

## OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE ENTREGAS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO SETOR ALIMENTÍCIO

### *OPTIMIZATION OF DELIVERY ROUTES: A CASE STUDY IN A COMPANY IN THE FOOD SECTOR*

Anderson Louzada Miranda<sup>1</sup>, Rodrigo Duarte Soliani<sup>2</sup>, César Gomes de Freitas<sup>2</sup>  
E-mail: anderson.lmiranda@yahoo.com.br; rodrigo.soliani@ifac.edu.br;  
cesar.freitas@ifac.edu.br

<sup>1</sup>Discente do Instituto Federal do Acre; <sup>2</sup>Docente do Instituto Federal do Acre

Artigo submetido em 05/2021 e aceito em 06/2021

#### Resumo

A logística de distribuição pode ser uma área onde muitas vezes ocorre desperdícios, como o tempo de um veículo parado no trânsito, o consumo de combustível, a capacidade ociosa de carga, entre outras questões operacionais. O objetivo de um planejamento de rotas, ou roteirização, é maximizar a eficiência de uma operação de distribuição e, assim, aprimorar toda a cadeia de suprimentos. A otimização de uma rota se concentra em encontrar o percurso mais econômica para cada cenário de entrega. O objetivo deste estudo foi analisar o atual roteiro de entregas utilizado pela Empadaria São Joaquim para atender seus 28 clientes, e propor um novo plano de entregas otimizado, com rotas mais curtas, rápidas e econômicas. Utilizou-se a metodologia do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) para realizar a análise, partindo do princípio de que o entregador deveria sair da empresa, visitar todos os clientes, sem repetir o caminho, e retornar ao ponto de partida. A rota ótima proposta reduziria em 23,35% a quilometragem percorrida, proporcionando uma economia de R\$ 592,00 ao ano e a empresa deixaria de percorrer cerca de 1.292,83 quilômetros para realizar suas entregas.

**Palavras-chave:** Problema do Caixeiro Viajante. Otimização. Roteirização. Logística de Distribuição. Transporte.

#### Abstract

Distribution logistics can be an area where often occurs waste, such as the time of a vehicle stopped in traffic, fuel consumption, idle load capacity, among other operational issues. The purpose of route planning, or routing, is to maximize the efficiency of a distribution operation and thereby improve the entire supply chain. Route optimization focuses on finding the most cost-effective route for each delivery scenario. The objective of this study was to analyze the current delivery route used by Empadaria São Joaquim to serve its 28 customers, and to propose a new optimized delivery plan, with shorter, faster and more economical routes. The Traveling Salesman Problem (TSP) methodology was used to carry out the

analysis, assuming that the delivery vehicle should leave the company, visit all customers, without repeating the route, and return to the starting point. The optimal route proposed would reduce the mileage traveled by 23.35%, providing savings of R\$ 592.00 per year and the company would reduce the distance traveled to make its deliveries by approximately 1,292.83 km/year.

**Keywords:** Traveling Salesman Problem. Optimization. Routing. Distribution Logistics. Transport.

## 1 INTRODUÇÃO

Dado o ambiente competitivo em que as organizações estão inseridas, verifica-se uma crescente busca pelo aumento da eficiência logística para que possam se manter competitivas no mercado. Nesse sentido, a forma como a gestão da Cadeia de Suprimentos é conduzida pode resultar no sucesso ou fracasso das empresas (CHRISTOPHER, 2016). Ensina Fish (2015), que para se obter o sucesso corporativo precisa-se realizar uma mudança na visão da gestão das operações, buscando integrá-las às atividades dos processos de gerenciamento das cadeias de suprimentos.

O nível de eficiência com que são realizadas as atividades de transporte, compras, armazenagem e distribuição, tem impacto direto na sobrevivência dos negócios, agregando valor e aumentando a competitividade das organizações (GARCÍA-ARCA *et al.*, 2016). Além disso, em alguns setores, como o de alimentos, a eficiência logística é essencial para a realizar a entrega dos produtos em condições adequadas de consumo (KUMAR *et al.*, 2017).

De acordo com Chen *et al.* (2019), a seleção de rotas ótimas para a realização de entregas minimiza o custo de transporte em relação ao valor da venda do produto. A redução dos custos deve-se à diminuição da quilometragem rodada, a conseqüente redução dos custos de manutenção dos veículos, gastos com combustível e maior aproveitamento da capacidade de carga do veículo (SOLIANI *et al.*, 2020). Cattaruzza *et al.* (2017) enfatizam a importância da roteirização para as organizações, uma vez que se obtém benefícios significativos, tanto em relação às despesas operacionais quanto na qualidade da prestação dos serviços.

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) e o Problema de Roteamento de Veículos (PRV) são conceitos centrais para o gerenciamento da distribuição de produtos e têm atraído a atenção de pesquisadores por mais de 50 anos. Seu

Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

estudo estimulou o surgimento e a disseminação dos mais importantes algoritmos para resolução de problemas de otimização em uso hoje (LAPORTE, 2010).

O conceito do PCV é a base para o PRV, que busca estabelecer uma rota que envolva o menor custo (ou distância) para visitar os diferentes clientes, respeitando também a capacidade de cada veículo e os requisitos de demanda de cada cliente (LAPORTE, 2010). Além disso, o vendedor deve iniciar e terminar sua rota no mesmo ponto, procurando minimizar a distância total percorrida. A resposta ao problema gera o roteiro ótimo com uma visita a cada cliente e a distância total mínima percorrida (LAGOS, 2019).

Em 1954, Dantzig, Fulkerson e Johnson, apresentaram o primeiro algoritmo eficiente para resolver problemas de otimização relativamente complexos (Wang *et al.*, 2015). O progresso tecnológico desenvolveu novas ferramentas para resolver este tipo problema, incluindo programação não linear, algoritmos, redes neurais, etc.

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar o atual roteiro de entregas dos produtos de uma empresa de alimentos localizada em São Joaquim da Barra, no Estado de São Paulo, com base no Problema do Caixeiro Viajante, para elaborar um roteiro sistemático, mais racional e eficiente para a distribuição de seus produtos, buscando aumentar a qualidade do serviço e reduzir os custos operacionais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 OTIMIZAÇÃO DE ROTAS

A otimização de uma rota é o processo de determinar o trajeto mais curto ou rápido possível para que um veículo possa chegar a um determinado local. Esta metodologia ganhou popularidade no setor de transporte e logística, pois reduz o tempo gasto em viagens e ao mesmo tempo o custo incorrido na operação de transporte (ABOUSAEIDIA *et al.*, 2016).

Antes que uma empresa possa empregar essa estratégia, deve primeiro ser capaz de documentar todas as suas rotas de negócios, para que assim possa usar os dados e simular as melhores rotas possíveis. Durante o processo de

Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

determinação das melhores rotas, normalmente ocorre uma simulação de diferentes cenários. Com o surgimento dos sistemas de roteirização, o planejamento de rotas se tornou digital, com os *softwares* utilizando algoritmos de otimização de rotas. Esses algoritmos são projetados para alcançar certos ganhos, como redução no tempo de viagem, no custo de transporte ou para garantir a produtividade máxima dos caminhões (WORONIUK; MARINOV, 2013).

Um dos muitos benefícios da otimização de rotas é que todas as entregas são realizadas com o uso mais racional dos recursos empregados. Há um equívoco de se assumir que a otimização de roteirização sempre se concentra na distância mais curta. Esse entendimento é incorreto, pois a otimização de uma rota tem foco na redução do tempo de condução dos motoristas de uma frota (TORMEN *et al.*, 2018).

A maneira mais rápida de ir do ponto A ao B não é necessariamente seguir a rota mais curta, pois pode haver outras restrições que devem ser consideradas. Um planejamento de otimização de rota leva em consideração todas as variáveis que podem afetar uma viagem, como bloqueios temporários de vias, condições de tráfego, clima, distâncias entre as paradas, acidentes rodoviários, restrições operacionais do cliente, entre outros (DE SOUZA *et al.*, 2019).

A roteirização de veículos é estudada há anos por analistas, gestores, engenheiros e cientistas. Muitas pesquisas já foram realizadas sobre o tema, mas o mesmo se mantém relevante para as organizações. Sempre que há uma discussão sobre o problema de roteamento de veículos, há uma menção ao Problema do Caixeiro Viajante (PCV). Supõe-se que esse conceito seja a origem do Problema de Roteamento de Veículos (PRV) (MOR; SPERANZA, 2020).

O PCV é, sem dúvida, o conceito mais conhecido quando se fala em otimização de recursos e operações, recebendo muita atenção por causa de suas aplicações na indústria, problemas de transporte e serviços.

## 2.2 PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

O Problema de Roteamento de Veículos (*Vehicle Routing Problem*), foi proposto inicialmente por Dantzig e Ramser (1959) como uma generalização do clássico Problema do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem*),

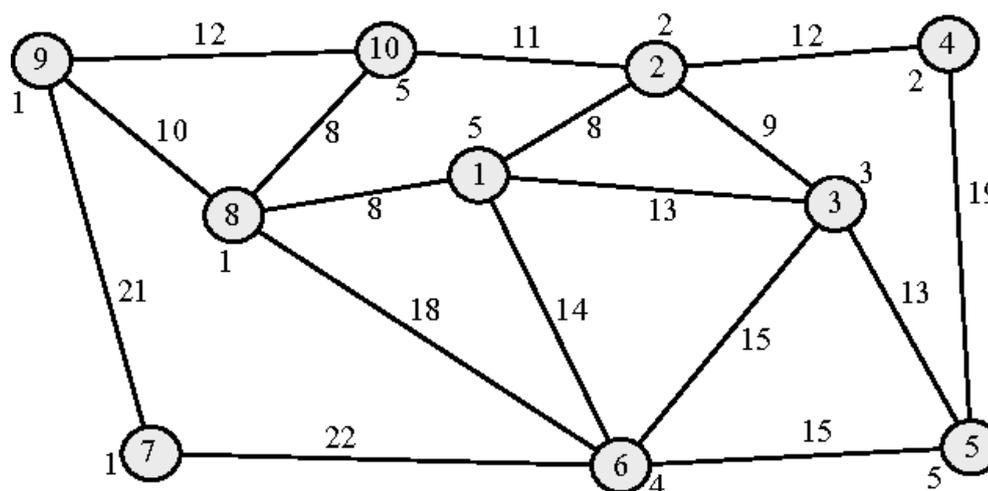
Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

inicialmente projetado com um algoritmo de solução para o problema de fornecimento de gasolina para os postos de serviço. Um PRV clássico determina uma rota ótima de entregas para um conjunto de veículos localizado em um depósito, entregando um produto para vários clientes em locais geograficamente dispersos, e sujeito a um conjunto de restrições.

Toth e Vigo (2014) trazem um exemplo genérico da família de problemas de roteamento de veículos, quando se tem um conjunto de pedidos de entregas e uma determinada frota de veículos. O problema é encontrar um conjunto de rotas para executar todas as solicitações de entregas com a frota disponível, a um custo mínimo; em particular, decidindo qual veículo atende determinado cliente, em qual sequência, de modo que todas as rotas de entregas possam ser executadas de maneira viável.

Uma importante aplicação destes modelos na área de roteamento de veículos é a alocação de clientes aos veículos (frota), ou seja, definir qual caminhão atenderá determinado cliente (NETO; PUREZA, 2016). Cada veículo  $j$  pode ser entendido como um "servidor" com capacidade  $b_j$ , e cada unidade de capacidade  $a_{ij}$  do veículo é utilizada quando um cliente  $i$  é alocado ao veículo  $j$ ; ou seja,  $a_{ij}$  pode ser entendida como a demanda do cliente. Uma vez que os veículos são alocados aos clientes, é necessário programar as rotas de entrega.

A Figura 1 exemplifica um PCV, em que cada local é representado por um vértice (cliente), que são ligados por uma aresta (linha), caso haja um deslocamento entre os dois vértices. Por fim, temos o peso (custo de deslocamento) das arestas, baseado nas distâncias entre os vértices. O objetivo é encontrar o caminho mais econômico, ou seja, uma sequência de arestas que comece e acabe no mesmo ponto, passando por todos os vértices exatamente uma vez, com a menor soma total dos pesos das arestas percorridas (LAPORTE, 2010).

**Figura 1** - Exemplo de um Problema do Caixeiro Viajante (PCV)

Fonte: Autoria própria (2021)

O conceito conhecido como "Problema do Caixeiro Viajante" consiste na determinação do menor caminho (rota), a qual deve passar por todos os nós (vértices)  $n$  em uma única vez (LAPORTE, 2010). Considerando que cada par de pontos (nós) é unido por um link (arestas), o número total de diferentes rotas através de  $n$  pontos é  $(n/2)!$ . Para simplificar a análise, assume-se que um único veículo, com capacidade ilimitada, tem como objetivo encontrar uma rota de menor distância e custo, saindo do armazém, passando pelos  $n$  clientes, e voltando para o armazém.

### 3 METODOLOGIA

Quanto à sua natureza, o projeto de pesquisa é classificado como quantitativo, pela abordagem de Pesquisa Operacional. Para atingir o resultado desejado, hipóteses serão elaboradas a partir de métodos numéricos e análises estatísticas, estabelecendo modelos e confirmando conceitos para o roteamento de veículos (SAMPIERI *et al.*, 2013).

O presente trabalho realizou um estudo de caso na empresa Empadaria São Joaquim, utilizando o conceito do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) para propor um novo plano de entregas, com rotas mais curtas, rápidas e econômicas para atender seus 28 clientes. De acordo com Yin (2015), o estudo de caso é uma pesquisa social empírica, que explora um contexto existente sendo o maior

Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

diferencial a percepção de lidar com várias evidências através de documentos, entrevistas e levantamento de dados.

A coleta de dados foi realizada com a junção das informações de sequenciamento de entregas obtidas por meio do conhecimento tácito dos colaboradores da empresa. Foi realizada uma entrevista semiestruturada com o gestor da empresa, com flexibilidade na condução dos questionamentos, buscando como resultado do entrevistado informações e/ou relatos do objeto estudado através de uma conversa guiada (MATIAS-PEREIRA, 2019).

Foi proposto um modelo heurístico, programado em linguagem Python, utilizando o compilador do Python 3.9 por meio da IDE PyCharm. Para isso, foram coletadas as seguintes informações para a composição dos estudos do planejamento de rotas:

- Sequência de rota executada pelos entregadores;
- Medição da quilometragem percorrida na rota realizada pelo veículo;
- Georreferencia da posição dos clientes, baseadas em coordenadas UMT (*Universal Transversa de Mercator*) obtidas por meio do *software Google Maps*.

### 3.1 ESTUDO DE CASO

A empresa estudada, Empadaria São Joaquim, atua no segmento alimentício, situada na cidade de São Joaquim da Barra (SP). A empresa possui dois grupos de clientes: o primeiro, são os clientes que retiram os produtos diretamente na fábrica; o segundo, é representado pelos clientes fixos (restaurantes, bares, padarias, conveniências e escolas), o qual a indústria deve dispor de um veículo para realizar a operação de distribuição dos produtos.

A organização possui hoje cerca de 28 clientes fixos no município enquadrados nesta segunda categoria, que são atendidos de segunda-feira à sábado, das 6h30 às 9h00, de acordo com suas localizações e demandas. Foi identificado pelo gestor da empresa que em determinadas situações o veículo chega a passar mais de uma vez pelo mesmo local por não possuir uma rota planejada, ocasionando uma maior distância percorrida para realizar as entregas

Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

e, conseqüentemente, maior custo total atrelado à rota (consumo de combustível, manutenções gerais, tempo, entre outros).

### 3.2 MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE ROTAS

Neste tópico é apresentado uma proposta de modelagem matemática, baseada no modelo do Problema do Caixeiro Viajante. O modelo utilizado foi formulado por Dantzig *et al.* (1954), onde o veículo deve iniciar e terminar sua rota no mesmo ponto, procurando minimizar a distância total percorrida no trajeto. A resposta ao problema gera o roteiro ótimo, com uma visita a cada cliente, percorrendo a menor distância possível, de modo que o PCV estabelece uma rota que envolve, conseqüentemente, um menor custo.

Para tanto, a obtenção de uma rota eficiente requer a construção de um modelo matemático que permita reconhecer e analisar as diferentes possibilidades de rotas existentes. A seguir é apresentada a estrutura matemática utilizada para isso.

Parâmetros:

- $n$  - Número de clientes para visitar, sem incluir o depósito (origem) indexado como  $n = 0$
- $c_{ij}$  - Custo/distância da viagem da localização do cliente  $i$  para a localização do cliente  $j$

Variáveis:

- $x_{ij}$  - Variável binária que é igual a 1 se o veículo viaja diretamente da localização do cliente  $i$  para a localização do cliente  $j$ , e 0 caso contrário.

$$(1) \min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n c_{ij} x_{ij}$$

Sujeito a:

Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

$$(2) \sum_{\substack{i=0, \\ i \neq j}}^n x_{ij} = 1, \quad \forall j = 0, \dots, n$$

$$(3) \sum_{\substack{j=0, \\ i \neq j}}^n x_{ij} = 1, \quad \forall i = 0, \dots, m$$

$$(4) \sum_{\substack{(i,j) \in S\bar{S}, \\ i \neq j}}^n x_{ij} \leq |S| - 1, \quad S \subseteq \{1, \dots, n\}, 2 \leq |S| \leq n - 1$$

$$(5) x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \neq j$$

A função objetivo (1) procura minimizar o custo total da viagem. As restrições (2) indicam que todos os clientes devem ser visitados pelos veículos. Similarmente, as restrições (3) dizem que ao visitar cada cliente  $i$  o veículo deve se encaminhar para o cliente seguinte. Assim, a restrição (2) especifica que cada vértice é acessado uma única vez, descrito em (3). O veículo deve, também, sair e retornar ao depósito, o qual é indexado por  $i = 0$ .

As restrições (4) apresentam as eliminações de sub-rotas, não permitindo soluções que consistem em rotas desconectadas - subconjuntos  $S$  menores que  $n$  vértices. Se houvesse tal sub-rota em um subconjunto  $S$  de  $n$  vértices, esta sub-rota conteria o mesmo número  $|S|$  de arcos e vértices. A restrição (4) seria então violada para este subconjunto, já que seu lado esquerdo seria igual a  $|S|$  e seu lado direito igual a  $|S| - 1$ . A prova desta restrição pode ser encontrada em Dantzig *et al.* (1954), onde o autor utiliza um exemplo de um mapa de 5 cidades em forma de pentágono, com comprimento igual a uma unidade de cada lateral, e comprimento diagonal de  $\left[\frac{1}{2}(\sqrt{5} + 1) = 1,7\right]$ . Por fim, a restrição (5) apresenta o domínio da variável de decisão.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizada uma entrevista semiestruturada com o proprietário e gestor da empresa, com o intuito de poder identificar a quantidade de clientes a serem atendidos nas entregas, seus respectivos endereços, a rota atual realizada pelos entregadores, o tipo do veículo utilizado e se o mesmo tinha capacidade de

Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

atender todos os clientes antes de retornar à indústria. Foi constatado que são 28 clientes, cujos endereços foram georreferenciados através das coordenadas UTM (sistema de coordenadas cartesianas), transpostos na Tabela 1.

**Tabela 1** - Georreferenciamento das coordenadas cartesianas dos clientes

Cliente	Latitude	Longitude
A	-20.575.143	-47.853.764
B	-20.572.939	-47.853.356
C	-20.574.384	-47.855.829
D	-20.576.474	-47.858.404
E	-20.579.379	-47.860.625
F	-20.570.611	-47.869.357
G	-20.569.628	-47.869.481
H	-20.567.515	-47.868.405
I	-20.570.482	-47.864.246
J	-20.581.992	-47.862.569
K	-20.585.245	-47.865.279
L	-20.583.340	-47.864.494
M	-20.582.670	-47.863.557
N	-20.581.532	-47.865.711
O	-20.579.950	-47.861.398
P	-20.581.424	-47.860.240
Q	-20.581.523	-47.857.943
R	-20.581.923	-47.856.757
S	-20.584.855	-47.858.929
T	-20.587.838	-47.865.230
U	-20.585.700	-47.864.067
V	-20.586.499	-47.861.959
W	-20.590.698	-47.860.252
X	-20.595.353	-47.859.738
Y	-20.597.947	-47.849.679
Z	-20.601.008	-47.853.312
AA	-20.591.694	-47.851.871
AB	-20.583.850	-47.868.960
AC	-20.583.447	-47.861.583

Fonte: Autoria própria (2021)

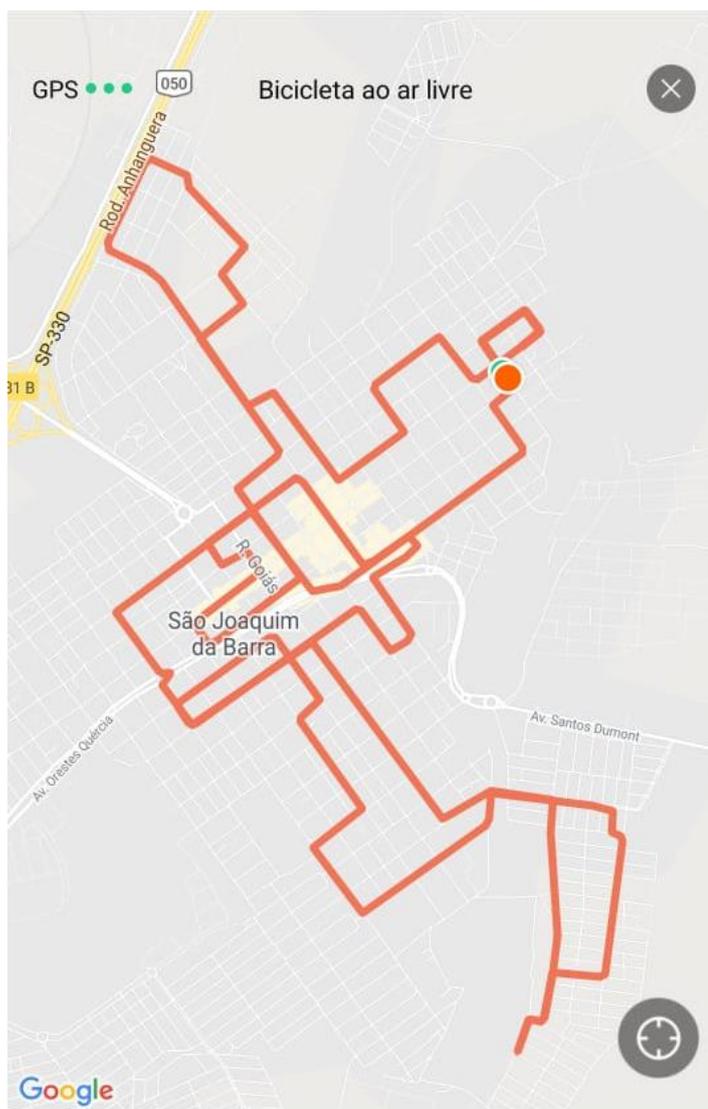
Com o intuito de aumentar a acurácia das referências da rota realizada pelos entregadores, foi feito pelo pesquisador o acompanhamento de um dia de entrega dos produtos, em que, por meio do aplicativo *Google Maps* (aplicativo

Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

de mapas e rotas *online*), obteve-se a roteirização atual, conforme apresentado nas Figuras 2 e 3.

A Figura 2 representa a rota atual, partindo do ponto laranja e voltando para o mesmo. Neste mapa pode-se notar que as linhas se cruzam por diversas vezes, o que representa um desperdício de tempo, combustível e custo de transporte.

**Figura 2** - Mapa do percurso urbano realizado na rota de entrega atual



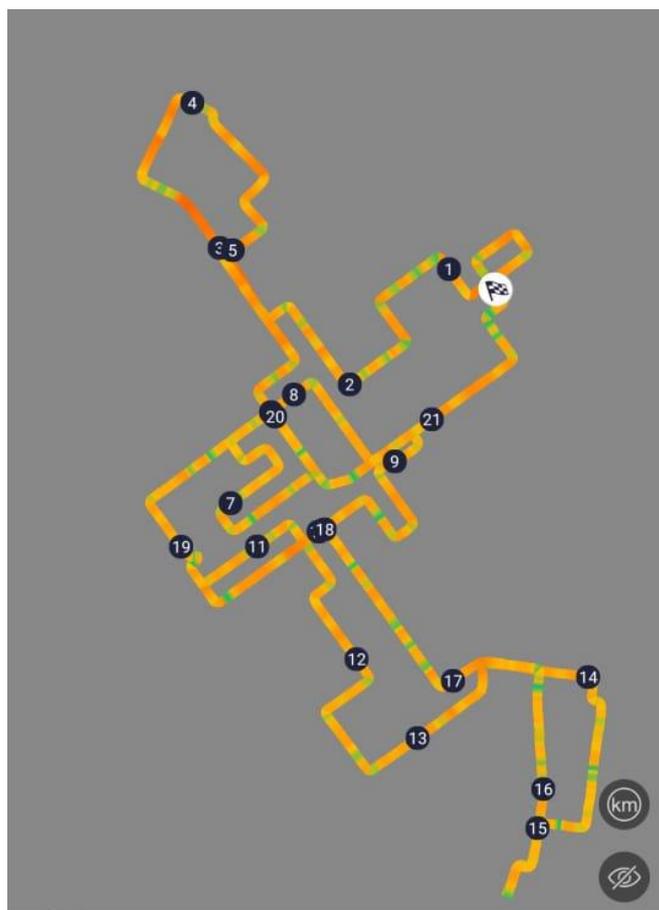
Fonte: Autoria própria (2021)

A Figura 3 apresenta a quilometragem percorrida para a realização das entregas da rota atual. Na imagem, cada quilômetro está assinalado e numerado desde o ponto de partida até a conclusão do percurso. O total percorrido pelo

Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

veículo da empresa foi de 21,9 km e o veículo de transporte utilizado é um automóvel de motor 1.0.

**Figura 3** - Mapa com a quilometragem indicada da rota de entrega atual



Fonte: Autoria própria (2021)

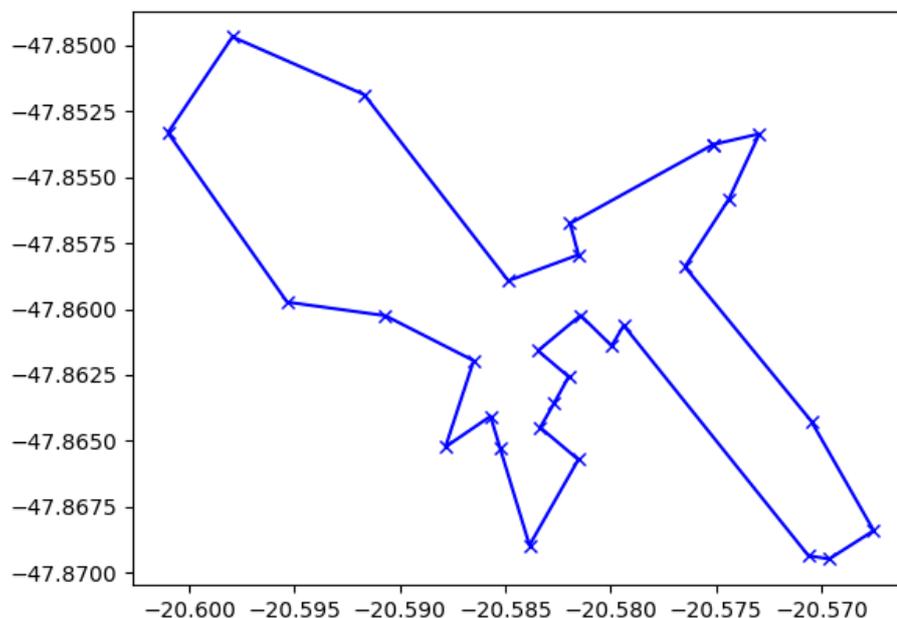
Foi identificado durante o acompanhamento realizado que atualmente o veículo percorre 21,9 km e o seu consumo de combustível é 9,5 km por litro. É importante ressaltar que as entregas são realizadas apenas uma vez por dia, no período da manhã. O preço do combustível no período do levantamento dos dados era de R\$ 4,35 por litro, concluindo-se que o custo médio por entrega é de R\$ 10,02 por dia.

Na Figura 4 é apresentado a rota de entregas proposta, com o plano cartesiano das localizações dos clientes, no qual o eixo das abscissas (x) estão as latitudes e no eixo das ordenadas (y) estão as longitudes. Durante a resolução do problema de roteamento de veículos considera-se que cada nó (cliente) será visitado uma única vez, otimizando o uso do veículo com o objetivo de se obter

Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

um melhor resultado operacional (melhora do tempo de trânsito e consumo de combustível).

**Figura 4 – Plano cartesiano da rota de entregas proposta**



Fonte: Autoria própria (2021)

A Tabela 2 consiste na determinação do menor trajeto (rota), no qual o entregador deverá passar por todos os nós (vértices) n uma única vez, sem poder repetir o trajeto.

**Tabela 2 - Georreferenciamento da rota de entregas proposta**

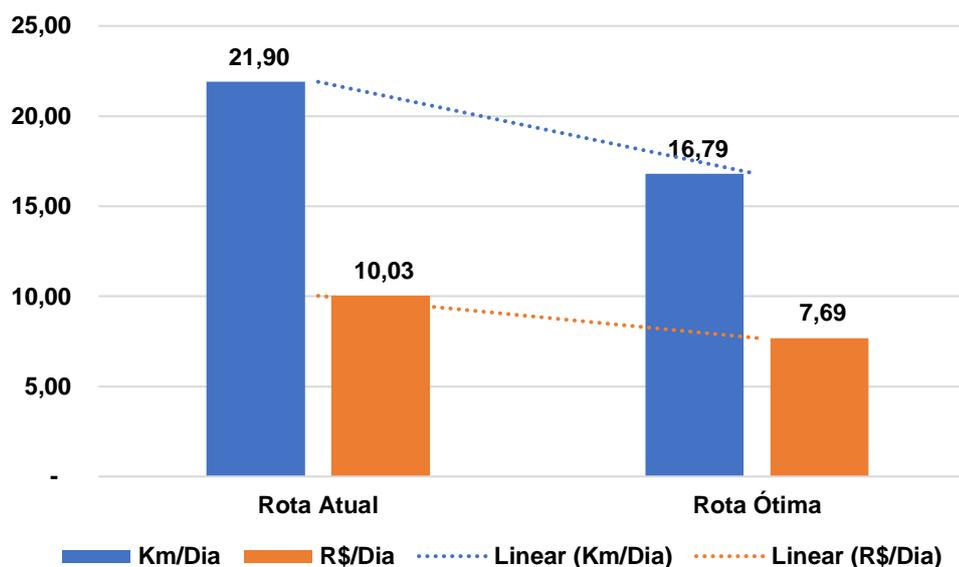
Cliente	Latitude	Longitude
A	-20.575143	-47.853764
B	-20.572939	-47.853356
C	-20.574384	-47.855829
D	-20.576474	-47.858404
I	-20.570482	-47.864246
H	-20.567515	-47.868405
G	-20.569628	-47.869481
F	-20.570611	-47.869357
E	-20.579379	-47.860625
O	-20.579950	-47.861398
P	-20.581424	-47.860240
AC	-20.583447	-47.861583

Cliente	Latitude	Longitude
J	-20.581992	-47.862569
M	-20.582670	-47.863557
L	-20.583340	-47.864494
N	-20.581532	-47.865711
AB	-20.583850	-47.868960
K	-20.585245	-47.865279
U	-20.585700	-47.864067
T	-20.587838	-47.865230
V	-20.586499	-47.861959
W	-20.590698	-47.860252
X	-20.595353	-47.859738
Z	-20.601008	-47.853312
Y	-20.597947	-47.849679
AA	-20.591694	-47.851871
S	-20.584855	-47.858929
Q	-20.581523	-47.857943
R	-20.581923	-47.856757

Fonte: Autoria própria (2021)

Com esta solução ótima, a partir do Problema de Roteamento de Veículos, com ênfase no Problema do Caixeiro Viajante, a nova distância percorrida será de 12,48 km. Contudo, de acordo com Gonçalves *et al.* (2014), os veículos não trafegam em linha reta como nos planos cartesianos, gerando um erro médio entre todos os nós. Deste modo, as distâncias a serem percorridas geradas pelos sistemas computacionais deverão ser multiplicadas pelo fator de 1,345 para termos uma variação de 0,55% com relação a real (GONÇALVES *et al.*, 2014).

Gonçalves *et al.* (2014) constataram em seu estudo que o fator de aproximação de 1,345 deveria ser utilizado para uma maior similaridade com a quilometragem real para distâncias euclidianas inferiores a 819 km. Multiplicando o fator de aproximação de 1,345 pela distância computacional de 12,48 quilômetros, a distância da nova rota de entrega passa a ser de 16,78 km, fazendo com que o novo plano proporcione uma redução de 23,35% na quilometragem percorrida por dia. A seguir, a Figura 5 elucida sobre as diferenças entre a rota atual e a rota ótima proposta pelo estudo.

**Figura 5** – Comparativo entre a rota atual e a rota ótima proposta

Fonte: Autoria própria (2021)

Pode-se observar na Figura 5 que a quilometragem diária diminuiu de 21,9 km para 16,79 km, o que causou uma redução do custo do transporte para a entrega dos produtos aos clientes, passando de R\$ 10,03/dia para R\$ 7,69/dia. Considerando que um ano tenha aproximadamente 253 dias úteis e 50 sábados, isso resulta em um total de 303 dias, logo, a empresa teria uma economia de R\$ 592,00/ano, deixando de percorrer 1.292,83 km durante o ano para realizar suas entregas com a rota proposta. Esse resultado representaria uma economia de 23,35% nos custos operacionais da empresa

Uma rota de entrega bem projetada não só garantirá a entrega dos alimentos mais frescos, mas também atenderá às necessidades dos clientes de maneira mais econômica e oportuna. É necessária uma estreita coordenação entre os sistemas de produção e distribuição para garantir a qualidade do produto e, conseqüentemente, uma maior satisfação do cliente.

## 5 CONCLUSÕES

O estudo de caso teve como objetivo analisar o atual roteiro de entregas de uma indústria de alimentos, no qual durante o trajeto o veículo passava pelo mesmo ponto mais de uma vez, fazendo com que aumentasse o tempo de

Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

entrega do produto, impactando no consumo de combustível e, conseqüentemente, na manutenção do veículo, uma vez que o caminho percorrido é maior.

A otimização da rota por meio da utilização da metodologia do PCV, juntamente com o mapeamento das coordenadas dos clientes e o uso do sistema Python, trouxe como resultado uma rota ótima para o percurso percorrido, reduzindo em 23,35% a quilometragem percorrida. A redução do gasto com combustível foi de R\$ 2,34 ao dia e a distância percorrida foi diminuída em 5,11 quilômetros, o que representaria em um período anual uma economia de R\$ 592,00 reais e a empresa deixaria de percorrer cerca de 1.292,83 quilômetros para realizar suas entregas. Esta redução nos gastos com o combustível poderá ser revertida em investimentos a longo prazo para a empresa ou na compra de insumos, o que é uma necessidade constante por se tratar de uma empresa do setor alimentício.

Outro benefício que o estudo indica é a melhoria da qualidade do produto entregue aos clientes, pois, tratando-se de um produto perecível, a diminuição do tempo de entrega garante que o alimento chegue com o nível de qualidade esperado pelos seus clientes. A flutuação das temperaturas do produto, com variações nos horários de entrega, pode afetar a satisfação dos clientes.

## REFERÊNCIAS

ABOUSAEIDIA, M.; FAUZI, R.; MUHAMAD, R. Geographic Information System (GIS) modelling approach to determine the fastest delivery routes. **Saudi Journal of Biological Sciences**. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.06.004>

CATTARUZZA, D.; ABSI, N.; FEILLET, D.; GONZÁLEZ-FELIU, J. Vehicle routing problems for city logistics. **EURO Journal on Transportation and Logistics**. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13676-014-0074-0>

CHEN, J.; GUI, P.; DING, T.; NA, S.; ZHOU, Y. Optimization of Transportation Routing Problem for Fresh Food by Improved Ant Colony Algorithm Based on Tabu Search. **Sustainability**. 2019: DOI: <https://doi.org/10.3390/su11236584>

CHRISTOPHER, M. Logistics & Supply Chain Management. 5. edition, **Pearson Education Limited**, FT Press, 2016.

Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

DANTZIG, G. B.; FULKERSON, D. R.; JOHNSON, S. M. Solution of a large-scale travelling-salesman problem. **Operational Research Society of America**. 1954.

DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. The Truck Dispatching Problem. **Management Science**. 1959.

DE SOUZA, A. M., BRAUN, T., BOTEAGA, L. C.; CABRAL, R.; GARCIA, I. C.; VILLAS, L. A. Better safe than sorry: a vehicular traffic re-routing based on traffic conditions and public safety issues. **Journal of Internet Services and Applications**. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13174-019-0116-9>

FISH, L. A. **Managerial Best Practices to Promote Sustainable Supply Chain Management & New Product Development**. Applications of Contemporary Management Approaches in Supply Chains. Ed. IntechOpen, 2015.

GARCÍA-ARCA, J.; GARRIDO, A. P.; PRADO, J. C. "Packaging Logistics" for improving performance in supply chains: the role of meta-standards implementation. **Production**. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.184114>

GONÇALVES, D.; GONÇALVES, C. M.; ASSIS, T.; SILVA, M. Analysis of the difference between the euclidean distance and the actual road distance in Brazil. **Transportation Research Procedia**. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.066>

KUMAR, V.; CHIBUZO, E. N.; GARZA-REYES, J. A.; KUMARI, A.; ROCHA-LONA, L.; LOPEZ-TORRES, G. C. The impact of supply chain integration on performance: Evidence from the UK food sector. **Procedia Manufacturing**. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.183>

LAGOS, D.; MANCILLA, R.; LEAL, P.; FOX, F. Performance measurement of a solution for the travelling salesman problem for routing through the incorporation of service time variability. **Ingeniería e Investigación**. 2019. DOI: <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v39n3.81161>

LAPORTE, G. The Traveling Salesman Problem, the Vehicle Routing Problem, and Their Impact on Combinatorial Optimization. **International Journal of Strategic Decision Sciences**. 2010. DOI: <https://doi.org/10.4018/jsds.2010040104>

MATIAS-PEREIRA, J. **Manual de Metodologia da pesquisa científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

MOR, A.; SPERANZA, M. G. **Vehicle routing problems over time**: a survey. 4OR. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10288-020-00433-2>

Revista Conexão na Amazônia, n. 2, v. 1, p. 152-169, 2021

NETO, J. F. S.; PUREZA, V. Modeling and Solving A Rich Vehicle Routing Problem for The Delivery of Goods in Urban Areas. **Pesquisa Operacional**. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2016.036.03.0421>

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SOLIANI, R. D.; INNOCENTINI, M. D. M.; CARMO, M. C. Collaborative logistics and eco-efficiency indicators: an analysis of soy and fertilizer transportation in the ports of Santos and Paranaguá. **Independent Journal of Management & Production**. 2020. DOI: <https://doi.org/10.14807/ijmp.v11i5.1303>

TORMEN, A. F.; PANSERA, G.; KRIPKA, M. Otimização das rotas para veículos de manutenção do sistema de iluminação pública na cidade de Passo Fundo (RS). **Exacta – Engenharia de Produção**. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5585/exactaep.v16n3.7636>

TOTH, P.; VIGO, D. Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications. 2. ed. **Philadelphia**: SIAM - Society of Industrial and Applied Mathematics, 2014.  
WANG, Z., GUO, J., ZHENG, M., AND WANG, Y. Uncertain multiobjective traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research*. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.09.012>

WORONIUK, C.; MARINOV, M. Simulation modelling to analyse the current level of utilisation of sections along a rail route. **Journal of Transport Literature**. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2238-10312013000200012>

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.