos dados



Fonte: Autores (2019)

Os métodos para solução do problema real, em termos gerenciais é o foco central da pesquisa operacional, onde o diagnóstico do problema é relacionado ao seu aspecto qualitativo (ANDRADE, 2009). Considerando que a roteirização de veículos necessita de soluções customizadas para cada situação e necessidade.

4.2 Modelagem do Problema

No problema, é preciso encontrar a função objetivo com o objetivo de minimizar os custos, ou seja, saber qual a rota que gere um menor custo, levando em conta a distância entre os pontos.

Portanto, as variáveis de decisão foram definidas como a distância entres os pontos que a empresária irá percorrer, ou seja, x_{ij} é a distância entre o ponto i ao ponto j .

A função objetivo tem como finalidade minimizar o custo, através do problema de menor caminho. Para tanto, utiliza-se um modelo em PLI que considera os nós através da representação em rede dos dados, como segue:

$$\text{Min } Z = \sum_j c_j x_j \quad (1)$$

Onde: $\sum_j a_{ij} x_j = 1$ Para o veículo i

$\sum_j x_j \leq N$ Para todas as rotas j

$x_j \in \{1,0\}$ Para qualquer rota j

Com os parâmetros:

$$c_j = \text{Custo da rota } j$$

$$a_{ij} = 1, \text{ se caminho pertencer a rota } j, 0 \text{ caso contrário}$$

Restrições:

$$x_j = \text{trajeto entre os pontos, assumindo } \begin{cases} 1 & \text{se o trajeto pertencer ao roteiro} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

4.3 Solução e Validação dos Modelos

Com as informações demonstradas, foi elaborada a função objetivo que pode ser representada através da equação a baixo:

$$\text{MIN } Z = 2.8x_{12} + 2x_{13} + 2.4x_{23} + 4.4x_{24} + 5.2x_{25} + 2.1x_{32} + 4.2x_{34} + 5x_{35} + 3.6x_{42} + 4.1x_{43} + 0.65x_{45}$$

A seguinte lógica utilizada para modelar as restrições para um problema de rede, são dadas pelo balanço de entrada e saída de um nó. Se naquele nó, o veículo apenas passar, o balanço nele deve ser igual a 0, mas, se este nó é o inicial ou final, a equação deverá ser igualada a 1.

$$\begin{array}{ll} x_{12} + x_{13} = 1 & \text{Nó 1} \\ x_{12} + x_{32} + x_{42} - x_{23} - x_{24} - x_{25} = 0 & \text{Nó 2} \\ x_{13} + x_{23} + x_{43} - x_{32} - x_{34} - x_{35} = 0 & \text{Nó 3} \\ x_{24} + x_{34} - x_{42} - x_{43} - x_{45} = 0 & \text{Nó 4} \\ x_{25} + x_{35} + x_{45} = 1 & \text{Nó 5} \end{array}$$

Como a programação linear busca um caminho mais curto, usando apenas as restrições acima ela iria escolher apenas os pontos mais curtos entre os pontos 1 e 5. Com isso, é necessário fazer mais duas restrições para que isso não ocorra.

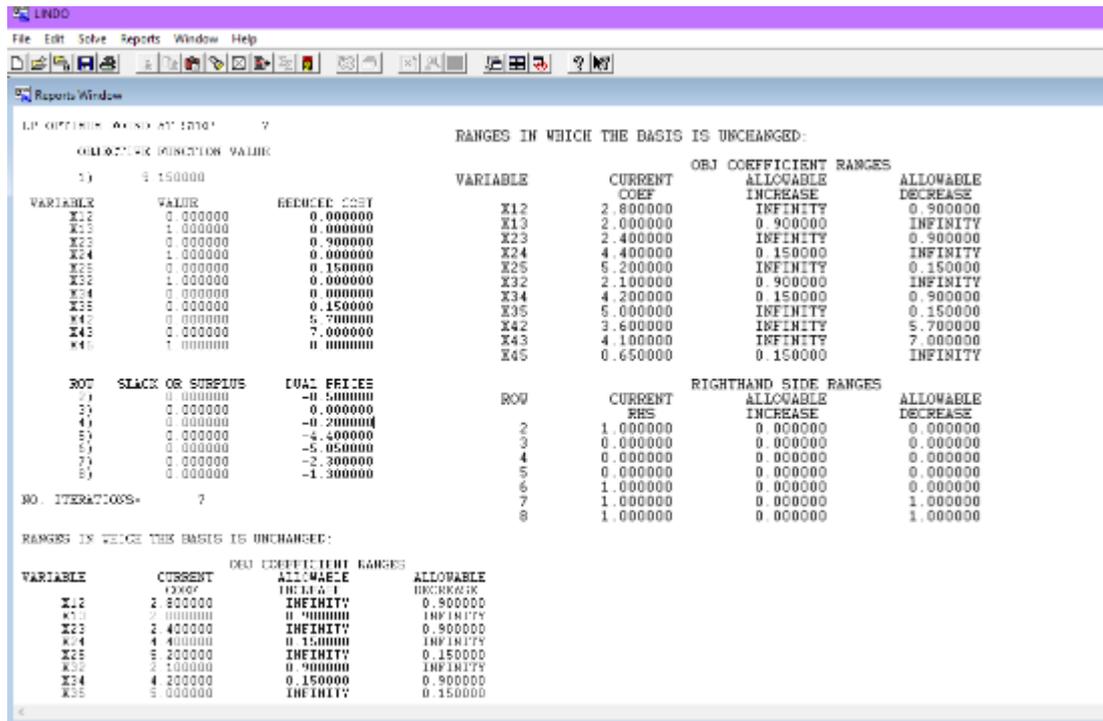
$$\begin{array}{ll} x_{12} + x_{32} + x_{42} = 1 & \text{Para que o nó 2 não saia do trajeto} \\ x_{13} + x_{23} + x_{43} = 1 & \text{Para que o nó 3 não saia do trajeto} \end{array}$$

Assegurando que cada nó seja visitado uma única vez. Além de coletar todas as mercadorias e leva-las para o mesmo nó (endereço). Impondo que cada veículo que chega no ponto j continue a rota para o ponto seguinte, eliminando sub rotas, tendo assim uma integralidade na solução.

5 Resultados e Discussões

Aplicou-se o modelo acima no *software* LINDO, que retornou os resultados obtidos. Podendo ser visualizado na Figura 5.

Figura 5 – Relatório de valores

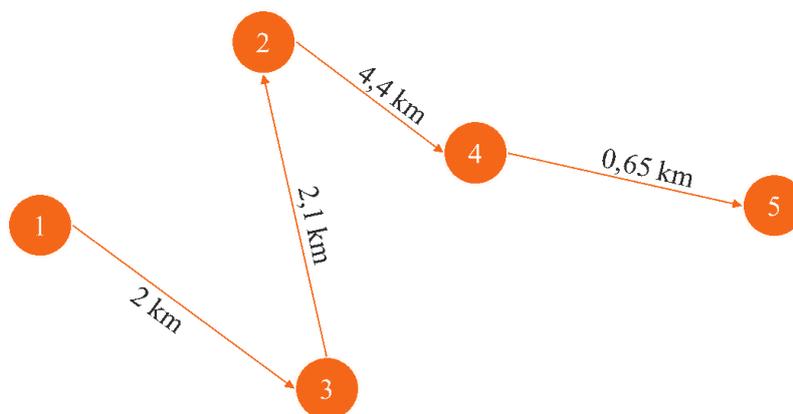


Fonte: *Software* LINDO (2019)

Para compreensão do relatório, deve-se estar atentado aos seguintes pontos. Na coluna “VALUE” os resultados são 1 e 0, quando tiver 1 for indica o caminho no qual o veículo deve passar em seu trajeto, ou seja, se a variáveis “ X_{13} ” indicar o “VALUE 1” quer dizer que o caminho a ser percorrido deve ser saindo do ponto 1 (ponto de partida) e indo ao ponto 3 (ponto de destino). A distância total percorrida em uma solução ótima, é representada no campo de “OBJECTIVE FUNCTION VALUE”.

De acordo com os cálculos desenvolvidos no LINDO, a solução ótima para a problema de menor caminho apresentado é indicada pelas variáveis o caminho no qual o veículo deve passar em seu trajeto, sendo elas $X_{13}, X_{24}, X_{32}, X_{45}$, podendo ser demonstrada através da Figura 6, na qual se consegue atingir uma rota com total de 9.15 Km.

Figura 6 – Resultado ótimo da rota



Fonte: Autores (2019)

Pelos resultados apresentados, é possível verificar a qualidade das soluções obtidas quando comparadas à situação inicial, obtendo uma economia significativa, pois o caminho inicialmente percorrido pela empresária seguia a sequência 1, 2, 3, 4 e 5. Houve uma melhoria das rotas, com a redução da distância total percorrida de 10,05 Km para 9,15 Km, considerando que essas rotas são feitas em Penedo-AL, um município consideravelmente pequeno em escala territorial, foi uma melhoria considerável. Além de que essa redução é relevante em termos de distância percorrida com a melhoria das rotas, desgaste dos veículos, manutenção e tempo.

6 Conclusão

O presente trabalho buscou levantar a viabilidade de aplicar técnicas de pesquisa operacional para otimizar as pequenas rotas de uma empresária que precisa pegar suas mercadorias em diferentes pontos da cidade, onde foi feito um embasamento e visto que com a ajuda da pesquisa operacional e a programação linear seria possível fazer uma otimização.

Foram levantados os dados referentes aos locais dos fornecedores da empresa, de forma que a mesma estabeleceu sua rota de acordo com seu conhecimento empírico. Testou-se o modelo no *software* LINDO, onde foi encontrada uma solução ótima para o problema apresentado. Após aplicação do modelo às programações lineares matemáticas facilitadas pelo *software* utilizado, notou-se que a rota ótima para este caso diminuiria em 0,9 km, uma pequena diferença em quilometragem, mas que traz grandes diferenças em custo e em tempo.

Um *software* de baixo custo consegue fazer uma relevante melhoria, na otimização de rotas, solucionando os modelos matemáticos propostos de forma viável. Este estudo em particular trata-se de apenas um veículo, mas o mesmo pode ser aplicado em problemas com distâncias maiores e com mais veículos incluídos.

Nesse ponto de vista, o objetivo principal deste trabalho foi atingido, visto que com a programação linear aliada à um *software* foi possível apresentar e analisar os resultados ótimos, melhorando consideravelmente a construção das rotas e também uma redução da distância total percorrida. Confirmando a importância do uso das tecnologias de informação para atingir os objetivos empresariais, agindo diretamente na competitividade no mercado em que a empresa está inserida.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H.; **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**; Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

ENOMOTO, L. M. **Análise da Distribuição Física e Roteirização de um Atacadista do Sul de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal de Itajubá. 2005.

FORTES, Bianca Jupiara; RIBEIRO, Roberto Portes; MÜLLER, Felipe Martins (Ed.). **Programação Linear: Uma aplicação para a otimização na distribuição de uma empresa de nutrição animal**: Heterogeneity of Brazilian agriculture in access to information technologies. *Espacios*, Caracas, v. 35, n. 11, p.12-12, ago. 2014. Disponível em: . Acesso em 20 de outubro 2019.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões: Modelagem em Excel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

MOREIRA, D. A. **Pesquisa Operacional: Curso Introdutório**. São Paulo: Thomson Learning, 2010.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. 3º Ed. Rio de Janeiro. Elsevier. 2007.

RAVINDRAN, A.; PHILLIPS, D.T.; SOLBERG, J.J. **Operations Research, Principles and Practice**. 2ª Ed. New York: John Wiley, 1987.

SILVA, Aneirson Francisco da. **Pesquisa operacional: desenvolvimento e otimização de modelos matemáticos por meio da linguagem gams**. São Paulo: Unesp, 2013. 126 p. Disponível em: . Acesso em: 20 de outubro 2019.

VIDAL, A. G. da R. **Introdução aos Modelos de Redes**. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da USP. São Paulo. 2003. p.4.