

MELHORIA NA EFICIÊNCIA LOGÍSTICA COM A OTIMIZAÇÃO DE ROTEIRIZAÇÃO DE UMA EMPRESA CAFEEIRA DO SUL DE MINAS GERAIS

Matheus Costa Pereira

Mestrando em Engenharia de Produção
(UNIFEI)

E-mail: matheusc_pereira@hotmail.com

Israel Galhardo

Mestrando em Engenharia de Produção
(UNIFEI)

E-mail: raelgalhardo@yahoo.com.br

Rafael Rander Messala Coimbra

Mestrando em Engenharia de Produção
(UNIFEI)

E-mail: messala.coimbra@gmail.com

Vinicius Antônio Montgomery de Miranda

Mestre em Engenharia de Produção (UNIFEI)

E-mail: vinicius@fai-mg.br

RESUMO

No ambiente contemporâneo, caracterizado por rápidas transformações e aumento da competição no âmbito empresarial, as organizações precisam ser eficientes e tomar decisões assertivas. Para isso são essenciais a competência profissional e a capacidade de organizar os processos, o que certamente inclui o armazenamento e o transporte de bens. É nesse contexto, portanto, que a gestão logística se destaca por proporcionar uma entrega rápida e objetiva de bens a clientes que atribuem valor à integridade e celeridade no recebimento dos mesmos. No mundo todo, o setor logístico cresce em função da expansão frenética do transporte global de produtos e de sua característica estratégica em adicionar valor e possibilitar a obtenção de vantagens competitivas. Nesse sentido, empresas de todos os portes e segmentos precisam se preparar para tirar proveito das técnicas mais avançadas desse campo de estudo. Esse artigo apresenta um estudo de caso de uma empresa cafeeira no sul de Minas Gerais, onde foi possível, a partir de informações das rotas de entrega existentes e aplicação de formulação matemática e algoritmos no Solver, identificar as melhores rotas de distribuição a partir de seu depósito, considerando as restrições logísticas. A aplicação dessa abordagem quantitativa mostrou ser possível aumentar a eficiência do processo de entrega e reduzir custos logísticos, validando a roteirização como estratégia promissora para empresas que desejam destacar-se competitivamente.

Palavras Chave: Empresa cafeeira. Otimização. Pesquisa Operacional. Logística. Roteirização.

ABSTRACT

In the contemporary environment, characterized by rapid transformations and increased competition in the business sphere, organizations need to be efficient and make assertive decisions. For this, professional competence and the ability to organize processes are essential, which certainly includes the storage and transport of goods. It is in this context, therefore, that logistics management stands out for providing a quick and objective delivery of goods to customers, who attribute value to integrity and speed in receiving them. All over the world, the logistics sector is growing due to the frantic expansion of the global transport of products and its strategic characteristic of adding value and enabling the attainment of competitive advantages. In this sense, companies of all sizes and segments need to prepare themselves to take advantage of the most advanced techniques in this field of study. This article presents a case study of a coffee company in the south of Minas Gerais where it was possible, from information on existing delivery routes and the application of mathematical formulas and algorithms in Solver, to identify the best distribution routes from your warehouse, considering logistical constraints. The application of this quantitative approach showed that it is possible to increase the efficiency of the delivery process and reduce logistical costs, validating routing as a promising strategy for companies that stand out competitively.

Keywords: Coffee company. Optimization. Operations Research. Logistics. Route optimization.

1 INTRODUÇÃO

Esse artigo aborda a roteirização do transporte de uma empresa cafeeira localizada no sul de Minas Gerais, onde se apresentam propostas de otimização das rotas, com vistas a reduzir custos e agilizar entregas. Para empresas desse porte, as técnicas de logística são pouco difundidas, o que faz com que a grande maioria não dê atenção suficiente à integração das atividades logísticas na empresa, nem à quantificação e definição de serviços aos clientes, transportadores e à integração dos fatores dentro da cadeia logística. Além disso, devido ao tratamento fracionado das atividades logísticas, observa-se a falta de profissionais com habilidades para planejar, analisar e executar todas as atividades logísticas de forma integrada (CHING, 2001).

A gestão logística utiliza um conjunto de ferramentas voltadas para o mercado, com o objetivo de agregar valor do transporte e gerar vantagens competitivas. Por isso, a gestão da cadeia de suprimentos busca gerenciar as interações da cadeia logística para racionalizar os custos e atender às demandas dos clientes. A elevada concorrência e as constantes alterações nos mercados evidenciam a agilidade e a capacidade de compreender e suprir as necessidades dos clientes (HARRISON e HOEK, 2003).

Embora muitas empresas de pequeno porte prescindam de pessoas qualificadas para compreender seus problemas logísticos, a

modelagem matemática pode ser aplicada na roteirização para reduzir custos de transportes, otimizar soluções e contornar restrições, de modo a aprimorar a qualidade dos serviços de armazenagem e transporte, e, dessa forma, lograr melhores resultados.

2 PESQUISA OPERACIONAL

A Pesquisa Operacional (PO) é uma das técnicas responsáveis por lidar com modelos matemáticos elaborados para conduzir e coordenar certas operações em uma organização. Ela se baseia principalmente em métodos científicos para solucionar problemas, utilizando coleta de dados e elaboração de modelos para criar um ambiente próximo de situações reais (MOREIRA, 2013). Para Taha (1998), a pesquisa operacional busca resolver problemas de natureza complexa, aplicando-se à gestão e tomada de decisões, com a finalidade de transformar problemas reais em modelos matemáticos. Segundo Andrade (2015), a pesquisa operacional é uma área da engenharia que busca beneficiar as empresas e auxiliar seus gestores na busca pela melhor maneira de operacionalizar a tomada de decisões de forma automatizada.

No processo de aplicação da pesquisa operacional, o problema é iniciado com sua observação e formulação, com a coleta de dados relevantes (HILLIER; LIEBERMAN, 2006). O objetivo é encontrar soluções otimizadas para problemas reais complexos, que muitas vezes envolvem restrições.

2.1 CASO DO CAIXEIRO VIAJANTE

O problema do Caixeiro Viajante (PCV), segundo Karp (1975), é amplamente utilizado em experimentos de diversos métodos de otimização devido à sua fácil descrição e compreensão, embora apresente uma grande dificuldade de solução.

Jünger, Reinelt e Rinaldi (1995) abordam várias instâncias do problema do caixeiro viajante que são analisadas, testadas e discutidas de acordo com o conhecimento da literatura.

De forma geral, os algoritmos exatos envolvem a abordagem de *branch-and-cut*, que é um algoritmo *branch-and-bound*, no qual os planos de corte são gerados ao longo da árvore de busca (MERZ, 2000).

O PCV é uma técnica clássica de otimização combinatória, que recebe esse nome curioso por descrever o problema de um vendedor que viaja por várias cidades durante sua jornada e, a partir da cidade de origem, deseja determinar a rota mais curta para visitar cada cidade apenas uma vez antes de retornar à origem (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

2.2 ROTEIRIZAÇÃO

Os problemas de roteirização podem envolver tanto os veículos quanto os indivíduos, enfrentando questões como restrições de horário de atendimento, capacidades dos veículos, frota composta por veículos de diferentes tamanhos, duração máxima dos roteiros dos veículos (tempo ou distância) e restrições na seleção dos

tipos de veículos para atender às exigências do cliente (CUNHA, 2000).

Segundo Ballou (2007), os problemas de roteirização apresentam grande complexidade ao determinar as questões relacionadas aos pontos de origem e destino. A roteirização de veículos não se restringe apenas a completar uma viagem do ponto de partida até o retorno, mas busca encontrar uma sequência que minimize os pontos visitados, a distância e o tempo total da viagem.

2.3 TRANSPORTE

Bowersox e Closs (2011) descrevem que o objetivo do transporte consiste em movimentar os produtos de um ponto de origem até o local de destino, reduzindo custos financeiros, temporais e ambientais. As despesas relacionadas a perdas e danos ocorridos durante o transporte devem ser minimizadas, além de ser necessário que o serviço de transporte atenda às expectativas dos clientes, melhorando o desempenho das entregas. Além disso, o transporte oferece informações sobre as cargas transportadas.

De acordo com Ballou (2007), um serviço de transporte de qualidade apresenta características como o menor tempo em trânsito, pouca variabilidade, maior segurança, o que resulta em menores níveis de estoque e garante a efetividade dos cronogramas operacionais.

3 METODOLOGIA

Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa pode ser classificada como básica e aplicada. A pesquisa básica tem como objetivo o

avanço do conhecimento científico sem aplicação prática, envolvendo confirmações e interesses universais. Por outro lado, a pesquisa aplicada busca gerar conhecimento para aplicação prática e solução de problemas específicos. No caso desse artigo, a pesquisa é aplicada, pois visa gerar conhecimento aplicável no estudo de um problema real e busca soluções para problemas específicos.

Quanto aos objetivos da pesquisa, Gil (2010) apresenta três possibilidades: as pesquisas exploratórias, descritivas e explicativas. A pesquisa exploratória tem como principal objetivo o desenvolvimento de ideias e a descoberta de intuições. Já a pesquisa descritiva tem como objetivo definir as características de um fenômeno, população ou a relação entre variáveis. Por último, a pesquisa explicativa busca o conhecimento da realidade, expondo os motivos e finalidades dos aspectos estudados. O estudo desenvolvido nesse trabalho permite classificá-lo como uma pesquisa descritiva.

Para Fonseca e Moraes (2017), a pesquisa pode ainda assumir abordagens quantitativas, qualitativas ou ambas. A pesquisa qualitativa não apresenta resultados em formato numérico, mas se concentra nas motivações de um grupo, na interpretação e compreensão de comportamentos, expectativas e opiniões da população. Por outro lado, a pesquisa quantitativa busca resultados quantificados por meio da coleta de dados, que são estruturados de forma organizada e intuitiva, ou seja, são resultados numéricos que possibilitam uma

abordagem lógica e objetiva, sem manipulação ou modificação de acordo com interpretações.

Quanto à abordagem, a pesquisa aqui apresentada pode ser classificada como quantitativa, pois, a coleta de dados é baseada em medições e suas respectivas análises junto à equipe de colaboradores do setor logístico da empresa objeto de estudo.

4 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

A empresa estudada, Café Brazópolis, está localizada no município de Brazópolis, sul de Minas Gerais. A parte produtiva da empresa, incluindo o estoque, está localizada nesse município, sendo o ponto de partida das entregas para diversas cidades, como São José dos Campos, Campos do Jordão, Pouso Alegre, Itajubá, Paraisópolis e Luminosa. Durante visitas técnicas realizadas à empresa foram identificados desafios logísticos no que dizem respeito à demanda prefixada de entregas a clientes. O problema se apresentou como um desafio de roteamento de veículos, no qual se buscava encontrar rotas eficientes que pudessem ligar o centro de distribuição da empresa aos clientes em diferentes cidades. A partir de veículos com mesma capacidade de carga, a intenção seria de minimizar os custos e atender às demandas e necessidades dos clientes de forma otimizada.

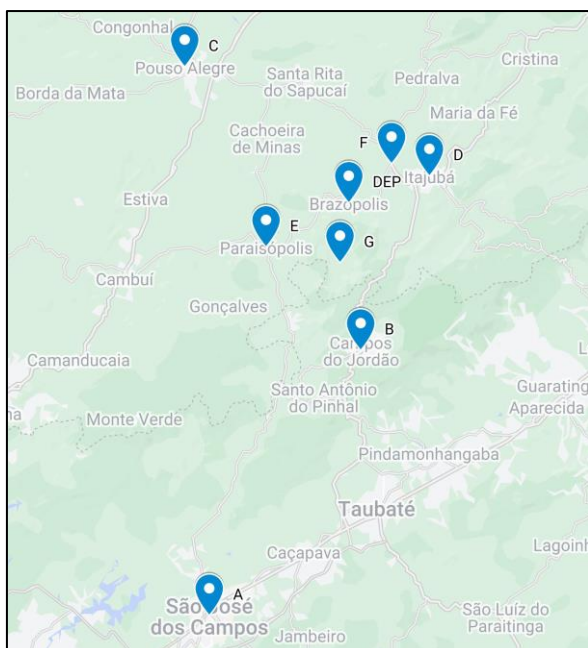
O veículo utilizado pela empresa possui uma capacidade de carga fixa de 1.700 kg e as

entregas englobam 7 localidades, cada qual com uma demanda específica a ser atendida.

Atualmente, a empresa realiza o planejamento e distribuição logística manualmente, sem o uso de softwares de apoio. O objetivo do estudo visava otimizar a utilização do veículo de entrega, que realizava uma única viagem diária com uma rota estimada aleatoriamente para as entregas, retornando ao ponto central sem carga. Então, a partir do desenvolvimento de um modelo matemático automatizado aplicou-se a pesquisa operacional, com base na programação linear, para definir as melhores rotas que atendessem à demanda dos clientes e reduzissem os custos do processo de entrega.

As cidades atendidas pela empresa cafeeira são apresentadas no mapa da Figura 1.

FIGURA 1 – Clientes da Café Brazópolis.



FONTE: Elaborada pelos autores (2023).

5 CONSTRUÇÃO E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO

Para a construção e formulação do modelo matemático a ser estudado, foram considerados os seguintes dados de entrada:

- **Cidades:** conjunto de localidades que englobam o depósito do fornecedor e as cidades dos clientes atendidos.

TABELA 1 – Cidades presentes

Legenda	Cidade
A	São José dos Campos
B	Campos do Jordão
C	Pouso Alegre
D	Itajubá
E	Paraisópolis
F	Piranguinho
G	Luminosa
DEPÓSITO	Brazópolis

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

- Demanda semanal requerida por cada cidade cliente em quilograma (Tabela 2).

TABELA 2 – Demanda das cidades clientes

Cidade	Demanda (kg)
A	100
B	400
C	500
D	1700
E	400
F	100
G	100
DEPÓSITO	0

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

- Distâncias entre as cidades envolvidas, representadas na linha i e na coluna j em quilômetros (km): (**Dist_{ij}**).

TABELA 3 – Distâncias entre as cidades

i/j	DEP	A	B	C	D	E	F	G
DEP	0	124	74	74	27	27	16	15
A	124	0	83	179	174	119	139	126
B	74	83	0	109	56	50	59	36
C	74	179	109	0	69	63	58	92
D	27	174	56	69	0	54	11	42
E	27	119	50	63	54	0	43	42
F	16	139	59	58	11	43	0	31
G	15	126	36	92	42	42	31	0

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

- Capacidade de carga do veículo em quilograma (kg) e quantidade de veículos disponíveis.

TABELA 4 – Capacidade do veículo

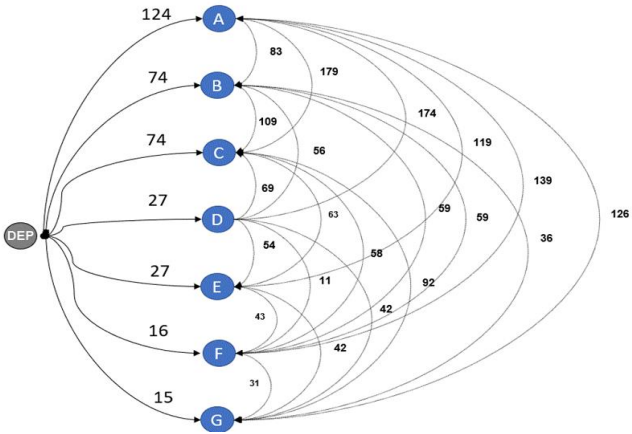
Capacidade do veículo (kg)	Número de veículos
1700	1

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

A Figura 2 representa a rede completa, enquanto a Figura 3 exibe a representação da rede real com as cidades e as rotas utilizadas. A representação de uma rede completa de rotas logísticas envolve o mapeamento e a organização de todas as vias e conexões utilizadas para o transporte de mercadorias e bens entre diferentes locais. Essa representação é essencial para otimizar a eficiência e a produtividade das operações logísticas, permitindo que as empresas planejem, gerenciem e monitorem suas cadeias de suprimentos de forma eficaz. A representação adequada dessa rede possibilita a identificação de pontos críticos, gargalos e possíveis rotas alternativas, contribuindo para a redução dos

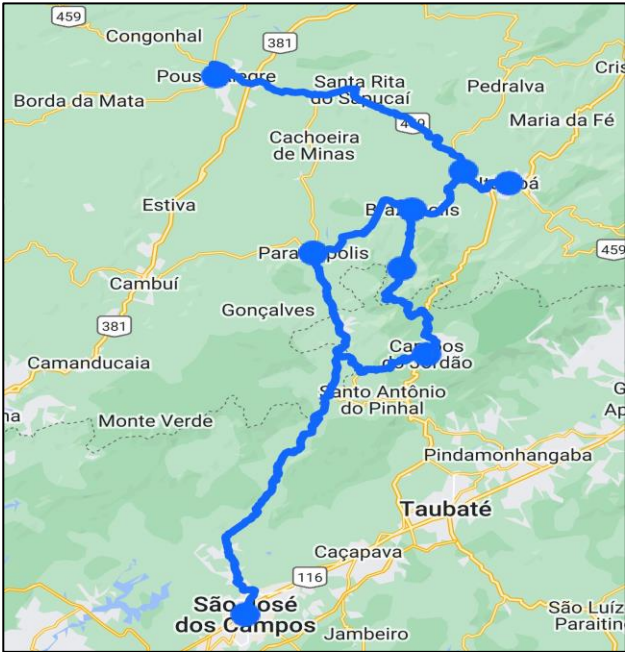
custos, o aumento da velocidade de entrega e a melhoria da satisfação dos clientes.

FIGURA 2 - Representação da rede completa.



FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

FIGURA 3 – Representação da rede real.



FONTE: Elaborada pelos autores (2023).

A formulação do modelo matemático envolve 4 passos, que são apresentados a seguir: variáveis de decisão, função objetivo, restrições e restrições adicionais. A construção do modelo baseia-se em Goldbarg e Luna (2005).

1. Variáveis de decisão: são utilizadas duas variáveis de decisão relacionadas aos arcos percorridos (\mathbf{X}_{ij}) e à quantidade de fluxo de carga enviada do nó i para o nó j (\mathbf{F}_{ij}). As variáveis presentes na matriz \mathbf{X}_{ij} são binárias, assumindo o valor 0 quando o arco não é utilizado e 1 quando o mesmo é utilizado. Inicialmente, na tabela 5, todas as conexões são representadas por zeros, antes da realização da otimização. O objetivo disso é compreender as rotas a serem percorridos, que, então, são representadas por 1.

TABELA 5 – Variável de decisão em \mathbf{X}_{ij}

i/j	DEP	A	B	C	D	E	F	G
DEP	0	0	0	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

TABELA 6 – Variável de decisão em \mathbf{F}_{ij}

i/j	DEP	A	B	C	D	E	F	G
DEP	0	0	0	0	1700	0	1600	0
A	0	0	500	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	100
C	0	0	0	0	0	1000	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	600	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	1500	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

2. Função objetivo: minimizar a distância percorrida em km para atender a demanda de cada cliente. A função objetivo é dada pela

multiplicação das distâncias (\mathbf{Dist}_{ij}) pelas variáveis (\mathbf{X}_{ij}). A função objetivo é apresentada na equação (5.1)

$$\min \sum_{i \in \text{Cidades}} \sum_{j \in \text{Cidades}} \mathbf{Dist}_{ij} \times \mathbf{X}_{ij} \quad (5.1)$$

3. As restrições utilizadas para o modelo são:

a) Restrição 1: a Tabela 5 apresenta as variáveis de decisão dos arcos percorridos (\mathbf{X}_{ij}), que define a quantidade de arcos utilizados para chegar ao cliente i . Caso o arco seja utilizado, ele deve assumir o valor de 1, exceto para $i = 1$, que representa o depósito, tal como dado na equação (5.2).

$$\sum_{j \in \text{Cidades}} \mathbf{X}_{ij} = 1 \quad \forall i \in \text{Cidades} \mid i \neq 1 \quad (5.2)$$

b) Restrição 2: na Tabela 5 que trata das variáveis de decisão dos arcos percorridos (\mathbf{X}_{ij}), determina que a quantidade de arcos que chega ao cliente j deve ser igual a 1, exceto para $i = 1$, que no caso estará relacionado ao depósito, isso é descrito na equação (5.3).

$$\sum_{i \in \text{Cidades}} \mathbf{X}_{ij} = 1 \quad \forall i \in \text{Cidades} \mid j \neq 1 \quad (5.3)$$

c) Restrição 3: a Tabela 6 mostra as variáveis de decisão do fluxo de carga entre os nós (\mathbf{F}_{ij}), que determina o somatório do fluxo que sai do cliente i para o cliente j , subtraído do somatório do fluxo de volta do cliente j para o

cliente i , tem que ser igual a demanda de cada cidade, apresentada na equação (5.4).

$$\sum_{i \in \text{Cidades}} F_{ij} - \sum_{i \in \text{Cidades}} F_{ji} = \text{demanda}_j$$

$$\forall i \in \text{Cidades} \mid j \neq 1$$

(5.4)

d) Restrição 4: na Tabela 5 que apresenta as variáveis de decisão dos arcos percorridos (\mathbf{X}_{ij}), determina que o número de veículos que sai do depósito (linha 1) deve ser igual o número de veículos que retorna (coluna 1), isto é visto na equação (5.5).

$$\sum_{j \in \text{Cidades}} x_{1j} = \sum_{j \in \text{Cidades}} x_{j1}$$

(5.5)

e) Restrição 5: determina que o fluxo de carga em \mathbf{F}_{ij} deve ser menor que a capacidade do veículo. A multiplicação da capacidade do veículo por cada arco \mathbf{X}_{ij} faz com que o \mathbf{F}_{ij} assumam valores limitados à capacidade do veículo, caso o valor naquele arco for 1, que é dada pela equação (5.6).

$$\mathbf{F}_{ij} \leq \text{Capacidade}_V \times \mathbf{X}_{ij}$$

(5.6)

f) Restrição 6: na Tabela 6 das variáveis de decisão do fluxo de carga entre os nós (\mathbf{F}_{ij}), determina que o caminhão volte para o depósito vazio e, conseqüentemente, seja abastecido somente com a demanda necessária, explicitado pela equação (5.7).

$$f_{i1} = 0$$

(5.7)

g) Restrição 7: determina que a variável de decisão \mathbf{X}_{ij} deva ser um número binário, assumindo valores de 0 ou 1, exibida pela equação (5.8)

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in \text{Cidades}, \forall j \in \text{Cidades}$$

(5.8)

h) Restrição 8: determina que a variável de decisão \mathbf{F}_{ij} deve ser um número inteiro, descrita na equação (5.9).

$$f_{ij} \in \mathbb{Z} \quad \forall i \in \text{Cidades}, \forall j \in \text{Cidades}$$

(5.9)

i) As restrições adicionais consideram que as variáveis de decisão são maiores ou iguais a 0, não podendo assumir valores negativos, descrita na equação (5.10).

$$x_{ij}, f_{ij} \geq 0$$

(5.10)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa aplicação do método de pesquisa operacional, buscou-se analisar a utilidade da ferramenta Solver do Excel para auxiliar na tomada de decisão, referente à escolha de rotas que minimizem a distância percorrida na entrega das mercadorias aos clientes em suas respectivas cidades. A pesquisa propõe uma rota otimizada baseada na modelagem matemática, levando em consideração a demanda semanal de mercadorias apresentada no cenário atual da empresa. O critério para análise da melhoria é a comparação entre a distância atual percorrida e a distância obtida pelo Solver. No modelo matemático,

foram consideradas as principais restrições do cenário atual, onde a distribuição física é realizada de um para um, buscando sempre utilizar a capacidade máxima do veículo em cada entrega. A Tabela 7 apresenta uma comparação das distâncias percorridas no cenário atual e as obtidas a partir do modelo de otimização de rota.

TABELA 7 – Comparação entre distâncias percorridas.

	Demanda atendida (kg)	Distância percorrida (km)
Cenário atual	3.300	794
Modelo otimizado	3.300	444
Melhoria (%)	-	55,92

FONTE: Elaborada pelos autores (2023).

A proposta apresenta uma melhoria significativa, reduzindo em 55,92% a distância percorrida para atender à demanda semanal da empresa. Os benefícios dessa melhoria incluem a diminuição de gastos com combustível, facilidade na gestão logística, menor quantidade de viagens e, conseqüentemente, redução no desgaste dos veículos, resultando em uma redução de custos com revisões mecânicas preventivas/corretivas, entre outros ganhos para a empresa.

De acordo com dados da Petrobras (2023), o custo médio unitário do diesel no estado de Minas Gerais é de R\$ 4,91 por litro. A partir dos dados fornecidos pela empresa, estimou-se o consumo de combustível em ambos os cenários para calcular a economia obtida com a otimização da rota de entrega, conforme ilustrado na Tabela 8.

TABELA 8 - Análise de combustível.

	Distância percorrida (km)	Km/l	R\$/l	Gasto (R\$)
Cenário atual	794	8	4,91	487,32
Modelo otimizado	444	8	4,91	272,51
Melhoria (%)	55,92	-	-	55,92

FONTE: Elaborada pelos autores (2023).

A redução de combustível equivale a uma economia de R\$ 214,81 por semana, o que pode resultar em uma economia significativa, se considerado um maior período de tempo, como de R\$ 859,25 por mês ou de aproximadamente R\$ 11.170,25 por ano.

O roteiro de entregas atual é dividido em 7 rotas de distribuição distintas, conforme apresentado nas Tabelas de 9a à 9g.

TABELA 9a – Rota 1 atual

Sequência	Cód.	Cidade
1	DEP	Brazópolis
2	G	Luminosa
3	F	Piranguinho
4	E	Paraisópolis

FONTE: Elaborada pelos autores (2023).

TABELA 9b – Rota 2 atual

Sequência	Cód.	Cidade
1	DEP	Brazópolis
2	D	Itajubá
3	DEP	Brazópolis

FONTE: Elaborada pelos autores (2023).

TABELA 9c – Rota 3 atual.

Sequência	Cód.	Cidade
1	DEP	Brazópolis
2	D	Itajubá
3	E	Paraisópolis
4	DEP	Brazópolis

FONTE: Elaborada pelos autores (2023).

TABELA 9d – Rota 4 atual

Sequência	Cód.	Cidade
1	DEP	Brazópolis
2	A	São José dos Campos
3	DEP	Brazópolis

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

TABELA 9e – Rota 5 atual

Sequência	Cód.	Cidade
1	DEP	Brazópolis
2	B	Campos do Jordão
3	A	São José dos Campos
4	DEP	Brazópolis

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

TABELA 9f – Rota 6 atual

Sequência	Cód.	Cidade
1	DEP	Brazópolis
2	F	Piranguinho
3	C	Pouso Alegre
4	E	Paraisópolis
5	DEP	Brazópolis

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

TABELA 9g – Rota 7 atual

Sequência	Cód.	Cidade
1	DEP	Brazópolis
2	D	Itajubá
3	A	São José dos Campos
4	DEP	Brazópolis

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

As Tabelas 10a e 10b apresentam as rotas obtidas por meio da otimização, evidenciando a

priorização da distribuição física com a menor distância percorrida.

TABELA 10a – Rota otimizada (I)

Sequência	Cód.	Cidade
1	DEP	Brazópolis
2	D	Itajubá
3	DEP	Brazópolis

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

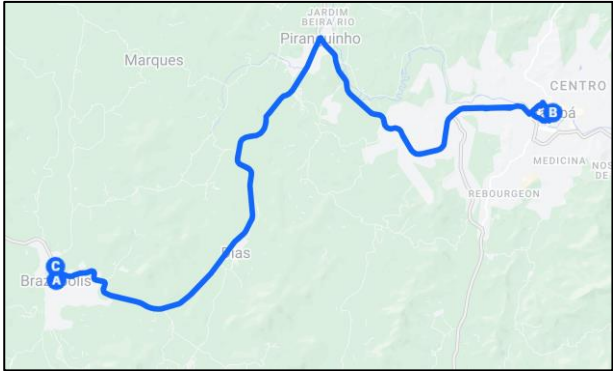
TABELA 10b – Rota otimizada (II)

Sequência	Cód.	Cidade
1	DEP	Brazópolis
2	F	Piranguinho
3	C	Pouso Alegre
4	E	Paraisópolis
5	A	São José dos Campos
6	B	Campos do Jordão
7	G	Luminosa
8	DEP	Brazópolis

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

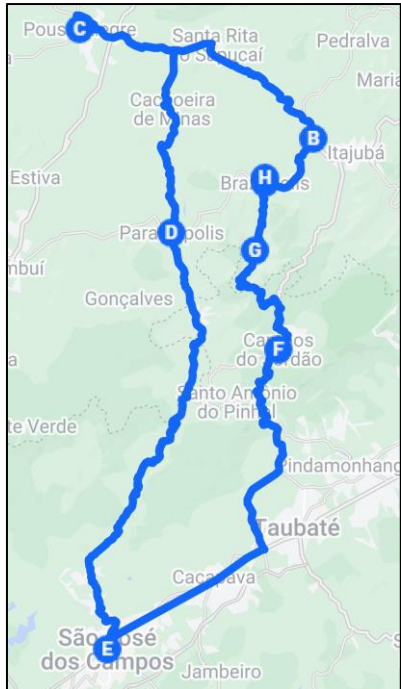
Através do ajuste dos parâmetros de entrada, o responsável pela logística de entrega da empresa pode simular diferentes cenários e se preparar estrategicamente para o futuro, prevendo situações que possam exigir ações como as de investir na compra de mais veículos em caso de um grande aumento na demanda. Isso permite um planejamento proativo e uma tomada de decisão mais assertiva, garantindo que as operações logísticas possam se adaptar de forma eficiente às circunstâncias em constante mudança. As Figuras 4a e 4b representam a rede com as rotas otimizadas, enfatizando que as letras exibidas não representam o código, mas sim a sequência da rota a ser seguida.

FIGURA 4a – Representação da rota otimizada (I)



FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

FIGURA 4b – Representação da rota otimizada (II).



FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

Assim, o desenvolvimento do modelo matemático de otimização aplicado no Microsoft Office Excel® proporciona uma ferramenta que oferece embasamento científico para a tomada de decisão. Utilizou-se ainda a ferramenta do Solver para um cenário de aumento de demanda por parte das cidades clientes. Os resultados são apresentados na Tabela 11, onde a primeira coluna apresenta a proposta do modelo, a segunda coluna apresenta a proposta com a

possível maior demanda e a terceira coluna apresenta o percentual de aumento.

TABELA 11 – Cenário de aumento de demanda

	Demanda atendida (kg)	Distância percorrida (km)	Gasto com combustível (R\$)
Modelo	3.300	444	272,51
Maior demanda	4.400	476	292,15
Aumento (%)	33,33	7,21	7,21

FONTE: Elaborada pelos autores (2023)

Observa-se que, mesmo com o aumento de 33,00% na demanda semanal, a distância percorrida para a entrega da mercadoria aumentaria de apenas 7,21%, o que corresponde a um aumento no gasto com combustível de aproximadamente R\$ 19,64 por semana para resultados econômicos muito mais promissores. Esses resultados comprovam os benefícios da aplicação do conhecimento científico nas tomadas de decisões cotidianas de uma empresa.

CONCLUSÃO

A aplicação do Problema de Roteirização de Veículos na empresa em estudo permitiu atender às demandas semanais de entrega dos produtos, levando em consideração todas as restrições do modelo. Foi possível determinar a melhor rota para a entrega nas 7 cidades clientes, tendo o depósito como ponto de partida e chegada para cada rota. Por meio dessa rota otimizada, obtém-se uma redução de 55,92% na distância percorrida e uma economia de combustível de mesma ordem, o que significaria uma redução nas despesas de combustível de aproximadamente R\$ 214,81.

A partir da aplicação do modelo matemático, fica evidente a importância da ferramenta desenvolvida em uma planilha do Microsoft Office Excel®, que por meio do Solver oferece soluções de rotas otimizadas, possibilitando a tomada de decisão embasada cientificamente e deixando de lado opiniões e intuições.

A proposta desse artigo é, portanto, apresentar a pesquisa que aplicou o Solver do Microsoft Office Excel® como ferramenta de suporte à tomada de decisão para otimizar os resultados logísticos da empresa cafeeira e estimular pesquisas futuras que envolvam o Problema de Roteamento de Veículos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. L. DE. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisões**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2015.
- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: logística Empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. 10. reimpr. São Paulo: Atlas, 2011.
- CHING, H. Y. **Gestão de estoques na cadeia logística integrada**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2001. 194p.
- CUNHA, Claudio Barbieri. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. **Transportes**, v. 8, n. 2, 2000.
- FONSECA, J. J. S. DA; MORAES, A. M. DA. **Metodologia da Pesquisa Científica**. Sobral, 2017 cap. 1, p. 20-29
- GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisas. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. Elsevier, 2005.
- HARRISON, A.; HOEK, R. V. **Estratégia e gerenciamento de logística**. São Paulo: Futura, 2003.
- HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. J. **Introdução a Pesquisa Operacional**. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- _____. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9.ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- JÜNGER, Michael; REINELT, Gerhard; RINALDI, Giovanni. The traveling salesman problem. **Handbooks in operations research and management science**, v. 7, p. 225-330, 1995.
- KARP, Richard M. On the computational complexity of combinatorial problems. **Networks**, v. 5, n. 1, p. 45-68, 1975.
- MERZ, P. **Memetic algorithms for combinatorial optimization problems: Fitness landscapes and effective search strategies**, 2000.50 p. Ph.D. Theses, Parallel Systems Research Group. Department of Electrical Engineering and Computer Science. University of Siegen.
- MOREIRA, D. A. **Pesquisa operacional: curso Introdotório**. 2. ed. rev. e atualiz. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- PETROBRÁS. Como são formados os preços da gasolina. Disponível em: <https://precos.petrobras.com.br/sele%C3%A7%C3%A3o-de-estados-gasolina>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo/RS: Fee vale, 2013.