

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

**APLICAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE PARA OTIMIZAR ROTA  
DE ENTREGA EM UMA DISTRIBUIDORA**

**Viviane Rodrigues da Silva\***

**Bráulio Frances Barcelos\*\***

**RESUMO**

A logística, em função de sua relevância para a produção e de seu alto custo, pode ser uma área de atuação para que se obtenha melhores resultados. Um exemplo disso é o transporte, essencial para o processo produtivo e para obtenção de diferencial competitivo, no entanto, se configura como uma das mais onerosas atividades logísticas. Desta forma, o desenvolvimento de estratégias que proporcionem uma redução do tempo e da distância percorrida podem elevar a lucratividade e proporcionar vantagem competitiva. Isso se torna mais evidente em uma distribuidora, onde o transporte é uma das principais tarefas. Sendo assim, o presente trabalho resulta-se de um estudo de caso do processo de entrega em uma distribuidora situada na cidade de João Monlevade. Inicialmente, buscou-se coletar dados sobre o transporte de mercadorias, realizado pela organização, para a construção de um modelo matemático, de acordo com a metodologia do Problema do Caixeiro Viajante. Posteriormente, converteu-se essa modelagem em uma programação computacional a fim de se obter a rota ótima através do solver AMPL. Os resultados obtidos mostram uma expressiva redução da distância percorrida.

Palavras-chave: Logística. Transporte. Problema do Caixeiro Viajante.

---

\* Graduanda em Engenharia de Produção da Faculdade Doctum de João Monlevade; vianerodrigues39@gmail.com

\*\* Bacharel em Engenharia de Produção e Especialista em Engenharia de Suprimentos; braulio.barcelos@yahoo.com.br

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças no contexto socioeconômico tiveram grande impacto no ambiente empresarial: globalização, a evolução tecnológica e o surgimento do *e-commerce*. Assim, diante de um mercado mais amplo e competitivo, surgiu um consumidor mais seletivo e cada vez mais exigente. Desta forma, as empresas buscam, cada vez mais, minimizar os custos e ampliar a qualidade dos serviços prestados para satisfazer a esse novo perfil de cliente.

Neste sentido, o aprimoramento dos serviços logísticos tem-se mostrado uma eficaz estratégia. Isso se justifica no fato de tratar-se de um setor oneroso, mas que abrange etapas essenciais para o processo produtivo, tais como: a aquisição de materiais, armazenamento e transporte. Destas, o transporte se configura com o maior custo, já que se relaciona à circulação urbana, ao gasto com combustível e a confiabilidade do cliente no serviço prestado. A instabilidade deste cenário requer um gerenciamento estratégico capaz de minimizar distâncias e assim ampliar a produtividade para se fidelizar o cliente.

Tal iniciativa é essencial em qualquer organização, principalmente em uma distribuidora que atua como intermediária ao adquirir produtos de um fabricante para revendê-los para o comércio varejista. Ou seja, nesse ramo de atividade, que se baseia no recebimento e na entrega de produtos, a qualidade é sinônimo de menor distância percorrida e menor tempo gasto.

Taha (2008) expõe os pormenores desta questão e a concebe como passível de modelagem matemática para se encontrar uma rota ótima. Uma das metodologias empregadas para isso é o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), cuja formulação matemática visa reduzir a distância ou custo com transporte e para isso abrange restrições que visam garantir o atendimento a todos os clientes, uma única vez e o retorno para o centro de distribuição. Portanto, a utilização do PCV pode proporcionar uma redução das perdas intrínsecas ao processo, maior agilidade na movimentação e assim, agregar valor ao produto.

Por tudo isso, o presente trabalho orienta-se pela seguinte questão: o processo de entrega em uma distribuidora

pode ser aprimorado utilizando-se o Problema do Caixeiro Viajante?

Para investigar tal problemática, o objetivo geral desta pesquisa é utilizar a metodologia do Problema do Caixeiro Viajante para apresentar uma proposta de

otimização para rota de entrega de uma distribuidora localizada na cidade de João Monlevade. Diante desta finalidade, os seguintes objetivos específicos fazem-se necessários: descrever o processo de entrega da empresa e a metodologia por ela adotada para traçar a rota de distribuição dos produtos comercializados; desenvolver o modelo matemático do Problema do Caixeiro Viajante, através do AMPL, com base no processo de entrega da empresa; definir a rota ótima com base nos resultados obtidos.

Para atingir aos objetivos expostos, o presente trabalho constituiu-se de uma investigação bibliográfica, seguida de um estudo de caso realizado em uma distribuidora, onde os dados coletados são convertidos em modelagem matemática para a utilização de método computacional capaz indicar a rota ótima para o caso em análise.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste tópico aborda-se a teoria na qual o presente trabalho se baseou.

### **2.1 Logística**

Segundo Ferraes e Kuehene (2002), o termo teve origem nos conflitos bélicos, quando ações eram planejadas e organizadas com base na escolha da melhor rota para o transporte, distribuição e armazenamento dos suprimentos. De acordo com os autores, com o objetivo de satisfazer os consumidores quanto entrega e qualidade dos produtos, as empresas passaram a adotar tal metodologia.

Christopher (2011) citado por Costa (2015) conceitua o termo como o gerenciamento da aquisição, movimentação, armazenagem de materiais e produtos. Já o autor Ballou (2001) define a logística como um grupo de atividades executadas para transformar matéria-prima em produto acabado de acordo com as necessidades do cliente final.

Ballou (2006) destaca que é primordial elevar os níveis de eficácia e a eficiência das atividades logísticas, principalmente do transporte e do estoque, pois ambas refletem o grau de confiabilidade e a qualidade do serviço prestado. Na percepção desse autor, é inútil investir em qualidade na produção se não conseguir atender a estas exigências básicas. Nota-se assim, que a Logística é fundamental

para uma organização, não só por abranger ações que possibilitam o fornecimento de suprimentos para o processo produtivo, mas também por permitir que o produto seja disponibilizado para o cliente no momento e no lugar em que este necessitar.

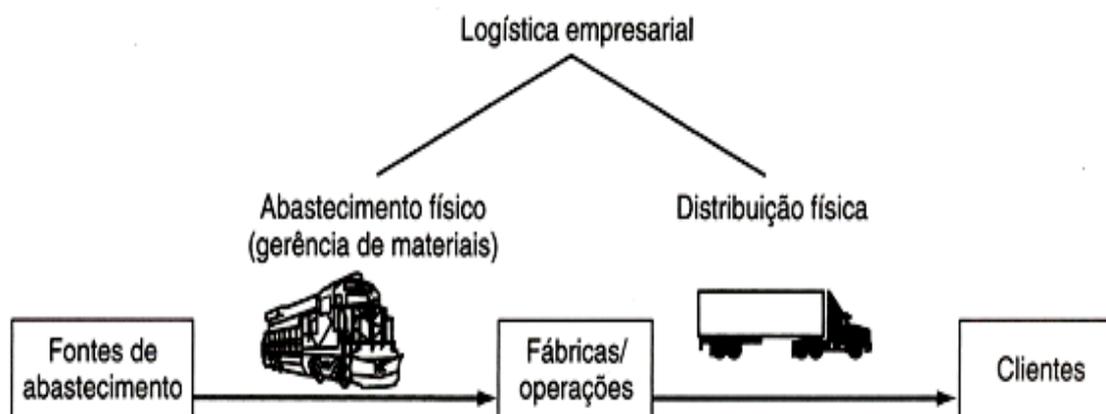
Apesar de toda essa importância, Araújo (2001) aponta para o alto custo que envolve as ações logísticas. Segundo ele, o estoque e o transporte são os mais dispendiosos, consumindo de 80 a 90% dos gastos logísticos.

Por tudo isso, a gestão logística é imprescindível, principalmente das atividades relativas ao transporte e armazenamento, para se que obtenha redução de custos e obtenção de vantagem competitiva.

### 2.1.1 Distribuição Física

A manipulação da matéria-prima para produzir um produto requer uma série de atividades internas e externas à organização. Segundo Ballou (2006), a cadeia de suprimentos envolve uma significativa quantidade de empresas distantes geograficamente, o que inviabiliza seu gerenciamento total. Por este motivo, o autor a subdivide em dois canais: de distribuição física e de suprimento imediato. Este último definido como todo processo que ocorre “desde a fonte de matérias-primas, até a entrada do produto acabado no estoque” (SAKAMOTO, 1999, p. 5). A figura 1 evidencia a localização desses dois canais dentro da cadeia de suprimentos.

Figura 1- Suprimento físico e distribuição física



Fonte: Ballou (2006, p.31)

Observa-se que a distribuição física atua como um elo entre a fábrica e o cliente, utilizando o transporte para estabelecer esta conexão. Mais precisamente, a distribuição física envolve todos os processos necessários para que o produto

acabado chegue ao cliente final. Neste sentido, Ballou (2006) destaca algumas atividades essenciais, dentre elas: o transporte, a gestão de estoques, o processamento de pedidos e o fluxo de informação.

Neste ramo de atuação, os clientes esperam obter maior vantagem na relação custo benefício, ao adquirir produtos de qualidade a serem entregues dentro do prazo previsto. Assim, os autores Bowersox e Closs (2001) citado por Almeida e Marcondes (2014), destacam que o diferencial competitivo neste caso, encontra-se atrelado à capacidade da organização em fornecer disponibilidade, desempenho e confiabilidade em seus serviços prestados.

Neste sentido, Sakamoto (1999), aponta para necessidade da otimização do transporte e da armazenagem. Uma das alternativas para cumprir tal objetivo é a aplicação da metodologia da Pesquisa Operacional.

## **2.2 Pesquisa Operacional**

Taha (2008) caracteriza a Pesquisa Operacional (PO) como uma ciência, enquanto Arenales e outros (2007) a concebe como um mecanismo auxiliar no processo de tomada de decisão. Ou seja, o primeiro autor destaca o aspecto técnico e o segundo, o objetivo final da PO.

A metodologia de atuação da Pesquisa Operacional se inicia com a investigação de um problema real e sua conversão em um modelo matemático. Na concepção de Taha (2008), todo o processo envolve: análise do problema, a modelagem matemática, resolução, a validação do modelo e a implementação.

Na primeira etapa, analisa-se a situação problema a fim de se identificar dados para alimentar a formulação matemática. Para isso é imprescindível determinar o objetivo, as variáveis de decisão e as restrições. Segundo Belfiore e Fávero (2013), os objetivos revelam a necessidade de maximizar ou minimizar algum evento capaz de solucionar a situação problema. No contexto do transporte, o objetivo é reduzir, sejam distâncias ou custos. As variáveis de decisão são as “incógnitas, ou valores desconhecidos, que serão determinados pela solução do modelo” (BELFIORE; FÁVERO, 2013, p. 5). Já as restrições, segundo Arenales e outros (2007), são os fatores limitantes que envolvem as variáveis de decisão ou o próprio processo produtivo.

A segunda etapa é a modelagem do problema definida, por Belfiore e Fávero (2013), como um grupo de equações e inequações em uma versão simplificada da situação real.

Na terceira etapa, processa-se a resolução do modelo matemático. De acordo com Taha (2008), devido à alta complexidade de diversos problemas, para encontrar a solução ótima é necessária à utilização de mecanismos computacionais, sendo que em algumas situações será impossível atingir a resposta precisa. Para esses casos, o autor supracitado indica a simplificação do modelo, a aplicação da simulação ou a utilização da heurística. Esta última, definida por Belfiore e Fávero (2013, p.13) como “procedimento de busca guiada pela intuição, por regras e ideias, visando encontrar uma boa solução”.

A quarta etapa é a verificação da capacidade do modelo em representar o sistema real. Para tal, Taha (2008), sugere que se trace um paralelo do cenário obtido com dados históricos. Quando essa comparação é positiva, a solução está apta para auxiliar na tomada de decisão.

Finalmente, na última etapa, os resultados obtidos na modelagem são convertidos em instruções para aplicação no ambiente operacional.

### **2.3 Problemas do transporte**

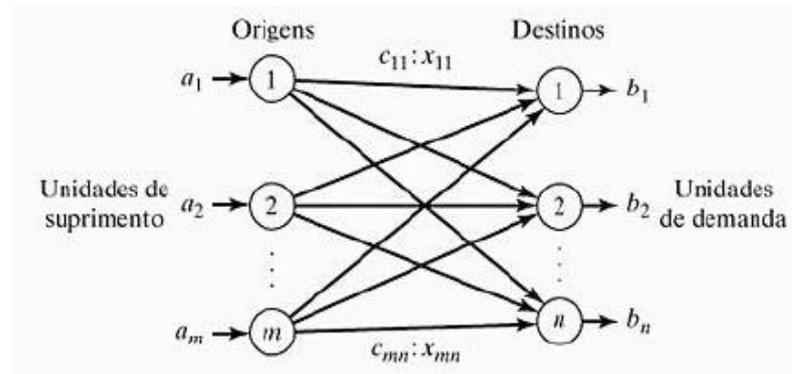
A utilização de veículos, que se deslocam de uma base para realizar entrega em diversos pontos é uma atividade comum em muitas organizações. Segundo Ballou (2001), a eficiência e eficácia na execução desta operação exigem a máxima utilização dos recursos disponíveis e uma melhor definição dos trajetos a serem percorridos.

No âmbito logístico, Bertaglia (2003) conceitua o transporte como o deslocamento de produtos das unidades de manufatura ou armazenamento para pontos de venda ou de consumo. Segundo ele, esse processo possui dois parâmetros importantes: o tempo e a distância.

Do ponto de vista da Pesquisa Operacional, Taha (2008) considera o transporte como um problema que se caracteriza pela necessidade de se enviar mercadoria de uma origem para um destino, considerando os limites de capacidade e de demanda.

Assim, para Belfiore e Fávero (2013, p.271) o problema do transporte visa “determinar as quantidades de produtos a serem transportadas a partir de um conjunto de fornecedores para um conjunto de consumidores”. A figura 2 representa uma situação de transporte através de um grafo.

Figura 2- Representação do problema de transporte em rede



Fonte: Taha (2008, p.171)

Na figura acima, nota-se a existência de três origens e três destinos, sendo cada um deles representados por um nó. As arestas representam as rotas que interligam a origem ao seu destino. Nelas, encontram-se o custo do transporte ( $C_{ij}$ ) e a quantidade enviada ( $X_{ij}$ ). A fração de suprimentos existente na origem é  $a_i$  e a demanda do destino ( $j$ ) é  $b_j$ . Segundo Taha (2008), o objetivo é encontrar valores para  $X_{ij}$  que permitam minimizar os custos com transporte e atendam às limitações de fornecimento em ( $i$ ) e de necessidade em ( $j$ ).

Diante de tamanha importância e complexidade, o transporte requer uma gestão cautelosa e estratégica. Neste sentido, as técnicas da Pesquisa Operacional podem auxiliar e proporcionar o aprimoramento do processo produtivo.

### 2.3.1. Roteirização

Leitão e outros (2011, p. 5) apontam que um dos mecanismos capazes de promover melhorias no problema do transporte é a roteirização, definida por Laporte e outros (2002) citado Júnior e outros (2013), como a determinação do trajeto de menor custo. Trata-se da rota que se inicia e termina no depósito, assegurando que todos os pontos sejam visitados apenas uma vez e que a demanda não ultrapasse a

capacidade do fornecimento capaz de proporcionar o menor custo que permita atender todos os clientes com um menor custo.

Assim, Novaes (2007) citado por Leitão e outros (2011), afirma que existem três aspectos fundamentais relacionados à roteirização: decisões sobre grupo de clientes, veículos disponíveis e sucessão de visitas; objetivos da empresa com relação aos clientes e aos custos; e restrições relativas aos recursos e às características do cliente.

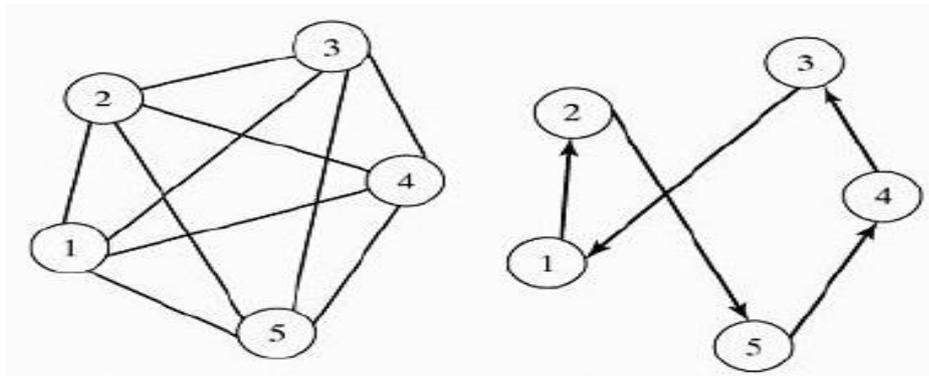
Cunha (2000) aponta que para encontrar uma solução economicamente viável uma das metodologias da roteirização é o Problema do Caixeiro Viajante.

#### 2.4 Problema do Caixeiro Viajante

Segundo Arenales e outros (2007), a lógica do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é uma metodologia desenvolvida por William Rowan Hamilton, onde se busca encontrar o caminho hamiltoniano, definido como a rota mais curta para que um caixeiro possa atender a um grupo de cidades, partindo de um depósito, para visitar todas as cidades somente uma vez e retorna à cidade base.

Para Belfiore e Fávero (2013), o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é uma técnica de programação binária, pois suas variáveis de decisão assumem o valor 1 (um) se o roteiro é possível ou 0 (zero), caso contrário. Os autores também afirmam que o PCV é passível de modelagem por programação em rede, pois podem ser representados por grafos orientados ou não orientados (figura 3).

Figura 3- Grafo não orientado e grafo orientado



Fonte: Taha (2008, p.171)

No caso acima, observa-se um problema composto por cinco cidades, onde os arcos representam as ligações existentes entre as cidades. Logo em seguida, tem-se a solução ótima para tal problemática, na qual arcos direcionados formam um circuito fechado e indicam a rota a ser seguida. Assim, de acordo com Araripe e Kloeckner (2017), o PCV é composto pelo conjunto de vértices de um Grafo  $G=(N,E)$ , onde  $N$  representa os nós ou clientes, enquanto  $E$ , as arestas ou ruas. Portanto, definir a rota ou caminho significa estabelecer a sequência de visitas a ser realizada de forma a se obter a menor distância ou custo total.

Taha (2008) define o PCV como uma estratégia para determinar o circuito mais curto para atender todos os destinos uma única vez e retornar à cidade de origem.

Além da representação através de grafos, o PCV também pode ser matematicamente modelado.

#### 2.4.1 Formulação do modelo matemático PCV

Taha (2008) confirma que a modelagem matemática do Problema do caixeiro viajante, pauta-se em uma condição binária que define se a cidade foi ou não atendida. Assim, segue a formulação matemática definida pelo autor.

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

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

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

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

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

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1, \quad i = 2, 3, \dots, n; \quad j = 2, 3, \dots, n; \quad i \neq j \quad (5)$$

$$\text{A solução forma um circuito de } n \text{ cidades} \quad (6)$$

A equação (1), é definida como a função objetivo, busca os valores capazes de reduzir a distância percorrida no transporte de produtos ou materiais. As restrições (2) e (3) asseguram que a saída e a chegada em cada destino aconteçam uma única vez. Já a formulação (4), afirma a condição binária que deve assumir o sistema quando ocorre ou não fluxo entre a origem (i) e o destino (j). A equação (5) tem a função de eliminar a formação de subcircuitos. A última restrição visa garantir a formação de circuitos, excluindo a possibilidade de formação de subcircuitos.

#### 2.4.2 Métodos de resolução PCV

Embora seja de fácil descrição, este tipo de problema se classifica como NP-difícil, pois segundo Karp (1975) citado por Araripe e Kloeckner (2017), a relação entre tamanho do problema e dificuldade para resolução é exponencial, ou seja, quanto maior o número de instância, mais difícil será a definição de uma solução. Isso ocorrer, pois de acordo com Taha (2008), a resolução para o PCV a definição de possíveis circuitos ótimos se dá através da fórmula  $(n - 1)!$ .

Para solucionar questões desta natureza, podem ser utilizados métodos heurísticos, “que tem como objetivo encontrar resultados não necessariamente ótimos” (MORO e outros, 2018, p. 544), ou exatos, quando se busca a solução ótima para o sistema por meio de métodos computacionais.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

A presente pesquisa foi desenvolvida em uma empresa distribuidora de bebidas e produtos diversos, localizada na cidade de João Monlevade. A organização iniciou suas atividades na década de 90 com apenas 30 empregados. Hoje, conta com mais de 450 colaboradores que estão distribuídos em quatro estabelecimentos da empresa que atuam no setor do varejo e do transporte.

O processo produtivo realizado na empresa envolve a solicitação de produtos junto às empresas fornecedoras, o recebimento dos produtos requeridos, armazenagem, venda e transporte. Sendo assim, neste tipo de empreendimento, de acordo com Bertaglia (2003), a rapidez e qualidade do transporte são fatores decisivos para a construção da vantagem competitiva.

A distribuidora em análise possui um amplo armazém que abriga o estoque de mercadorias a serem revendidas. O ambiente é dividido em setor de vendas, setor administrativo e setor de armazenagem.

O pedido de vendas é realizado de duas formas: vendedores percorrem os estabelecimentos comerciais para oferecer as mercadorias ou os clientes se deslocam até a sede da empresa para realizarem os pedidos.

O setor administrativo da empresa conta com um software onde são registrados todos os dados relativos às solicitações, tais como: informações sobre os clientes, identificação do tipo e da quantidade de produto e valor a ser pago. Após este cadastro, o sistema emite o Romaneio, documento com a descrição dos dados acima mencionados e que servem de orientação para o motorista realizar as entregas.

De acordo com informações obtidas, a empresa possui em torno de 179 clientes, de natureza jurídica e física, sendo todos situados na cidade de João Monlevade.

A entrega de mercadorias tem frequência semanal e demanda um caminhão e uma caminhonete, como recurso material, e dois motoristas e dois ajudantes, como recurso humano. Verificou-se que não se obedece a um critério para a definição da rota de entregas, o que pode ocasionar atrasos, perda de confiabilidade e custos desnecessários.

#### **4 METODOLOGIA**

Prodanov e Freitas (2013) apontam que a metodologia da pesquisa científica pode se classificar quanto à natureza, aos objetivos, procedimentos técnicos e abordagem.

Quanto à natureza, a presente pesquisa se classifica como aplicada, já que se fundamenta em conhecimentos teóricos para propor melhorias para o processo de entrega em uma distribuidora. Nascimento (2016) afirma que “a pesquisa aplicada é dedicada à geração de conhecimento para solução de problemas específicos, é dirigida à busca da verdade para determinada aplicação prática em situação particular”.

O presente estudo é um estudo de caso, onde é descrito o cotidiano de uma organização no intuito de se aplicar métodos para aperfeiçoá-lo. Por tudo isso,

quanto aos objetivos, classifica-se como exploratório. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), uma investigação é exploratória quando se orienta em pesquisas bibliográficas para realizar um estudo de caso. Gil (2002) é complementar ao afirmar que o propósito é elencar as características de um universo ou de um episódio.

Quanto aos procedimentos, a atual exploração científica constitui-se de um estudo de caso, definido por Prodanov e Freitas (2013) como a busca por informações sobre um problema, através de coleta de dados ou de observação, a fim de se elaborar uma análise que resultará em uma resposta ou em uma hipótese. Segundo ele, este método requer uma investigação bibliográfica e a aplicação de técnicas para coleta dos dados. Neste caso, utiliza-se “a observação direta das atividades do grupo estudado e de entrevistas com informantes para captar suas explicações e interpretações do que ocorre no grupo”.

Sobre a abordagem, classifica-se a pesquisa como quantitativa, pois dados sobre localização dos clientes serão coletados para a construção da matriz de distância. Tais informações alimentarão a formulação matemática do Problema do Caixeiro viajante para identificar uma rota ótima para o sistema em análise. Prodanov e Freitas (2013) atestam que nesse tipo de abordagem a realidade torna-se mensurável ao ser representada numericamente.

Para realização desta pesquisa, inicialmente, buscou-se identificar os critérios adotados pela empresa para realizar a entrega de suas mercadorias. Além disso, fez-se necessário também elencar clientes atendidos e a distância entre eles.

No dia visita, a empresa apresentou um cenário com dezessete entregas para serem efetuadas. Esses clientes compõem a base de dados para desenvolvimento do presente trabalho. Logo em seguida, utilizou-se o Google Maps para definir a localização e a distância existente entre cada um dos clientes, incluindo a distribuidora. Todas essas informações foram utilizadas na construção da matriz de distâncias.

## **5 ANÁLISE DE DADOS**

Na coleta dos dados, verificou-se que a distribuidora dispunha de um conjunto com dezessetes clientes para serem atendidos naquele dia. Considerando que a empresa não define um critério para determinar a rota de entrega, essa decisão é tarefa do motorista que realizará a entrega. Desta forma, ao ser questionado sobre

qual roteiro iria seguir no dia em que ocorreu o estudo de campo, o motorista designado para a tarefa, apontou a sequência de entrega (linha 1 da tabela 1) a ser seguida.

Todos os clientes elencados para entrega nesse dia foram considerados neste presente trabalho. Através do Google Maps, buscou-se identificar cada um deles clientes e traçar a distância existente entre cada um deles. O resultado obtido, apresentando na Tabela 1, mostra a característica simétrica do problema, onde se tem a equivalência do trajeto da origem para o destino com o trajeto inverso.

Tabela 1- Matriz das distâncias

		DESTINO																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ORIGEM	1	.	3,5	2,8	0,4	4,3	3,1	3,5	1,2	3,1	0,9	1,8	1,4	0,6	2,8	0,3	2,3	3,4
	2	3,5	.	2,4	3,3	0,8	2,5	1,3	3,4	3,2	3,5	3,3	4,0	3,8	2,3	3,4	2,6	0,2
	3	2,8	2,4	.	2,4	2,3	0,3	1,4	1,9	0,8	3,4	1,4	4,0	2,7	0,2	2,5	0,5	2,5
	4	0,4	3,3	2,4	.	3,8	2,7	3,2	0,8	2,7	1,2	1,4	1,8	0,5	2,4	0,1	1,9	3,2
	5	4,3	0,8	2,3	3,8	.	2,2	0,9	3,7	3,0	4,1	3,4	4,7	4,2	2,2	3,8	2,6	1,0
	6	3,1	2,5	0,3	2,7	2,2	.	1,3	2,2	0,8	3,7	1,6	4,3	3,0	0,3	2,8	0,8	2,6
	7	3,5	1,3	1,4	3,2	0,9	1,3	.	3,0	2,0	3,9	2,6	4,5	3,7	1,3	3,3	1,8	1,5
	8	1,2	3,4	1,9	0,8	3,7	2,2	3,0	.	2,0	2,0	0,7	2,6	0,9	1,9	0,9	1,3	3,4
	9	3,1	3,2	0,8	2,7	3,0	0,8	2,0	2,0	.	3,8	1,4	4,5	3,0	0,5	2,8	0,9	3,3
	10	0,9	3,5	3,4	1,2	4,1	3,7	3,9	2,0	3,8	.	2,6	0,6	1,4	3,4	1,1	3,0	3,4
	11	1,8	3,3	1,4	1,4	3,4	1,6	2,6	0,7	1,4	2,6	.	3,2	1,5	1,5	1,4	0,9	3,3
	12	1,4	4,0	4,0	1,8	4,7	4,3	4,5	2,6	4,5	0,6	3,2	.	1,9	4,0	1,7	3,6	3,9
	13	0,6	3,8	2,7	0,5	4,2	3,0	3,7	0,9	3,0	1,4	1,5	1,9	.	2,7	0,5	2,2	3,8
	14	2,8	2,3	0,2	2,4	2,2	0,3	1,3	1,9	0,5	3,4	1,5	4,0	2,7	.	2,5	0,6	2,4
	15	0,3	3,4	2,5	0,1	3,8	2,8	3,3	0,9	2,8	1,1	1,4	1,7	0,5	2,5	.	2,0	2,3
	16	2,3	2,6	0,5	1,9	2,6	0,8	1,8	1,3	0,9	3,0	0,9	3,6	2,2	0,6	2,0	.	2,7
	17	3,4	0,2	2,5	3,2	1,0	2,6	1,5	3,4	3,3	3,4	3,3	3,9	3,8	2,4	2,3	2,7	.

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Na matriz acima, a distribuidora foi definida com o número 1 e a numeração dos clientes obedeceu à sequência de entrega, de acordo com a orientação do motorista. Assim, a linha 1 reflete a que distância a distribuidora está em relação aos demais clientes.

A partir desses dados, tornou-se possível determinar a distância total percorrida no trajeto real adotado no dia da visita à sede da empresa em estudo. A Tabela 2 aponta o somatório da distância entre cada uma das origens e destinos que se configurou nesse trajeto.

Tabela 2- Rota atual da empresa e distância total

Origem	Destino	Distância (km)
1	2	3,5
2	3	2,4
3	4	2,4
4	5	3,8
5	6	2,2
6	7	1,3
7	8	3,0
8	9	2,0
9	10	3,8
10	11	2,6
11	12	3,2
12	13	1,9
13	14	2,7
14	15	2,5
15	16	2,0
16	17	2,7
17	1	3,4
<b>Total (Km)</b>		<b>45,4</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Portanto, observa-se que a rota adotada pela empresa se caracteriza como um circuito que em resultou em 45,4 km percorridos para atender à todos os clientes listados uma única vez.

Diante disso, para buscar uma redução desta distância total utilizou-se o AMPL para solucionar a formulação matemática do PCV aplicado ao caso em estudo.

## 5.2 Resolução através do AMPL

O AMPL é um solver que soluciona a modelagem de um problema matemático ao efetuar iterações nos dados fornecidos a fim de indicar o melhor resultado. Para obtenção dos resultados, seguiu-se Taha (2008), que indica um algoritmo estruturado em três etapas: especificação do modelo matemático, definição dos dados do problema e na programação para processamento.

Para o cenário onde se deseja sair da distribuidora realizar dezesseis entregas e retornar para a mesma, o AMPL apontou o seguinte circuito, descrito na Tabela 3 com a respectiva distância total.

Tabela 3- Rota ótima definida pelo AMPL

Origem	Destino	Distância (km)
1	13	0,6
13	8	0,9
8	11	0,7
11	16	0,9
16	9	0,9
9	14	0,5
14	3	0,2
3	6	0,3
6	7	1,3
7	5	0,9
5	2	0,8
2	17	0,2
17	15	2,3
15	4	0,1
4	10	1,2
10	12	0,6
12	1	1,4
<b>Total (Km)</b>		<b>13,8</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

A otimização da rota através do AMPL resultou em um percurso com início na distribuidora e retorno para a mesma, perfazendo um total de 13,8 km. Esse é o que o solver encontrou para a função objetivo definida por Taha (2008) na formulação matemática exposta no item 2.4.1.

A Tabela 4 apresenta um comparativo entre a rota atual e a rota otimizada pelo solver.

Tabela 4 – Comparativo rota atual e AMPL

Rota	Distância total
<b>Atual</b>	45,4
<b>AMPL</b>	13,8
<b>Redução</b>	31,6

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Os resultados apontam que a rota obtida através da utilização do AMPL possibilitou uma redução de 31,6 km no trajeto em relação a rota real adotada pela empresa. Isso equivale a uma redução 69,6% da distância total percorrida.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As empresas desejam escoar suas mercadorias o quanto antes, para evitar custos adicionais enquanto os clientes almejam receber o produto adquirido no tempo oportuno. Desta forma, a otimização de rotas por meio do método do

Problema do Caixeiro Viajante mostrou-se como uma alternativa capaz de satisfazer esses dois elementos em suas expectativas.

A presente pesquisa promoveu associação entre as técnicas da Pesquisa Operacional e um problema logístico. Para tal, buscaram-se conhecimentos teóricos, efetuou-se a observação e coleta de dados do processo de entrega em uma distribuidora da cidade de João Monlevade e aplicação da metodologia do Problema do Caixeiro Viajante, através do AMPL, a fim de se encontrar uma rota ótima.

No mercado de atuação de uma distribuidora o parâmetro distância percorrida impacta diretamente nos custos operacionais e na qualidade do serviço prestado. Assim, a observação resultou na percepção de que a empresa em estudo não adota um critério para definição de sua rota de entrega, pois essa atribuição é feita de forma empírica pelo motorista. Desta forma, a organização se expõe ao risco de ter gastos desnecessários e de não satisfazer às expectativas do cliente quanto aos critérios tempo de entrega e preço.

A análise do processo de distribuição apontou que o critério adotado pelo motorista, no dia da coleta de dados, resultou em circuito com uma distância total de 45,4 km. Na tentativa de otimizar essa rota, construiu-se a matriz de distâncias para criação da modelagem matemática do Problema do Caixeiro Viajante através da utilização do AMPL. Os resultados desse método indicaram uma rota ótima com 31,6 km a menos que a rota adotada.

Assim, é notório que ao optar pela não adoção de um critério para a definição de seu circuito de entrega, a distribuidora, pode gerar perda de tempo no processo, maior distância percorrida para realização da tarefa e conseqüentemente, preços mais elevados e redução da vantagem competitiva.

Por tudo isso, é indiscutível que a técnica do Problema do Caixeiro Viajante, quando aplicada ao processo de entrega, pode promover o aprimoramento da produtividade ao promover uma redução da distância total. É irrefutável que essa otimização pode promover um menor tempo para execução da atividade e trazer benefícios para a organização, como uma maior satisfação para o cliente e ainda menor custo com combustível.

## APPLICATION OF TRAVELER BOX PROBLEM TO OPTIMIZE DELIVERY ROUTE IN A DISTRIBUTOR

### ABSTRACT

Due to its relevance to production and its high cost, logistics can be an area for better results. An example of this is transportation, which is essential for the production process and to obtain a competitive differential. However, it is one of the most costly logistics activities. Thus, developing strategies that reduce time and distance can increase profitability and provide competitive advantage. This is most evident in a distributor where transportation is one of the main tasks. Thus, the present work is the result of a case study of the delivery process in a distributor located in João Monlevade. Initially, we sought to collect data on the transportation of goods, performed by the organization, to construct a mathematical model, according to the methodology of the Traveling Salesman Problem. Later, this modeling was converted into a computer programming in order to obtain the optimal route through the AMPL solver. The results show a significant reduction in the distance traveled.

Keywords: Logistics. Transport. Traveling Salesman Problem.

### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. V.; MARCONDES, R. C. **A distribuição física como recurso estratégico de fabricantes de bens de consumo para a obtenção da vantagem competitiva.** Revista de Administração (FEA-USP), v. 49, p. 656-670, 2014.

ARARIPE, Raynner Braga; KLOECKNER, Natália Varela da Rocha. Problema do caixeiro viajante (PCV) aplicado a otimização de roteiros de veículos de transporte rodoviário de uma distribuidora de óleo lubrificante a granel em Fortaleza e região metropolitana. **Revista de Engenharia da UNI7**, v. 1, n. 1, p. 137-185, 2017.

ARAUJO, A. O. Gestão estratégica de custos logísticos. In: **VII CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS.** Anais do VII Congresso Brasileiro de Custos. São Leopoldo/RS: UNISINOS, 2001.

ARENALES, Marcos et al. **Pesquisa operacional:** para cursos de engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**: Logística Empresarial. Bookman Editora, 2006.

\_\_\_\_\_ **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: Planejamento, organização e logística empresarial. 4<sup>o</sup> ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. Elsevier Brasil, 2013.

BERTAGLIA, Paulo Roberto. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva 2003

COSTA, Larisse Oliveira. O PAPEL DO TRANSPORTE NA LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE UMA EMPRESA DE TORREFAÇÃO E MOAGEM EM EUSÉBIO–CEARÁ. **Revista Gestão em Análise**, v. 4, n. 2, p. 119-128, 2015.

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

FERRAES, Francisco Neto; KUEHENE, Maurício Júnior. **Logística Empresarial**. COLEÇÃO EMPRESARIAL GESTÃO operacionais. Centro de Estudos em Logística – COPPEAD – UFRJ – 2002. [www.cel.coppead.ufrj.br](http://www.cel.coppead.ufrj.br)

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, n. 61, p. 16-17, 2002.

JUNIOR, Carlos Alberto de Matos et al. O papel da roteirização na redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em uma empresa do segmento alimentício no Ceará. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2013**.

LEITAO, Dafne Regina Cunha; NASCIMENTO E SILVA, Amanda; MELO, Andre Cristiano Silva. Análise do Processo de Roteirização e Programação de Veículos na Distribuição de Jornais Impressos: um estudo parcial aplicado em uma empresa de comunicação do estado do Pará. **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial**. Belo Horizonte, MG, Brasil, v. 4, 2011.

MORO, Matheus Fernando et al. Técnicas de pesquisa operacional aplicadas na otimização de rotas de uma rede de lojas de materiais de construção. **Produção em Foco**, v. 8, n. 3, 2018.

NASCIMENTO, Francisco Paulo. **Classificação da Pesquisa. Natureza, método ou abordagem metodológica, objetivos e procedimentos**. 2016.

PLATT, Augusto Allan; NUNES, Rogério da Silva. **Logística em cadeia de suprimentos**. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2015.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico- 2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

RODRIGUES, G. G.; PIZZOLATO, N. D. **Centro de Distribuição: armazenagem estratégica**. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção – Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de Out. de 2003.

SAKAMOTO, Angela Ruriko et al. **Logística empresarial: distribuição física: análise da viabilidade de criação de um novo centro de distribuição no contexto de uma indústria siderúrgica**. 1999. Tese de Doutorado.

TAHA, Hamdy. **Pesquisa Operacional**. 8 ed. São Paulo: Pearson, 2008