

**FACULDADE DOCTUM DE JOÃO MONLEVADE
INSTITUTO ENSINAR BRASIL – REDE DOCTUM DE ENSINO**

PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE APLICADO A UM SUPERMERCADO

Jéssica Cristina Silvino*

Bráulio Frances Barcelos**

RESUMO

Mediante aos constantes avanços ocorridos no mercado, as organizações se veem em necessidade de adotar uma nova postura de atuação, afim de garantir produtividade, redução de custos e satisfação dos clientes simultaneamente. Diante desse cenário as empresas que desejam garantir vantagem competitiva frente aos seus concorrentes, investem cada vez mais em otimização. Dessa forma, este artigo apresenta a aplicação de um método de otimização conhecido como Problema do Caixeiro Viajante, que através de um sistema inteligente e estratégico permite criar rotas capazes de melhorar gradativamente os níveis de desempenho operacional da organização estudada. O principal objetivo da aplicação desta ferramenta é propor rotas de entrega para um supermercado localizado na Região do Médio Piracicaba, localizado no estado de Minas Gerais, que por meio da efetivação de um modelo computacional que utiliza de técnicas da pesquisa operacional, auxilia os tomadores de decisão tomar a decisão mais assertiva, no caso a melhor rota que conseqüentemente será a rota de menor distância. Para tanto, este artigo propõe uma metodologia classificada como aplicada, quantitativa, exploratória, bibliográfica e estudo de caso, onde através do software *CPLEX Optimizer*, foram analisados dezenove pontos e estabelecido a rota ótima para a realização das entregas do supermercado, obtendo uma economia significativa para a organização, uma vez que a mesma não utilizava nenhuma estratégica logística, realizando as entregas de forma empírica.

Palavras-chave: Otimização. Problema do Caixeiro Viajante. Supermercado.

* Bacharelanda em Engenharia de Produção da Faculdade Doctum de João Monlevade; e-mail: jessicasilvino10@yahoo.com.br

** Engenheiro de Produção; Pós-Graduado em Engenharia de Suprimentos; Professor orientador da Faculdade Doctum de João Monlevade; e-mail: braulio.barcelos@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

Com as constantes variações do mercado, gestores de diversas áreas tendem a encontrar situações na qual a solução depende da tomada de decisões, decisões estas que envolvem muitos aspectos dentro de uma organização, além de abranger diversos níveis, como operacional, tático e estratégico. Quanto mais complexas estas decisões, é necessário que mais assertivas sejam, evitando impactos negativos. Neste âmbito, a atenção dada aos métodos de Pesquisa Operacional (PO) vem apresentando avanços progressivamente, pois desde seu surgimento tem auxiliado profissionais a prever, comparar estratégias e ou tomar decisões através de métodos científicos de problemas complexos.

Nesse sentido, o objetivo geral deste trabalho foi propor rotas de entrega para um supermercado, através da aplicação de um modelo computacional que utiliza as técnicas de pesquisa operacional para auxiliar na tomada de decisões sobre as possíveis rotas. Para atender o objetivo geral foram traçados três objetivos específicos, sendo eles: identificar a melhor estratégia para obter a coleta de dados sobre as distâncias percorridas; analisar os dados obtidos aplicando o problema do caixeiro viajante; e definir através da análise, a rota ótima a ser utilizada. A aplicação ocorreu em um supermercado da região do Médio Piracicaba, localizado no estado de Minas Gerais.

A justificativa do trabalho foi dada pela necessidade da organização se adequar às variações do mercado, aumentando sua produtividade e obtendo vantagem competitiva frente aos seus concorrentes. Os resultados obtidos através da aplicação deste, serviram de apoio para os profissionais encarregados de tomar decisão, visto que uma pequena redução obtida, pode corresponder em uma economia significativa para a organização.

Dessa maneira, para melhor familiarização, a organização deste trabalho é composta na próxima seção pelo referencial teórico abordando os principais temas para melhor compreensão do leitor. Logo após, a metodologia classificada como aplicada pela natureza, em relação a abordagem quantitativa, quanto aos objetivos é definida como exploratória e aos procedimentos técnicos bibliográfica e estudo de caso, finalizando com os resultados obtidos e considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção será abordado os tópicos relacionados a este artigo, com intuito de melhor compreensão sobre o mesmo.

2.1 Cadeia de Suprimentos

Operar de maneira eficiente nos dias atuais é o desafio enfrentado pelas organizações que visam obter a vantagem competitiva. Para conseguir alcançá-la faz necessário o gerenciamento da cadeia de suprimentos, a qual o desenvolvimento iniciou nos anos de 1980 e constitui no planejamento de processos de negócios que integram desde as áreas funcionais da organização, a coordenação e alinhamento dos esforços de variadas organizações, visando rentabilidade maior (SCHIER; LOMBARDO; CARDOSO, 2011).

Sampaio (2007), ressalta que há várias interpretações de *Supply Chain Management* (SCM), expressão que refere a gestão de cadeia de suprimentos, uma delas é logística, mas essa não englobaria todas as funções que compõe a função da cadeia (produção, suprimentos, compras, logísticas e relação com fornecedores e clientes). Através da figura 1, é possível analisar de forma sistêmica um ciclo onde exemplifica o funcionamento da cadeia de suprimentos, ou de abastecimentos como é definido na figura.

Figura 1 – Visão Sistêmica da Cadeia de Abastecimento



Fonte: Guia do TRC (2019)

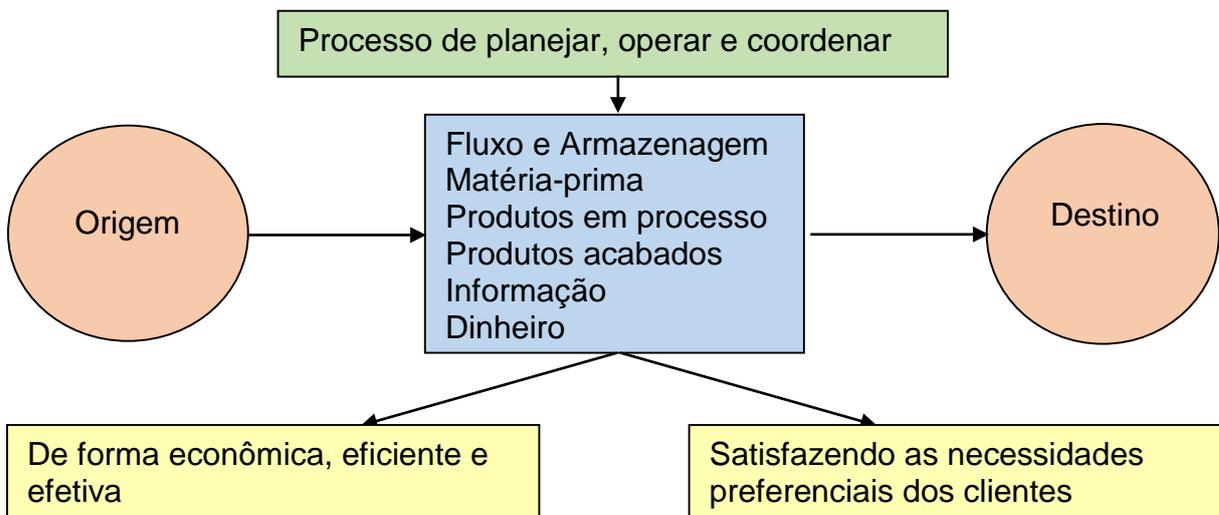
Dessa maneira é perceptível a relação da logística com a SCM, comprovando a ideia anterior que a logística é uma das áreas que compõe a cadeia de suprimentos. Contudo, tem-se a importância de gerenciar a cadeia de suprimentos, atentando-se quanto a cada parte que a compõe, inclusive os agentes econômicos e institucionais, uma vez que este gerenciamento reflete na redução de estoques e perdas, alinhado ao preço competitivo, e o bom relacionamento entre fornecedores e cliente.

2.2 Logística

Para Christopher (2012) a logística corresponde ao processo da administração estratégica da compra, transporte e armazenagem de matérias-primas, equipamentos, produtos acabados e semiacabados, ou seja, de todos os itens que envolvem os processos da produção, incluindo também o fluxo de informações relacionados entre eles, a fim de aumentar os lucros atuais e subsequente.

Novaes (2007), defende que a logística agrega valor de lugar, tempo, qualidade e informação e ainda complementa afirmando que a logística empresarial utilizada nas organizações nos tempos atuais, resulta na otimização de recursos, excluindo processos que geram aumento de custos e não agregam valor para o consumidor final. Para melhor compreensão dos elementos conceituais da logística, a figura a seguir faz uma representação do processo logístico.

Figura 2 – Elementos que compõem os conceitos logísticos.



Fonte: Rodriguez e Robles Junior (2003)

Rodriguez e Robles Junior (2003), têm a logística como um dos meios para que a organização obtenha vantagens competitivas, pois através da minimização de custos, ganho de lucratividade e a satisfação dos clientes, a organização consegue destacar-se sobre as demais. E ainda ressalta, que as vantagens competitivas deveriam ser mais contínuas possíveis, e visível para a percepção dos clientes finais, dessa maneira as organizações ganhariam posição superior em relação aos concorrentes.

2.3 Distribuição Física

Dentro do processo logístico, a distribuição física desempenha a função da movimentação do produto até o cliente, vale ressaltar que neste caso o cliente não se encaixa como consumidor final, ou seja, aquele que utiliza o produto para satisfazer uma necessidade, mas sim os clientes classificados como atacadista ou varejista, por exemplo.

Nos anos passados, alguns especialistas da área tinham a distribuição física como um setor que consumia os ganhos do período, mais tarde notaram que para reduzir os custos da organização e simultaneamente aumentar os lucros, algumas vezes fazia necessário aumentar o custo em um setor para reduzir no outro, neste caso, os tomadores de decisão tinham que avaliar o quão interessante seriam estas questões para decidir qual alternativa seria a mais assertiva (PAURA, 2012). Dessa forma, para Ballou (1999), a distribuição física deve ser considerada como a atividade com maior relevância em relação aos custos para as organizações.

Decisões como movimentação de cargas, ou a forma como deve ser feito o transporte, os meios mais precisos de estocagem, nível de serviço ao cliente são alguns pontos em que devem estar contidos dentro da distribuição física, sendo considerada com as responsabilidades desta (BEUREN; SOUSA; RAUPP, 2003).

Para melhor entendimento, a figura 3 apresenta um ciclo contendo as atividades básicas da distribuição física.

Figura 3 – Atividades do ciclo básico de atividades da distribuição física



Fonte: Bowersox e Closs (2011)

A partir da figura anterior, é perceptível, que as responsabilidades da distribuição física compreendem do processamento de pedidos e finaliza na entrega do produto, quanto menor ocorrer o tempo dessas atividades melhor para organização, pois a mesma tem como parâmetro a satisfação do cliente, uma vez que quanto menor a satisfação deste grupo menor o lucro da organização, relata Kotler (2001).

Neste sentido, Paura (2012) acrescenta que outra importância da distribuição física, é associada com o auxílio na tomada de decisão no que se refere a como administrar de melhor maneira os recursos, havendo um equilíbrio dentro cadeia de valor, com visão sistêmica desde o suprimento de materiais até a distribuição física dos produtos, comprovando esta ser uma extensão estratégica das organizações.

2.4 Pesquisa Operacional

Assim como a logística, o início da Pesquisa Operacional (PO) também está relacionado com as atividades militares da Segunda Guerra Mundial, entretanto estudos mostram que desde muito tempo as técnicas de pesquisa operacional vêm sendo utilizadas, apesar do seu desenvolvimento oficial estar atrelado a Segunda Guerra Mundial.

Segundo Marins (2011), no período pós-guerra a PO foi marcada por um rápido avanço, a começar pela evolução de ferramentas específicas como o simplex para a Programação linear. Outro fato que fez com que a pesquisa operacional expandisse é o desenvolvimento dos computadores, e a ampla utilização de microcomputadores, fazendo com que os modelos que os profissionais da PO desenvolveram, se

tornassem mais velozes e flexíveis a mudança, no sentido de conseguir adaptar de melhor maneira os avanços sofridos pelo mercado.

As definições de Pesquisa Operacional têm avançado bastante desde seu surgimento, contendo aplicações em variados âmbitos, objetivando assim as definições que podem ser atribuídas, para a SOBRAPO (Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional), a PO pode ser definida como: “(...) a área de conhecimento que estuda, desenvolve e aplica métodos analíticos avançados para auxiliar na tomada de melhores decisões nas mais diversas áreas de atuação humana”, ainda para esta, a PO visa implementar elementos objetivos e racionais nos processos em questão mas atentando-se quanto aos elementos intrínsecos e de características específicas de organização para organização o que caracteriza cada problema.

Selong e Kripka (2007), considera as aplicações da PO bastante ampla, variando de balanceamento de linhas de produção em fábricas à fluxo ótimo de paciente em hospitais, e para que sejam possíveis essas aplicações se faz necessário o emprego de matemática, análise de sistemas e estatística, geralmente estes tipos de problemas envolvem cálculos complexos além de extremamente grandes, fazendo com que seja necessário a utilização de programas computacionais.

Dentre os diversos modelos de otimização, há os modelos de programação linear (PL) que pode ser definido como métodos que visam solucionar problemas de otimização, por meio de restrições associadas em obedecer há uma função objetivo linear definidas por variáveis de controle.

Diferentes problemas podem ser classificados como modelos de programação linear, desde que tenham as características de proporcionalidade, não negatividade, separabilidade e aditividade. Dessa maneira, por meio de modelos em fluxo de redes, denominados também como rede de transporte, numerosos problemas reais podem utilizar da programação linear para ser modelados, dentre eles pode-se citar o problema de determinação do caminho mínimo para entrega de mercadorias em distintas cidades (SELONG; KRIPKA, 2007), que é o problema analisado neste trabalho.

Este autor ainda complementa que o problema do caminho mínimo sugere ao tomador de decisão, uma rota ótima pela qual o fluxo de produtos será percorrido, em uma rede, onde o custo será o menor aceitável. Dessa forma, entre os problemas que se classificam como problema de fluxo mínimo, será destacado no próximo item o Problema do Caixeiro Viajante, por conter vasta aplicação no cotidiano, além de

muitos autores proporem estudar este tipo de modelo na resolução de problemas práticos, motivando a escolha desta aplicação neste trabalho.

2.5 Problema do Caixeiro Viajante

Por ser um problema de ampla aplicação e fácil entendimento, embora seja um problema pertencente à classe de problemas NP-Árduos, devido a capacidade de resolver situações complexas dado ao número de variáveis, o Problema do Caixeiro Viajante é utilizado em variados experimentos de métodos de otimização.

Três principais características define a importância do PCV, são elas: aplicação prática em larga escala, grande associação com outros modelos matemáticos e a extrema complexidade em solução exata, o que efetiva este problema como um clássico problema de otimização combinatória como define Silveira (2000).

Para Taha (2008), o problema do caixeiro viajante encontra o menor circuito de uma situação considerando n cidades, onde cada cidade é visitada uma única vez. Arenales (2015), completa relatando que após visitar todas as cidades deve-se retornar à cidade inicial, e este percurso tem como objetivo otimizar um ou vários objetivos. Além disso, afirma também que o PCV é pertencente à classe dos problemas de roteamento em nós, e são determinados por grafos com ou sem orientação.

Para a redução da distância do caminho percorrido, Arenales (2015) propõe que um grafo sem orientação representado por $G = (N, E)$, onde N determina o conjunto de n cidades e E configura o grupo de arestas entre as cidades, deve-se considerar que G seja um grafo que para cada par de cidades $i, j \in N, i \neq j$, há uma aresta (i, j) . Deve-se considerar também que as distâncias no meio das cidades i e j é representada por d_{ij} , assim, no momento que ocorrer $d_{ij} = d_{ji}$, o problema é classificado como simétrico o inverso é classificado como assimétrico. Sendo assim, o ciclo hamiltoniano do grafo G é conceituado pelo percurso que um caixeiro visita n cidades, visitando cada cidade apenas uma vez e no fim voltando a cidade que iniciou que geralmente corresponde ao centro de distribuição, o nome deste ciclo provém do criador do jogo "*Around the World*", Willian Rowan Hamilton. Taha (2008), define para um problema com n cidades que:

Se $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a cidade } j \text{ é alcançada a partir da cidade } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

Dado que d_{ij} é a distância da cidade i à cidade j , o PCV é dado por Taha, (2008):

$$\text{Minimizar } z = \sum_{j=i}^n d_{ij}x_{ij} \quad (1)$$

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

$$\sum_{i=j}^n x_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$x_{ij} \in (0,1) \quad (4)$$

A solução forma um circuito de n cidades. Através deste modelo pode-se notar que a função objetivo identificada como (1) determina que seja minimizado a distância total da rota a ser percorrida, as restrições (2) e (3) assegura que cada cidades tenha apenas uma cidade anterior e uma superior. E a restrição (4) aponta os tipos de variáveis.

Para melhorar o entendimento, Silveira (2000) exemplifica da seguinte maneira, supõe que o caixeiro viajante visite n cidades distintas, começando e terminando a rota na mesma cidade, que no caso seria a primeira cidade, além disso, supõe que não tem relevância a sequência em que serão visitadas as cidades, desde que todas sejam visitadas e que cada uma dessas cidades tenha um trajeto que vá direto a todas as outras. Considere as cidades como cidade A, B, C e D. Desse modo seria possível obter as seguintes rotas: ABCDA, ABDCA, ACBDA, ACDBA, ADBCA e ADCBA, para solucionar esta questão obtendo a rota de menor custo, deve-se enumerar todas essas rotas e escolher a que apresentar menor custo.

3 METODOLOGIA

Este trabalho é classificado quanto aos objetivos como exploratório. Para Gil, (2008) para se obter a formulação de problemas com maior precisão ou até mesmo suposições para pesquisas seguintes, a pesquisa exploratória tem finalidade de discorrer, esclarecendo e modificando as teses. Assim, Malhotra (2011), afirma que este tipo de pesquisa tem utilização em situações no qual é crucial a definição exata do problema.

Zikmund (2000), completa os autores anteriores afirmando que estes estudos tem extrema importância para identificar situações, tirar proveito de alternativas ou encontrar ideias novas. O mesmo ainda completa que em casos onde há informação do tema analisado, a pesquisa exploratória ainda é necessária, a justificativa deste fato é que um mesmo acontecimento da organização, pode variar de organização para organização, e a utilização desta possibilita ao tomador de decisão o conhecimento de um leque dessas alternativas, se não todas.

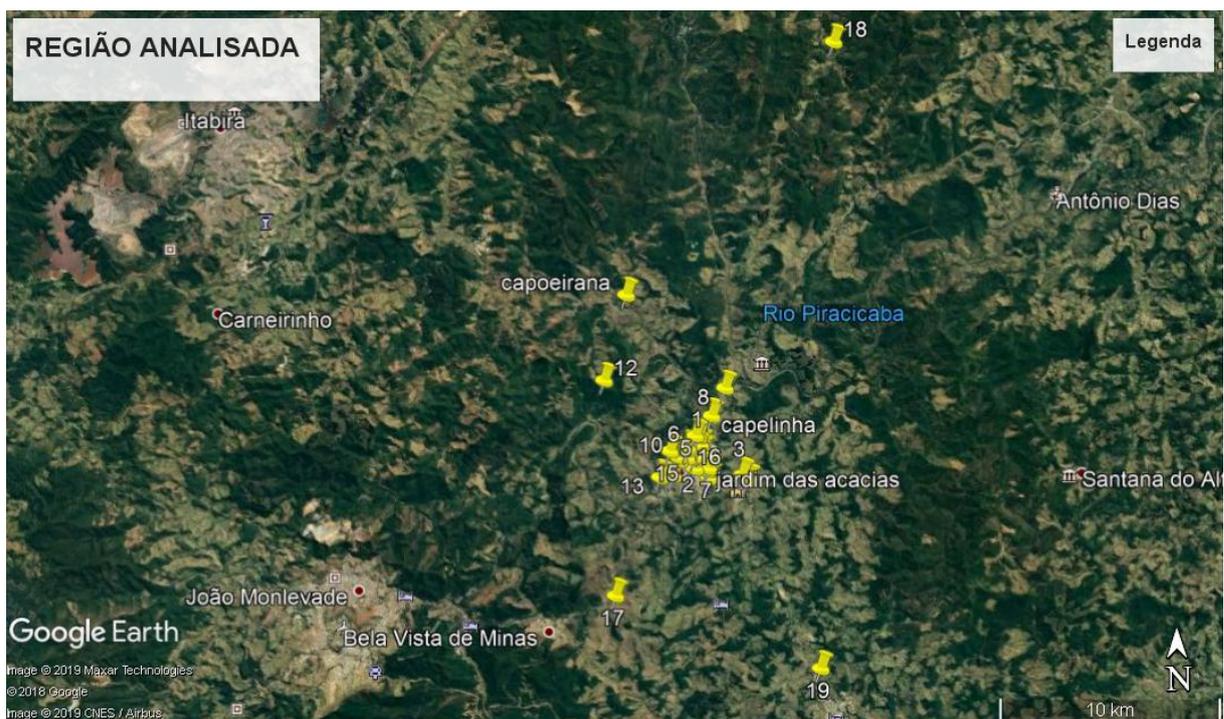
Já em relação aos procedimentos técnicos, pode ser definido como bibliográfica e estudo de caso, bibliográfica pois usou do referencial teórico para familiarizar termos afim de esclarecer o tema e permitir maior familiaridade, estudo de caso pois como definido por Yin (2001), este compreende no conhecimento intenso do objeto estudado, resultando em um estudo real extenso e detalhado, pelo qual visa clarear uma ou variadas decisões, além de abordar de que maneira foi implementada e as respectivas consequências.

Por fim, em relação a abordagem, pode ser classificada como quantitativa pois a coleta e análise de dados e o tratamento pelo qual vão ser submetidas as distâncias analisadas qualificam-se como quantificação. Mattar (2001), relata que este tipo de pesquisa visa validar a melhor alternativa encontrada com base nos dados coletados e avaliados. Em complemento, Malhotra (2011, p.155) afirma que “a pesquisa quantitativa procura quantificar os dados e aplica alguma forma da análise estatística”.

4 PESQUISA E ANÁLISE DE DADOS

A empresa estudada, é atuante há mais de cinco décadas, está localizada na região do Médio Piracicaba, realizando entregas em três cidades que fazem limite com a cidade no qual se localiza. Para o estudo deste trabalho foram denominados os 19 pontos exibido na figura 4, já que os outros pontos possuem demandas esporádicas. Afim de solucionar o problema de rotas, de modo a otimizá-la, foi utilizado a priori o aplicativo Google Earth Pro, com intuito de definir os locais através de coordenadas geográficas, que são dadas por latitude e longitude. A escolha deste aplicativo se deu pela razão das coordenadas apresentarem maior precisão, como pode ser visto na figura 4.

Figura 4 – Região de Pontos Analisados



Fonte: Google Earth Pro (2019)

A partir da coleta das coordenadas, foi utilizada uma planilha do Excel para realizar os cálculos da conversão entre coordenadas e distâncias em metros, e então, foram analisadas as distâncias entre dezenove pontos, incluindo o ponto onde está localizado o supermercado. Posteriormente foram comparadas as distâncias entre os pontos analisados. A seguir, no quadro 1, pode-se observar um exemplo de como foi

utilizado as fórmulas para esta conversão, considerando as seguintes coordenadas: Ponto A: latitude: 19°48'30.18"S e longitude: 43°10'16.41"O e ponto B: latitude: 19°48'25.95"S e longitude: 43°10'34.95"O.

Tabela 1 – conversão de coordenadas em distância

LATITUDE		LONGITUDE	
DLAG	$(19-19)*60=0$	DLOG	$(43-43)*60=0$
DLAM	$(48-48)*1=0$	DLOM	$(10-10)*1=0$
DLAS	$(-(25,22)-(-30,18))/60=0,9233$	DLOS	$(-(38,18)-(-16,41))=-0,3628$
SOMA	$(DLAG+DLAM+DLAS)*1862=1719,247$	SOMA	$(DLOG+DLOM+DLOS)*1862=-675,5957$
SOMA ₂	$1719,247^2=2955809$	SOMA ₂	$28605,6^2=456429,5048$
DISTÂNCIA=RAIZ(SOMA²(latitude))+(SOMA²(longitude))=1847,2245m			

Fonte: Pesquisa Aplicada (2019)

Com as distâncias calculadas, foi criada uma matriz 19x19, ou seja, uma matriz quadrada composta por dezenove linhas e dezenove colunas, onde relaciona todas as distâncias de um ponto ao outro, como está disposto na tabela 2.

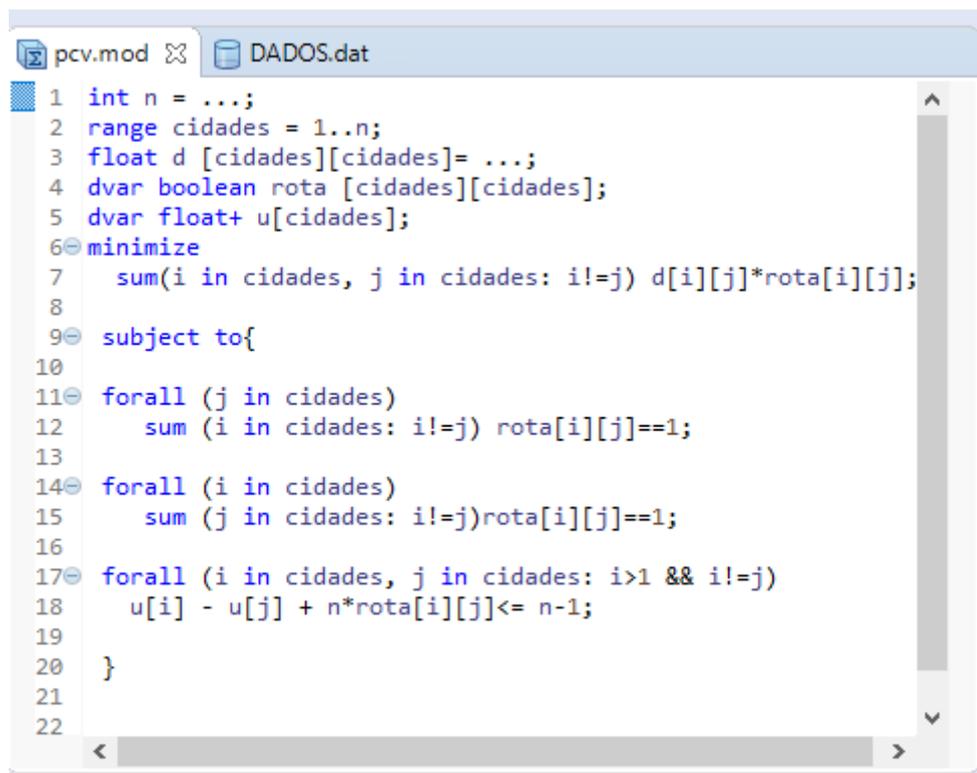
Tabela 2 – Relação de distâncias

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	999999	2985	5617	4650	378	3477	3518	1960	2971	433	5252	3134	3872	907	464	8618	19821	15220	3444
2	2985	999999	4088	2668	2644	3226	2060	3632	3415	2886	3830	623	2193	2585	2535	5789	22286	12462	5137
3	5617	4088	999999	1470	5492	2409	2215	4522	3185	5238	376	3469	1946	4729	5388	7580	21377	10384	8785
4	4650	2668	1470	999999	4452	2204	1156	4033	2921	4330	1301	2064	790	3834	4340	6469	21911	10721	7578
5	378	2644	5492	4452	999999	3453	3343	2153	3020	606	5134	2834	3687	917	116	8245	20189	14951	3412
6	3477	3226	2409	2204	3453	999999	1428	2117	783	3058	2037	2705	1638	2573	3369	8383	19763	12711	6864
7	3518	2060	2215	1156	3343	1428	999999	2931	1979	3183	1893	1456	367	2683	3234	6956	21150	11868	6576
8	1960	3632	4522	4033	2153	2117	2931	999999	1373	1559	4147	3421	3281	1344	2132	9389	18654	14730	5343
9	2971	3415	3185	2921	3020	783	1979	1373	999999	2539	2815	2992	2265	2104	2954	8872	19182	13492	6411
10	433	1887	5238	4330	606	3058	3183	1559	2539	999999	4870	2952	3544	509	613	8613	19681	14961	3877
11	5252	3830	376	1301	5134	2037	1893	4147	2815	4870	999999	3208	1653	4361	5031	7614	21152	10729	8445
12	3134	623	3469	2064	2834	2705	1456	3421	2992	2952	3208	999999	1570	2565	2719	5978	22040	12133	5618
13	3872	2193	1946	790	3687	1638	367	3281	2265	3544	1653	1570	999999	3046	3577	6771	21399	11502	6881
14	907	2585	4729	3834	917	2573	2683	1344	2104	509	4361	2565	3046	999999	859	8364	19804	14491	4314
15	464	2535	5388	4340	116	3369	3234	2132	2954	613	5031	2719	3577	859	999999	8154	20248	14836	3495
16	8618	5789	7580	6469	8245	8383	6956	9389	8872	8613	7614	5978	8364	8154	7580	999999	28016	9589	9323
17	19821	22286	21377	21911	20189	19763	21150	18654	19182	19681	21152	22040	21399	19804	20248	28016	999999	30885	21289
18	15220	12462	10384	10721	14951	12711	11868	14730	13492	14961	10729	12133	11502	14491	14836	9589	30885	999999	17473
19	3444	5137	8785	7578	3412	6864	6576	5343	6411	3877	8445	5618	6881	4314	3495	9323	21289	174728	999999

Fonte: Pesquisa Aplicada (2019)

Realizado esta etapa, foi implantado no *CPLEX Optimizer*, software resolvidor de programação matemática de alto desempenho para programação linear, programação inteira mista e programação quadrada, um modelo de programação para solucionar o problema do caixeiro viajante, apontando qual a rota ser seguida dados os pontos. Esta rota visita todos os pontos uma única vez e retorna ao ponto inicial, de maneira mais curta possível. Para atender estas especificações, o modelo é composto por uma função objetivo a qual visa minimizar a distância da rota. Além da função objetivo, é composta também por três restrições, assegurando que cada ponto seja visitado uma única vez, que todos os pontos sejam visitados e que retorne ao ponto inicial, eliminando assim subrotas. Abaixo, na figura 5, está representado o modelo computacional utilizado no software *CPLEX Optimizer*.

Figura 5 – Modelagem computacional



```

1 int n = ...;
2 range cidades = 1..n;
3 float d [cidades][cidades]= ...;
4 dvar boolean rota [cidades][cidades];
5 dvar float+ u[cidades];
6 minimize
7   sum(i in cidades, j in cidades: i!=j) d[i][j]*rota[i][j];
8
9 subject to{
10
11 forall (j in cidades)
12   sum (i in cidades: i!=j) rota[i][j]==1;
13
14 forall (i in cidades)
15   sum (j in cidades: i!=j)rota[i][j]==1;
16
17 forall (i in cidades, j in cidades: i>1 && i!=j)
18   u[i] - u[j] + n*rota[i][j]<= n-1;
19
20 }
21
22

```

Fonte: *CPLEX Optimizer* (2019)

Para esta programação ser executada, foi necessário também organizar os dados em uma matriz, para que o programa identificasse as distâncias. Após a realização dessas etapas, foi obtido a seguinte solução:

Figura 6 – Solução do problema

```
[00001000000000000000]
[00000000000001000000]
[00000000000001000000]
[00000000000000100000]
[00000000000000010000]
[00000000010000000000]
[00000100000000000000]
[00000000000000000010]
[00010000000000000000]
[00000000000000000010]
[00000010000000000000]
[00000000000000000100]
[00000000000000000001]
[00100000000000000000]
[10000000000000000000]
```

Fonte: Pesquisa Aplicada (2019)

A solução gerada pelo problema foi por meio de uma matriz binária, onde o número 1 (um) representa a cidade visitada, por fim, obtivemos a seguinte rota expressa pela figura 7:

Figura 7 – Rota ótima

Rota ótima									
1>5	5>15	15>14	14>10	10>2	2>12	12>16	16>18	18>3	3>11
378	116	859	509	1887	623	5978	9589	10384	376
11>4	4>13	13>7	7>6	6>9	9>8	8>17	17>19	19>1	Total (m)
1301	790	367	1428	789	1373	18654	21289	3444	80134

Fonte: Pesquisa Aplicada (2019)

Para comparar a eficiência da rota ótima gerada pelo software, a figura abaixo aborda a distância que era utilizada pelo supermercado, antes deste estudo.

Figura 8 – Rota utilizada anterior aos estudos

Rota ótima									
1>7	7>6	6>16	16>10	10>13	13>15	15>19	19>4	4>8	8>3
3518	1428	8383	8613	3544	3377	3495	7578	4033	4522
3>9	9>11	11>2	2>5	5>14	14>17	17>18	18>19	19>1	Total (m)
3185	2815	3830	2644	917	19804	30885	17473	3444	133488

Fonte: Pesquisa Aplicada (2019)

Comparando a rota ótima encontrada pela rota utilizada pelo supermercado anteriormente a esta aplicação, podemos analisar que a organização estudada não apresentava nenhum planejamento logístico estratégico, com a utilização do problema do caixeiro viajante, ficou explícito a economia obtida utilizando o caminho ideal, uma vez que se trata de um método exato, pelo qual otimizando a distância percorrida, reflete automaticamente a redução de custo. Desse modo, é confirmado a eficiência do método utilizado neste trabalho.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho aplicou o problema do caixeiro viajante em um supermercado na região do Médio Piracicaba no estado de Minas Gerais, com o intuito de reduzir custos, aumentar produtividade obtendo dessa maneira vantagem competitiva frente aos seus concorrentes. Dessa maneira, foi estabelecido uma estratégia eficiente para coletar e analisar as distâncias e posteriormente proposto a rota ótima para entregas utilizando o software *CPLEX Optimizer*,

A rota ideal apontada, comparada com a rota utilizada pela organização estudada, trouxe economia significativa para a organização, visto que o transporte é responsável por um custo considerável dentro das organizações em geral, principalmente em organizações que realizam entregas, como é o caso da empresa

estudada.

Desse modo, este trabalho traz contribuições para teoria comprovando de fato a eficiência do método aplicado, além disso, também contribui para a pesquisadora, visto a necessidade de conhecer ferramentas que otimizam resultados na organização, aliando a teoria com a prática.

Por fim, os resultados apresentados apontam economia significativa, mas é importante ressaltar sobre a atenção dada em decisões como essa, decisões que envolvem variáveis importantes dentro das organizações. Embora seja um problema muito estudado nas academias, ainda apresenta uma carência no conhecimento dos tomadores de decisões, o que impede de certa forma o desenvolvimento de alguns empreendimentos. Este estudo pode se tornar ainda mais proveitoso, se por exemplo analisar questões como prioridade de entregas e roteamento de veículos.

TRAVELING SALESMAN PROBLEM APLLIED TO A SUPERMARKET

ABSTRACT

Due to the constant advances in the market, organizations are in need of adopting a new attitude of action, in order to ensure productivity, cost reduction and customer satisfaction simultaneously. Given this scenario, companies that want to ensure competitive advantage over their competitors are increasingly investing in optimization. Thus, this article presents the application of an optimization method known as Traveling Salesman Problem, which through an intelligent and strategic system allows to create routes capable of gradually improving the operational performance levels of the studied organization. The main objective of the application of this tool is to propose delivery routes to a supermarket located in the Middle Piracicaba Region, located in the state of Minas Gerais, which, through the implementation of a computational model that uses operational research techniques, assists policy makers. decision to make the most assertive decision, in this case the best route which consequently will be the shortest route. Therefore, this article proposes a methodology classified as applied, quantitative, exploratory, bibliographic and case study, where through CPLEX Optimizer software, nineteen points were analyzed and the optimal route for the delivery of the supermarket was established, obtaining a significant savings. for the organization, since it did not use any logistics strategy to stipulate its route, making the deliveries empirically.

Keywords: Optimization. Traveling Salesman Problem. Supermarket.

REFERÊNCIAS

ARENALES, Marcos et al. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 542 p.

BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: Atlas, 1993, 24 p.

BEUREN, Ilse Maria; SOUSA, Marco Aurélio Batista de; RAUPP, Fabiano Maury. **UM ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE CUSTEIO EM EMPRESAS BRASILEIRAS**. 2003. 20 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Sc, 2003. Disponível em: <<https://www.intercostos.org/documentos/congreso-08/110.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2011. 600 p.

CHRISTOPHER, Martin. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. 4. ed. São Paulo, Sp: Cengage do Brasil, 2012. 334 p.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 197 p.

GUIA DO TRC. **Visão Sistêmica da Cadeia Logística**. 2000. Disponível em: <http://www.guiadotrc.com.br/logistica/visao_sistemica.asp>. Acesso em: 07 set. 2019.

KOTLER, Philip. **Marketing para o século XXI: Como criar, conquistar e dominar mercados**. 9. ed. São Paulo: Editora Futura, 2001. 304 p.

KRIPKA, Rosana Maria Luvezute; SELONG, Lisiane Milan. **Otimização de Roteiros: Estudo de caso de uma distribuidora de ferro de Passo Fundo/RS para a região**. **Ciatec-upf**, Passo Fundo, Rs, v. 1, n. 1, p.14-31, 07 out. 2007.

MALHOTRA, Naresh. **Pesquisa de Marketing: Uma Orientação Aplicada**. 6. ed. Porto Alegre, Rs: Bookman, 2011. 768 p. Tradução de: Lene Belon Ribeiro, Monica Stefani e Janaina de Moura Engracia Giraldi.

MARINS, Fernando Augusto Silva. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo, Sp: Cultura Acadêmico, 2011. 176 p.

MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de Marketing**. São Paulo: Atlas, 2001. 336 p.

NOVAES, Antonio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 424 p.

PAURA, Glávio Leal. **Fundamentos da Logística**. Curitiba, Sp: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2012. 112 p.

RODRIGUEZ, Gregorio Mancebo; ROBLES JUNIOR, Antonio. **Gestão Estratégica da Logística Visando a Redução de Custos nas Empresas Comerciais e Industriais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 10., 2003, Guarapari, Es. **Anais...** Guarapari, Es: X Congresso Brasileiro de Custos, 2003. p. 1 - 18.

SAMPAIO, Mauro. **Diferentes interpretações do conceito de supply chain management**. Revista Global, 2007.

SCHIER, Carlos Ubiratan da Costa; LOMBARDO, Adilson; CARDOSO, Sergio. **LOGÍSTICA INTEGRADA NA CADEIA DE SUPRIMENTOS: Supply Chain**. 2011. Disponível em: <<http://www.opet.com.br/faculdade/revista-cc-adm/pdf/n7/LOGISTICA-INTEGRADA-NA-CADEIA-DE-SUPRIMENTOS.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2019.

SILVEIRA, J.f. Porto da. **Problema do Caixeiro Viajante**. 2000. Disponível em: <<http://www.mat.ufrgs.br/~portosil/caixeiro.html>>. Acesso em: 10 abr. 2019..

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA OPERACIONAL (SOBRAPO). **O que é pesquisa Operacional?** Disponível em: <<https://www.sobrapo.org.br>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

TAHA, Hamdy. **Pesquisa operacional: uma visão geral**. 8. ed. São Paulo, Sp: Pearson Prentice Hall, 2008. 366 p. Tradução de: Arlete Simille Marques.

YIN, Robert. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre, Rs: Bookman, 2015. 320 p.

ZIKMUND, William. **Business research methods**. 5. ed. Fort Worth: Dryden, 2000. 668 p.