

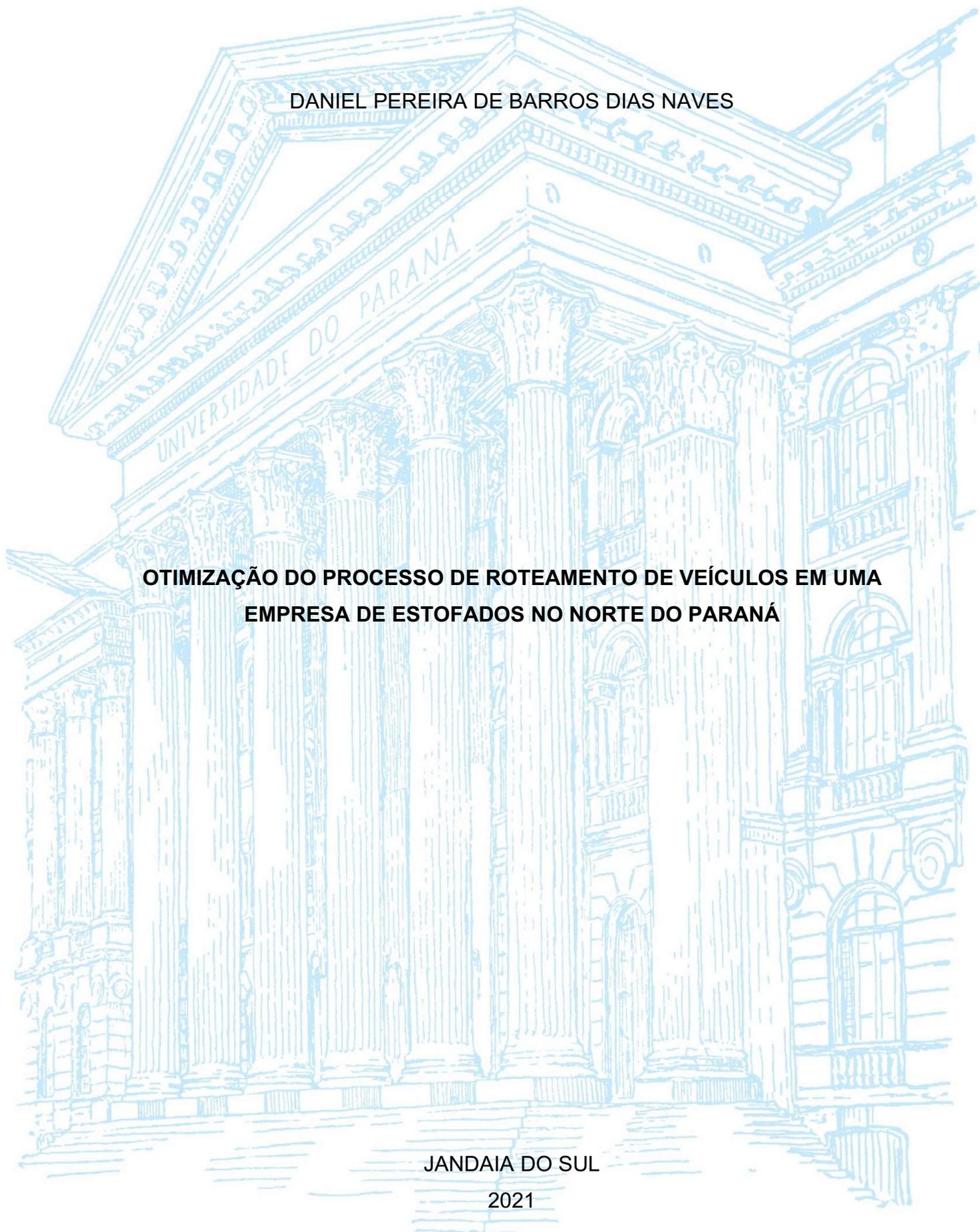
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL PEREIRA DE BARROS DIAS NAVES

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS EM UMA
EMPRESA DE ESTOFADOS NO NORTE DO PARANÁ**

JANDAIA DO SUL

2021



DANIEL PEREIRA DE BARROS DIAS NAVES

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS EM UMA
EMPRESA DE ESTOFADOS NO NORTE DO PARANÁ**

Monografia apresentada como requisito à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia, no Curso de Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Reis dos Santos

JANDAIA DO SUL

2021

Naves, Daniel Pereira de Barros Dias
N323o Otimização do processo de roteamento de veículos em uma empresa de estofados no norte do Paraná. / Daniel Pereira de Barros Dias Naves. – Jandaia do Sul, 2021.
56 f.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Reis dos Santos
Trabalho de Conclusão do Curso (graduação) – Universidade Federal do Paraná. Campus Jandaia do Sul. Graduação em Engenharia de Produção.

1. Logística empresarial. 2. Armazenamento e transporte de cargas. 3, Análise de valor (controle de custo) I. Oliveira, André Luiz Gazoli de. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD: 658.78



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 50/2021/UFPR/R/JA
PROCESSO Nº 23075.079917/2019-87
INTERESSADO: @INTERESSADOS_VIRGULA_ESPACO@

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

Título: OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS EM UMA EMPRESA DE ESTOFADOS NO NORTE DO PARANÁ

Autor(a): DANIEL PEREIRA DE BARROS DIAS NAVES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau no curso de Engenharia de Produção, aprovado pela seguinte banca examinadora.

Marco Aurélio Reis Dos Santos (Orientador)

Juliana Verga Shirabayashi

Landir Saviniec



Documento assinado eletronicamente por **MARCO AURELIO REIS DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/12/2021, às 14:53, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **LANDIR SAVINIEC, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/12/2021, às 15:05, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA VERGA SHIRABAYASHI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/12/2021, às 16:03, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4150191** e o código CRC **369F07D6**.

Dedico este trabalho à minha
família, em especial meu pai Daniel,
minha mãe Claudia e meus irmãos
Isabella, Giovanna e Arthur.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família por todo apoio, carinho e ensinamentos ao longo de toda minha vida. Aos meus amigos e colegas que eu conheci ao longo da minha graduação, principalmente aos companheiros Guilherme Lima e Dandara Almeida. Nesse tempo conheci pessoas que me proporcionaram experiências incríveis que levarei por toda minha vida.

Agradeço a todos os professores que me ajudaram a adquirir tanto conhecimento ao longo da graduação, tanto na esfera acadêmico quanto profissional, e em especial ao meu orientador Marco Aurélio.

Por fim, agradeço a empresa e aos gestores, que me proporcionaram o espaço para realizar a minha pesquisa.

“Tudo é considerado impossível, até
acontecer.”

(NELSON MANDELLA)

RESUMO

A Logística é uma área que oferece aos gestores a oportunidade de realizar tomadas de decisões eficientes, pois com ela existem ferramentas que podem auxiliar na execução de atividades que geram melhorias para uma empresa. Junto com a Logística, a Pesquisa Operacional, ramo interdisciplinar da matemática aplicada que faz uso de modelos matemáticos, estatísticos e de algoritmos na ajuda à tomada de decisão, que proporciona aplicação de métodos para realizar cálculos que geram redução de custos. Ao decorrer dos anos é visto um aumento na busca de estudos que buscam soluções para problemas de otimização, voltados a problemas de rotas, no qual buscam o caminho mais curto. A partir disto, este trabalho tem como objetivo a resolução do problema de rotas em uma empresa de estofados de médio porte localizada no norte do Paraná, possuindo 100 colaboradores, uma frota de 6 caminhões sendo eles com capacidades de 50 à 60 peças, de acordo com o tipo de peças, como puff, sofá-cama, sofá e poltronas, divididas em 15 setores, a fim de comparar a política adotada pela empresa na construção de trajetos de entrega dos produtos, além de apresentar a necessidade do cumprimento dos prazos de entrega de acordo com a jornada de trabalho. Uma análise de três estudos no qual os dados foram fornecidos pela empresa, trouxe a possibilidade de realizar a comparação entre resultados com empíricos obtidos por meio de entrevistas aos motoristas e resultados com a aplicação de métodos exatos, resolvendo o Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo. Por meio do Solver do LibreOffice Calc, as soluções encontradas mostram a aplicação da literatura em uma empresa real, e sobretudo a eficácia da utilização de técnicas de Pesquisa Operacional.

Palavras-chave: 1. Otimização. 2. Rotas. 3. Problema de Roteamento de Veículos. 4 Empresa de estofados

ABSTRACT

Logistics is an area that offers managers the opportunity to make efficient decisions, as with it there are tools that can assist in the execution of activities that generate improvements for a company. Together with Logistics, Operations Research, an interdisciplinary branch of applied mathematics that makes use of mathematical, statistical, and algorithmic models to aid in decision making, provides the application of methods to perform calculations that generate cost reduction. Over the years it has been seen an increase in the search for studies that seek solutions to optimization problems, focused on routing problems, in which the shortest path is sought. Based on this, this work aims to solve the route problem in a medium-sized upholstered furniture company located in northern Paraná, with 100 employees, a fleet of 6 trucks with capacities of 50 to 60 pieces, according to the type of pieces, such as puff, sofa bed, sofa and armchairs, divided into 15 sectors, in order to compare the policy adopted by the company in the construction of routes for product delivery, in addition to presenting the need to meet delivery deadlines according to the work day. An analysis of three studies in which the data was provided by the company, brought the possibility of performing a comparison between empirical results obtained through interviews with drivers and results with the application of exact methods, solving the Vehicle Routing Problem with a Time Window. Through the LibreOffice Calc Solver, the solutions found show the application of the literature in a real company, and especially the effectiveness of using Operations Research techniques.

Keywords: 1. optimization. 2. routes. 3. vehicle routing problem. 4 Upholstered furniture company.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – LOGÍSTICA.....	20
FIGURA 2 – EXEMPLO DE CADEIA.	22
FIGURA 3 – EXEMPLO DE CIRCUITO – CAMINHO FECHADO.	23
FIGURA 4 – GRAFO ORIENTADO.....	23
FIGURA 5 – GRAFO NÃO-ORIENTADO.....	24
FIGURA 6 – <i>Branch-and-Bound</i>	33
FIGURA 7 – FLUXOGRAMA DA DESCRIÇÃO GERAL DO ALGORITMO SIMPLEX.	34
FIGURA 8 – ETAPAS PARA CONCLUIR O OBJETIVO.....	36
FIGURA 9– ROMANEIO A CARREGAR.....	38
FIGURA 11 – LOGO DO LIBREOFFICE.....	40
FIGURA 12 – DADOS ROMANEIO 1.....	42
FIGURA 13 – MAPA DO ROMANEIO 1.....	42
FIGURA 14 – MATRIZ DE TEMPOS DO ROMANEIO 1.....	43
FIGURA 15 – RESULTADOS ROMANEIO 1.	43
FIGURA 16 – MAPAS DAS ROTAS GERADAS DO ROMANEIO 1.	44
FIGURA 17 – DADOS ROMANEIO 2.....	45
FIGURA 18 – MAPA DO ROMANEIO 2.....	45
FIGURA 19 – MATRIZ DE TEMPOS DO ROMANEIO 2.....	45
FIGURA 20 – RESULTADOS ROMANEIO 2.	46
FIGURA 21 – MAPAS DAS ROTAS GERADAS DO ROMANEIO 2.	47
FIGURA 22 – DADOS ROMANEIO 3.....	47
FIGURA 25 – RESULTADOS ROMANEIO 3.	49
FIGURA 26 – MAPAS DAS ROTAS 1 E 2 GERADAS DO ROMANEIO 3.	50
FIGURA 27 – MAPAS DAS ROTAS 3 E 4 GERADAS DO ROMANEIO 3.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- PRV - Problema de Roteamento de Veículos
- PCV - Problema do Caixeiro Viajante
- PCVJT - Problema do Caixeiro Viajante com Janela de Tempo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	13
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
1.4	JUSTIFICATIVA	16
1.5	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	LOGÍSTICA	19
2.2	TRANSPORTE RODOVIÁRIO	20
2.3	TEORIA DOS GRAFOS	21
2.4	PROBLEMA DE ROTAS	24
2.4.1	ROTEIRIZAÇÃO	24
2.4.2	PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE (PCV)	25
2.4.3	PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM JANELA DE TEMPO (PCVJT)	28
2.4.4	PROBLEMA DO ROTEAMENTO DE VEÍCULOS (PRV)	30
2.5	MÉTODOS EXATOS	32
2.5.1	BRANCH-and-BOUND	32
2.5.2	MÉTODO SIMPLEX	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1	ENQUADRAMENTO DA PESQUISA	35
3.2	DESCRIÇÃO DO CASO	37
3.3	FERRAMENTA DE COLETA DE DADOS	39
3.4	FERRAMENTA DE ANÁLISE DE DADOS	39
3.4.1	LIBREOFFICE	39
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	41
4.1	ROMANEIO 1	41
4.2	ROMANEIO 2	44
4.3	ROMANEIO 3	47

4.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Atualmente, devido ao fácil acesso a novas tecnologias, os consumidores esperam ter à disposição produtos e serviços que atendam suas necessidades sem precisar ir ao local da oferta. Porém, situações que dificultam a entrega comprometem a disponibilização de produtos e serviços aos clientes conforme parâmetros operacionais considerados satisfatórios pelo mercado, tais como atendimento do prazo, entrega do produto em boas condições de uso e com menor custo possível.

Para solucionar o problema supracitado no parágrafo anterior, estudos aplicados à Gestão de Suprimentos e distribuição, buscam conhecimento, sobretudo em métodos que auxiliem na definição de estratégias para as atividades de transporte.

A partir da necessidade de ter estudos voltados a Gestão de Suprimentos e distribuição, em meados do século XX, o termo “Logística” foi criado por militares, que buscavam o abastecimento de exércitos deslocados. A Logística pode ser denominada como uma atividade que procura um equilíbrio entre outras atividades empresariais, como atividade de marketing, produção e financeira, que podem ser atividades conflituosas, porém com objetivo único de maximizar lucros. Além de ser definida como um setor que possui a função que se atenta com o gerenciamento do fluxo físico do suprimento de matérias primas, bem como a distribuição de serviços e produtos, sejam eles semiacabados ou acabados.

Para Martinelli (2011), as atividades logísticas nas organizações possuem como principal objetivo promover três benefícios importantes:

- Melhoria dos serviços prestados ao consumidor final e aos usuários responsáveis pelo setor;
- Redução de custos de entrega e de compras, a aquisição de fornecedores e a busca por minimização de trajeto de entrega;
- Redução de investimentos da empresa, como em transportes de materiais.

No Brasil, o conceito de Logística aplicado nas empresas ainda é recente, possui influência do crescimento do comércio internacional e da estabilização econômica. Para Fleury (1997), o crescimento do comércio internacional,

proporcionou o aumento da demanda por Logística internacional, área onde um país em crescimento não se preparou para atender adequadamente, tanto em termos burocráticos quanto de capacidade e práticas empresariais.

O elemento de alta importância do custo logístico em grande parte das empresas independente, do porte é o transporte, possuindo função primordial na prestação do serviço ao consumidor. Relacionado a custos, Fleury (1997) conclui que entre as despesas de uma empresa, o transporte pode representar cerca de 60% das despesas dentro do setor de Logística. A partir de tais informações, surgem a integração de vários modais de transporte e responsáveis por operações logísticas, com o objetivo de redução de custos de transporte.

O transporte possui meios diferentes de exercer sua função, através de modais, denominados modais de transporte. Os cinco principais modais brasileiros são: rodoviário, ferroviário, aéreo, marítimo e fluvial, desta forma, as cargas podem ser conduzidas de acordo com seus atributos e prioridades MARTINELLI (2011).

Com a diversidade dos modais, o transporte rodoviário é considerado o principal modo de locomoção de cargas no Brasil, sendo o setor de transportes com elevado custo para transitar nas rodovias, muitas vezes em condições em estados precários. Segundo a Confederação Nacional de Transportes (2015), o tráfego em vias em condições precárias tende a aumentar os custos de consumo de combustíveis, chegando a 60%, os custos operacionais tendem a aumentar em até 40%; além do percentual riscos de acidentes e o tempo utilizado com a viagem, podendo aumentar até 100% do que em rodovias em situações adequadas ao tráfego.

Com a percepção de aumento de custos de transporte, cresceu a busca por estratégias de redução de custos, na qual atraiu a atenção dos executivos e empresários para a relevância da atividade Logística, aumentando o estudo de teorias relacionados a redução de custos de transporte e a Problemas de Roteamento de Veículos (PRV), com o objetivo de minimizar a distância do trajeto, os custos com combustível e o tempo de chegada ao cliente.

Dentro deste contexto, o Problema de Roteamento de Veículos (PRV) se torna fundamental. Os conteúdos teóricos de PRV disponíveis na literatura, que abordam métodos e técnicas analíticas avançadas, quando adequados a realidade de uma empresa, podem auxiliar os gestores desta a selecionarem as melhores rotas conforme os critérios operacionais adequados.

A partir do Problema de Roteamento de Veículos (PRV), matemáticos buscaram soluções simples para problemas relacionados a cálculo de rotas, com o objetivo de obter o menor trajeto e o menor custo. A resolução do Problema de Roteamento de Veículos (PRV) é uma forma de modelagem matemática de Pesquisa Operacional simples, utilizando sua função objetivo para minimização de custos e distância de transporte.

Dentre as técnicas de solução do Problema de Roteamento de Veículos, encontra-se os modelos de Programação Matemática e os métodos exatos. O principal objetivo de modelos de programação voltadas a problemas de transportes, é a busca pela construção de roteamentos, visando o menor tempo de resolução.

Os métodos exatos são métodos que possam ser utilizados por programas como Excel e LibreOffice, tem como objetivo buscar uma solução ótima, que gera uma certeza maior na aplicação do método e na confiabilidade da solução encontrada.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Na busca de técnicas que solucionam problemas de roteamento, há uma grande quantidade de estudos que abordam e mencionam soluções para o Problema de Roteamento de Veículos (PRV), um dos problemas clássicos presentes na literatura da Logística.

Ramos (2001), afirma que o Problema de Roteamento de Veículos é denominado como um representante de um conjunto de problemas de Otimização Combinatória, possuindo grande importância, que pela sua simplicidade na formulação e dificuldade de busca de resolução, atrai a atenção de cientistas.

O objetivo do PRV é a realizar um caminho constituído por um conjunto de cidades, onde se inicia em uma cidade origem, passando pelo conjunto de cidades, sem repetição e sem gerar ciclos dentro do conjunto, e finalizando o caminho na cidade origem, respeitando a capacidade e a demanda do cliente.

É fundamental para o trabalho propor uma solução para os problemas de rotas enfrentados por uma empresa de estofados do Norte do Paraná, que atualmente utiliza métodos empíricos para criação de rotas de entregas do produto. A solução do Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo, por sua vez, tem como

função ser aplicado na empresa para que sirva como comparativo entre a política atual abordada pelos responsáveis de criação de rota e a utilização de cálculos por meios de métodos exatos. Com a problemática descrita e visando a importância na aplicação de métodos de otimização de rotas, questiona-se: A solução encontrada pelo Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo é a melhor solução em comparação com a política de criação de rotas utilizada atualmente pela empresa?

1.3 OBJETIVOS

Esta seção tem apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos, a fim de relatar pontos importantes para pesquisa.

1.3.1 Objetivo Geral

Dada a contextualização do problema na seção anterior, este trabalho visa otimizar o problema de roteamento de veículos em uma empresa de estofados no Norte do Paraná.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Selecionar o método e o modelo matemático mais adequado.
- b) Comparar a política atual de construção de rotas com resultados obtidos por métodos exatos.
- c) Obter uma solução otimizada para o problema de roteamento
- d) Validar as soluções encontradas através de testes computacionais, utilizando o solver a partir dos dados obtidos na empresa.

1.4 JUSTIFICATIVA

Solucionar o Problema de Roteamento de Veículos inclui uma busca em um ambiente que possui um crescimento fatorial conforme cresce o número de nós.

Uma das principais motivações para a realização deste trabalho, é a relevância acadêmica, pois por meio deste consegue-se um ganho de conhecimento notável em

Logística e Pesquisa Operacional, áreas interligadas, que possuem grande quantidade de estudos.

Segundo Toth; Vigo (2014), há grandes economias no uso de mecanismos computacionais no momento de realizar o planejamento para executar a distribuição de veículos, podendo reduzir entre 5% a 20% das despesas totais do produto final.

Além de prezar pela redução de custos logísticos, outra justificativa para estudar o cálculo de rotas, com o objetivo de minimizar a distância percorrida, é o fator ambiental. O fator ambiental, é de grande importância, pois com a minimização do caminho percorrido pelos caminhões, há também a redução de emissão de fluídos poluentes nas rodovias, redução da poluição sonora e redução de recursos naturais, além de poder aumentar a vida útil dos caminhões e demais recursos.

Com base na busca de literatura com o tema de problemas de roteamento, observa-se ser um problema comum enfrentado por muitas empresas, no qual possuem grandes custos com transportes e poucos responsáveis para realizar melhorias em tal área. Tendo em vista alguns pontos importantes mencionados acima, o trabalho pretende ressaltar a importância da aplicação de métodos científicos em problemas de cunho prático.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, conforme descrito a seguir:

Capítulo 1: apresenta a contextualização seguida da problemática de pesquisa, justificativa e objetivos.

Capítulo 2: expõem o referencial teórico, trazendo conceitos referentes à definição de internacionalização por meio de compras e seus níveis, motivações para buscar fornecimento internacional, a análise dos tipos de itens buscados no estrangeiro, a investigação sobre a decisão de iniciar as atividades internacionais, a verificação sobre os locais de busca para internacionalização e finaliza com a síntese teórica assim como a definição das proposições de pesquisa.

Capítulo 3: revelam os procedimentos metodológicos, iniciando com o enquadramento metodológico da pesquisa, seguido pelas definições da população de análise e sua respectiva amostra de pesquisa, especificação dos métodos de coleta e

análise dos dados e, por fim, os passos a serem percorridos para alcançar os objetivos propostos.

Capítulo 4: apresenta os resultados obtidos e suas análises.

Capítulo 5: traz um resumo dos principais resultados encontrados seguido pelas limitações desta pesquisa assim como a sugestão de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo refere-se de forma direta e exemplificada os métodos estudados e os conceitos que servem para buscar soluções dos problemas abordados, nos quais possuem um referencial teórico com base na literatura e na pesquisa.

2.1 LOGÍSTICA

A definição de logística pode ser considerada como a prática de realizar de forma eficiente, o planejamento, programação e controle do fluxo e armazenamento de produtos, também como serviços e informações, desde o ponto de origem ao consumidor final (OLIVEIRA ET AL. (2006)).

Segundo Ballou (2006), a Logística possui um processo evolutivo que pode ser melhor entendido, ao ser analisado de forma sequencial.

Há muito tempo, as funções logísticas são praticadas pelo ser humano tanto de forma rudimentar, através do uso animal, por meio de rodas, passando por ferramentas de apoio, mecânico, chegando na utilização automatizada, com a finalidade de armazenar, transportar e distribuir suprimentos, como alimentos e instrumentos de caça (LENTZ ET AL. (2019)).

Dalongaro; Baggio (2020), afirmam que o surgimento da Logística é na idade Antiga, através da estruturação das muralhas, pirâmides, contudo há dúvidas sobre a realização de tais feitos, como o não entendimento da forma que as pessoas realizavam o caminho até o local da construção.

A Logística obteve maior atenção durante a segunda Guerra Mundial, em meados dos anos 50, junto ao crescimento do processo de industrialização global (KELLY ET AL. (2019)). Durante a Segunda Guerra Mundial, militares vivenciaram a necessidade de ter o desenvolvimento voltado para o planejamento das batalhas, mas, após o início de 1990, estudos sobre a Logística foi destaque nas empresas no qual os negócios aumentaram (DALONGARO; BAGGIO (2020)).

Ballou (2006), relata que a Logística possui grande importância nos estudos de Cadeia de Suprimentos em uma organização, podendo acrescentar valor para os clientes e para os fornecedores.

Para Araújo (2019), a definição de Logística é conjunto de processos e etapas que são realizadas junto a Cadeia de Suprimentos, visando o planejamento, controle e estruturação do fluxo de armazenamento e serviços.

Oliveira et al. (2006), consideram que a Logística é o setor responsável pela expedição de produtos ou setor com a função de realizar contratações de serviços de transportadoras.

A Figura 1, traz de forma ilustrativa o sequenciamento da atividade da logística, sendo um ciclo entre o produto e transporte de entrega.

FIGURA 1 – LOGÍSTICA.



FONTE: Mercado e Consumo (2017).

2.2 TRANSPORTE RODOVIÁRIO

Deimiling et al. (2016), afirmam que o transporte é considerado um processo de locomoção tanto de cargas quanto de pessoas, existente desde o início da humanidade, com o objetivo de ser o meio de ligação entre fornecedores e consumidores, visando o menor custo e/ou o menor tempo.

Segundo informações presentes no Portal Educação e Mundo Educação (2019), o modal com maior taxa de poluição e gerando custos altos é o modal rodoviário, sendo o único que possui a capacidade de executar atividades operacionais porta-a-porta.

A partir do crescimento do processo industrial em meados do século XX, recursos políticos foram concentrados no modal rodoviário, gerando redução de investimentos para o modal ferroviário, especificamente no setor industrial e na extração de minerais (SANTOS; MEDEIROS (2019)).

O modal que possui grande importância na matriz de diversos países, é o modal rodoviário, devido ao desenvolvimento contínuo na área científica e tecnológica oferecido por países industrializados no começo do século XX, com a finalidade de favorecer o desenvolvimento de rodovias, em conjunto com o setor industrial automobilístico (CALABREZI (2005)).

De acordo com dados da Confederação Nacional de Transporte (2013), entre os modais utilizados no Brasil, o modal rodoviário possui o percentual de 61,1% de participação das cargas.

Barreto; Ribeiro (2012), possuem a visão de que o transporte rodoviário, não possui restrição em relação a trajetos fixos, possuindo capacidade de percorrer um caminho por qualquer destino, apresentando uma flexibilidade única, assim podendo proporcionar vantagem perante os demais modais.

Segundo a Confederação Nacional de Transporte (2017), em conjunto com a base de dados fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2014), o modal rodoviário possui 55,2% da participação no PIB de transporte no ano de 2014, tendo grande contribuição na geração de recursos para o Brasil.

2.3 TEORIA DOS GRAFOS

Segundo Contiero et al. (2019), a Teoria dos Grafos aborda uma área da matemática que possui como foco os estudos das relações entre determinados objetos. Por meio de estudos sobre a Teoria dos Grafos, é visto que se pode aplicar tal teoria em diversos problemas, como por exemplo, gerenciamento de fronteiras de regiões em mapas, estabelecimento de comunicação entre torres de rádios, cálculo de caminho mais curto para realizar diversas entregas, dentre vários outros exemplos.

Para Possani (2011), um grafo denominado J formado por um par $(I(J), B(J))$ é um conjunto não vazio finito e $B(I)$ uma família composta por pares que não são

ordenados, nos quais seus elementos não são distintos, de $I (J)$. Considera-se família um grupo de elementos que podem se repetir.

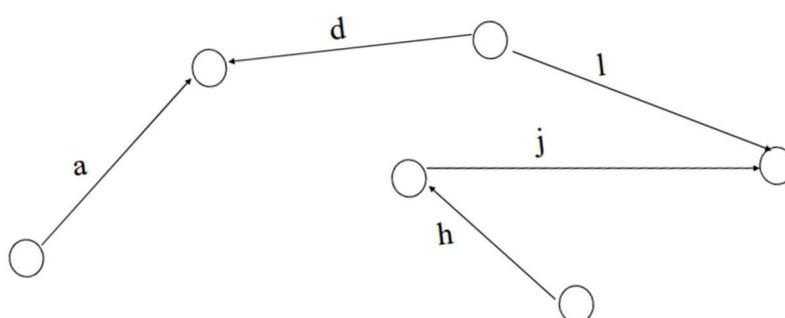
Arenales et al. (2007), definem como N um conjunto finito, nos quais seus elementos são denominados como *nós*, podendo também ser *vértices*, e E um conjunto de pares de nós, possuindo elementos denominados *arestas*, sendo eles (i, j) . O par $G = (N, E)$ chama-se grafo.

O grafo $G = (N, E)$ possui representação gráfica, onde cada nó i é apresentado por um círculo com o rótulo i , e (i, j) uma aresta, por uma linha conectando os dois círculos rotulados de i e j .

Machado (2018), considera o trajeto de um nó ia a um nó in em um seguimento de arcos $C = \{(ia, ib), (ib, ic), (ic, id), \dots, (in - 1, in)\}$, no qual seu nó inicial e seu nó final do arco antecedente da sequência de nós, sendo eles distintos. Assim, todos os arcos possuem o trajeto direcionado do nó ia ao nó in .

Na Teoria dos Grafos, cadeia, representada na figura 2, é definida como uma estrutura similar à de um caminho, excetuando os arcos que não precisam possuir coerência na orientação, ou seja, considera-se uma cadeia um sequenciamento de arcos de forma que cada arco possui um nó em comum com o arco anterior na sequência (ARENALES ET AL. (2007)).

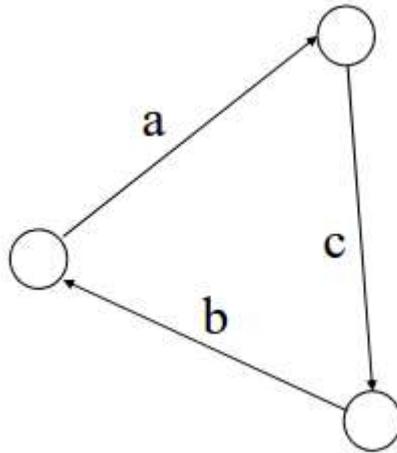
FIGURA 2 – EXEMPLO DE CADEIA.



FONTE: Teoria dos Grafos e Otimização em Redes (2017).

Um circuito, representado na figura 3, é considerado um caminho fechado, pois possui a trajetória do nó inicial ao nó final, no qual o nó final é igual ao nó inicial, também chamado de cadeia fechada. O comprimento do circuito é o número de arestas que o circuito possui, podendo haver repetições (POSSANI (2011)).

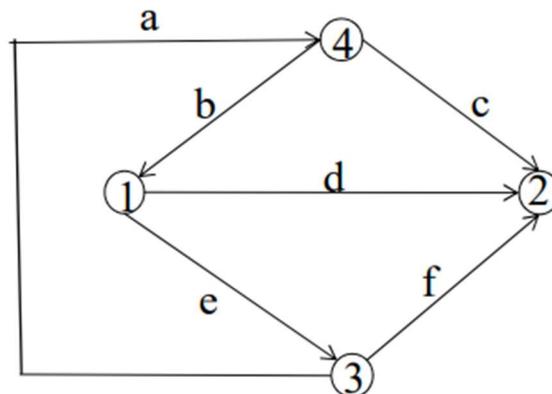
FIGURA 3 – EXEMPLO DE CIRCUITO – CAMINHO FECHADO.



FONTE: Teoria dos Grafos e Otimização em Redes (2017).

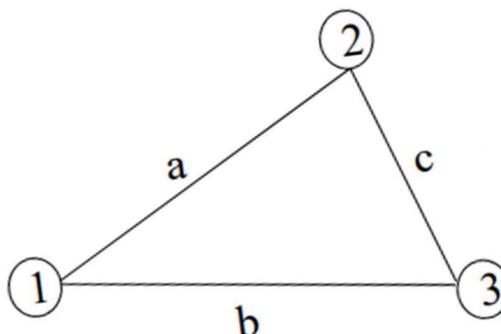
Machado (2018), define que um grafo finito sendo orientado ou não orientado, onde estão apresentadas nas figuras 4 e 5, possui representação computacional, com os valores dos elementos na linha i e na coluna j é possível conseguir o número de arestas do i -ésimo ao j -ésimo vértices.

FIGURA 4 – GRAFO ORIENTADO.



FONTE: Teoria dos Grafos e Otimização em Redes (2017).

FIGURA 5 – GRAFO NÃO-ORIENTADO.



FONTE: Teoria dos Grafos e Otimização em Redes (2017).

2.4 PROBLEMA DE ROTAS

O problema de rotas é considerado um tema muito importante no cenário logístico, dando origem a problemas, como o Problema do Caixeiro Viajante – PCV, o Problema do Caixeiro Viajante com Janela de Tempo e o Problema de Roteamento de Veículos. A partir destes três problemas citados foi realizada uma breve revisão bibliográfica nas Subseções 2.4.2, 2.4.3 e 2.4.4, junto ao conceito de roteirização revisado na Subseção 2.4.1.

2.4.1 ROTEIRIZAÇÃO

Nakashima; Fenerich (2017), afirmam que há um crescimento na demanda pela utilização de modelos de roteirização nos últimos anos, sendo um tema de grande sucesso na área de Pesquisa Operacional.

O termo roteirização de veículos é utilizado como uma forma de direcionar o processo de determinação de um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem realizadas por um ou mais veículos de uma frota, com objetivo de percorrer um conjunto de pontos em um trajeto pré-determinado (CUNHA (2000)).

Para Nakashima; Fenerich (2017), o processo de roteirização possui como finalidade, buscar e estudar melhores rotas para um transporte que está incluso em uma rede, com o objetivo de minimizar as distâncias entre a empresa e o cliente, e minimizar o tempo percorrido no trajeto.

A roteirização segundo Valeretto et al. (2017), é definida como um processo logístico que possui a finalidade de realizar melhorias no percurso de um veículo, minimizando o tempo e a distância utilizada.

Valeretto et al. (2017) também conceituam a roteirização como o processo de definição de roteiros, no qual a decisão de determinar o melhor caminho é matematicamente exata, onde a metodologia consiste em avaliar o trajeto e analisar a frota. Enfatiza-se que a roteirização de veículos consiste em ser uma ferramenta que auxilia as tomadas de decisões na busca de soluções da distribuição de carga.

De acordo com Cunha (2000), o Problema do Caixeiro Viajante foi o primeiro problema de roteirização a ser estudado, que possui como objetivo buscar a melhor solução de roteiro ou trajeto de cidades, assegurando que cada cidade seja visitada uma vez.

Segundo Machado (2018), muitas vezes problemas de roteirização de veículos podem ser definidos como problemas de múltiplos caixeiros viajantes, possuindo restrições como capacidade.

2.4.2 PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE (PCV)

O termo “Problema do Caixeiro Viajante” é citado pela primeira vez, no livro *“The Traveling Salesman, how he should be and what he should do to get Comissions and to be Successful in his Busines. By a veteran Traveling Salesman”*, de origem alemã, o livre foi publicado em 1832. Acredita-se que o termo “Problema do Caixeiro Viajante” foi utilizado entre 1931 e 1932 pelo matemático Merrill Flood, porém a partir do trabalho realizado pelos matemáticos Dantizg, Fulkerson e Johnson, o termo foi definido em revistas científicas, (RAMOS (2001)).

Para Carvalho (2007), o Problema do Caixeiro Viajante, é um clássico da Otimização Combinatória, no qual possui vários estudos em diferentes áreas, devido ao fato de possuir aplicações práticas.

Machado (2018), afirma que o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), pode ser resumido a partir de um determinado vendedor, no qual ele sairá de uma cidade inicial, percorrendo um trajeto passando por demais cidades preestabelecidas uma única vez, retornando à cidade de origem, com o objetivo de realizar o caminho com a menor distância.

Ramos (2001), considera que o caixeiro parte de uma determinada cidade, onde a próxima cidade deve ser retirada do conjunto das cidades restantes, sendo (n

– 1) e assim sucessivamente. Concluindo que o conjunto do possível trajeto, possui cardinalidade dada pela expressão (1).

$$(n - 1) \times (n - 2) \times (n - 3) \cdots 2 \times 1 \quad (1)$$

Assim, o caixeiro deve decidir pela rota mínima de um conjunto de $(n - 1)!$, sendo n o número de cidades.

Carvalho (2007) apresenta a formulação matemática para o Problema do Caixeiro Viajante utilizando a minimização na função objetivo, no qual pode ser considerada tanto para minimizar, quanto para maximizar.

Machado (2018), descreve a modelagem do Problema do Caixeiro Viajante (PVC) em (2) – (6):

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

Sujeito à:

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

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad \forall S \subset V, S \neq \phi \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

no qual c_{ij} representa o custo de percorrer o trajeto de i até j e x_{ij} representa as variáveis de decisão que estão relacionados ao elemento i à posição j . A variável $x_{ij} = 1$ indica que a cidade j é visitada posterior a cidade i , caso contrário $x_{ij} = 0$.

Ainda, segundo Machado (2018), a função objetivo (2) tem como finalidade caracterizar a minimização da soma das distâncias entre as cidades do trajeto, onde a variável n representa o número de cidades, S é um subconjunto do conjunto $V = \{1, 2, \dots, n\}$, e o símbolo $| \cdot |$ representa a cardinalidade do conjunto. Nas restrições (3) e (4) indicam que cada cidade i pertencente a n , será direcionada para uma cidade j . A restrição (5) indica a não existência de subciclos, ou seja, uma cidade não pode passar

mais de uma vez, e a restrição (6) tem como função definir x como uma variável binária.

Uma alternativa proposta por Rasmussen (2011), para eliminar a existência de subciclos, é que em vez de utilizar a restrição indicada em (5), pode-se utilizar o conjunto de restrições expresso em (7)-(10), que garantem a não formação de sub rotas na solução.

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ji} = 1, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{1j} = n - 1 \quad (8)$$

$$(n - 1)x_{ij} - y_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$y_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

Em (7)-(8), tem-se que a variável de decisão y_{ij} representa o fluxo de materiais que o caixeiro transporta do local i ao local j . A restrição (7) representa que tudo que é recebido em um local i ($\sum_{j=1}^n y_{ij}$) menos tudo que é enviado do local i ($\sum_{j=1}^n y_{ji}$) seja igual ao valor de uma unidade. Em outras palavras, cada localidade i demanda por uma unidade de material que o caixeiro vai transportando e descarregando em cada cidade i em que ele visita.

A restrição (8) define a condição para que o caixeiro saia do seu local de origem $i = 1$ carregando $n-1$ materiais, ou seja, uma unidade de material para cada $n-1$ localidades que visitará antes de retornar ao seu local de origem.

A restrição (9) define a condição de capacidade de fluxo de materiais que poderão passar em cada rota que parte da localidade i e chega em j , ou seja, se a rota de i à j é designada ($x_{ij} = 1$), então o limite de fluxo de materiais que poderá passar por esta rota será de $n-1$, caso contrário, será zero (ausência de fluxo de materiais).

Finalmente, a restrição (10) estabelece a condição de não negatividade para fluxo de materiais em cada arco (i, j) .

A vantagem de utilizar o conjunto de restrições (7)-(10) proposto por Rasmussen (2011), ao invés do conjunto de restrições (6), é que o número de restrições não aumenta de forma exponencial com número de localidades, tornando-se impraticável, por exemplo, de ser aplicado em uma situação em que se deseja

definir uma rota com um conjunto de 20 localidades, ou seja, a restrição (6) representaria um total de $20! = 2,43290200817 \times 10^{18}$ restrições.

2.4.3 PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM JANELA DE TEMPO (PCVJT)

Para Fachini (2017), restrições de janelas de tempo em problemas de transporte, especificamente em roteamento de veículos pode ser aplicadas em diversas situações. O Problema do Caixeiro Viajante com Janelas de Tempo consiste em traçar uma rota de custo mínimo com início e fim em um depósito, no qual um conjunto de clientes é visitado uma única vez, além disso, cada cliente possui uma janela de tempo, ou seja, um tempo mínimo para ser visitado.

Rebouças; Gomes (2015), observam que o problema utiliza o termo clientes invés de usar o termo cidades, como antes utilizado, devido ao fato de que o problema possui foco comercial.

O Problema do Caixeiro Viajante com Janela de Tempo pertence à classe NP-difícil, pois generaliza o clássico Problema do Caixeiro Viajante, mostrando a possibilidade de se encontrar uma solução factível (FACHINI (2017)).

Lorenzi (2019), afirma que o PCVJT tem grande importância na busca de resultados a partir do Problema de Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo (PRVJT), devido a abordagem agrupa-primeiro e roteia-segundo, onde cada veículo é direcionado a um grupo de clientes, e posteriormente cada veículo é roteado independentemente.

Rebouças; Gomes (2015), formalizam o PCVJT matematicamente supondo um grafo $G = (V, A)$, no qual são definidas as seguintes variáveis:

- x_{ij} - Variável binária, sendo que $x_{ij} = 1$ representa que a rota de i à j foi designada, e $x_{ij} = 0$ o caso contrário
- t_i - Variável de tempo, com início no cliente i .
- s_i - Tempo de atendimento do cliente.
- v_{ij} - Tempo de travessia do arco (i, j) .
- a_i - Início da janela de tempo.
- b_i - Fim da janela de tempo.
- c_{ij} - Matriz de custos.

No Problema do Caixeiro Viajante com Janelas de Tempo é fornecido uma matriz que consiste no tempo mínimo entre o início do atendimento do nó i e o início do atendimento do nó j , quando é visitado após o nó i , tal matriz possui valores denominados T_{ij} , onde $T_{ij} = s_i + v_{ij}$. T_{ij} também pode ser usada como uma matriz de custos, ou seja, $T_{ij} = c_{ij}$ (REBOUÇAS; GOMES (2015)).

Lorenzi (2019), descreve a modelagem do Problema do Caixeiro Viajante com Janelas do Tempo com base na Programação Linear Inteira Mista, a partir do método M-grande, em (11) – (17).

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (11)$$

Sujeito à:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

$$t_i + c_{ij} - (1 - x_{ij}) \cdot M \leq t_j, \quad \forall (i, j) \in A, j \neq 1 \quad (15)$$

$$a_i \leq t_i \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n. \quad (17)$$

A restrição (15), pode ser explicada a partir de uma condição de ordem entre as variáveis de tempo, no qual i precede j em uma solução. A restrição (16) tem como função garantir que o cliente i seja atendido e que não seja ultrapassado a janela de tempo. Considerando $x_{ij} = 1$, o momento de início de atendimento do nó j não acontece antes do nó i ser atendido, e percorrer o arco (i, j) , se tem a inequação (18):

$$t_i + c_{ij} \leq t_j. \quad (18)$$

A inequação (18), é o que se resulta da inequação (15), quando $x_{ij} = 1$, mas quando $x_{ij} = 0$, a inequação (15) resulta na seguinte inequação (19):

$$t_i + c_{ij} - M \leq t_j. \quad (19)$$

Desta forma Lorenzi (2019), considera M uma escolha para que a desigualdade seja satisfeita para valores de t_i e t_j . A restrição (15), também possui característica de garantir que a solução não possua sub-rotas.

Uma variante ao PCVJT, seria o PCVJT Cumulativo, cujo objetivo agora é minimizar a soma dos tempos de atendimento (chegada) aos clientes. As aplicações dessa variante são mais apropriadas para as situações de atendimento emergencial em casos de desastres ou como base para o roteamento de veículos escolares, por exemplo. A variante, constitui apenas em substituir a função objetivo (11) pela função objetivo (20).

$$\text{Min } C = \sum_{i=2}^n t_i \quad (20)$$

2.4.4 PROBLEMA DO ROTEAMENTO DE VEÍCULOS (PRV)

Para Arenales et al. (2015), o Problema do Roteamento de Veículos constitui em definir uma estratégia de rotas de entrega e/ou coleta para um veículo ou uma frota de veículos, partindo de um ou mais depósitos para um conjunto de clientes de forma a minimizar por exemplo os custos. Constitui uma variante do Problema do Caixeiro Viajante onde se tem múltiplos Caixeiros Viajantes onde se deve respeitar as condições de demanda de cada cliente d_i , tal que o fluxo de materiais (produtos) em cada rota não exceda a capacidade do veículo designado a esta rota.

A formulação apresentada em (21)-(28) constitui PRV para uma situação em que há apenas um depósito situado na localidade $i=1$, sendo que a empresa possui um único veículo ou uma frota de veículos homogêneos, ou seja, com a mesma capacidade de carregamento.

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^n cf x_{1j} \quad (21)$$

Sujeito à:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 2, 3, \dots, n \quad (22)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ji} = d_i, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (24)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{1j} = \sum_{i=2}^n d_i \quad (25)$$

$$Kx_{ij} - y_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n \quad (26)$$

$$y_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n \quad (27)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n. \quad (28)$$

Similarmente aos modelos de Caixeiro Viajante, x_{ij} é uma variável binária, sendo que $x_{ij} = 1$ representa que a rota de i à j foi designada, e $x_{ij} = 0$ o caso contrário e a variável de decisão y_{ij} representa o fluxo de materiais (produtos) que um determinado veículo transporta do local i ao local j .

O parâmetro cf representa os custos fixos por designar uma rota j que sai do depósito $i = 1$, com um mesmo veículo de capacidade K (só que em instantes diferentes), ou por uma frota de veículos com mesma capacidade K (que podem sair ao mesmo tempo do depósito).

Observa-se que, de forma análoga a equação (3), que a restrição (22) garante que somente uma única rota (i, j) chegue em cada cliente j . Note que este tipo de restrição não é aplicado ao depósito ($j = 1$), já que várias rotas podem chegar até o depósito.

A restrição (23), similarmente a restrição (4), garante que somente uma única rota (i, j) saia de cada cliente i . Observa-se também, que este tipo restrição não se aplica outra vez no depósito ($i = 1$), já que várias rotas podem sair do depósito, uma para cada veículo ou para um mesmo veículo em instantes diferentes.

A restrição (25) define a condição para que o(s) veículo(s) saia(m) do seu local de origem $i=1$ (depósito) carregando o total de produtos para atender a demanda de todos os clientes ($\sum_{i=2}^n d_i$), ou seja, a soma de todos os fluxos que saem do depósito ($i = 1$), tem que ser igual a soma das demandas de cada cliente.

A restrição (26) define a condição de capacidade de fluxo de materiais que poderão passar em cada rota que parte da localidade i e chega em j , ou seja, se a rota de i à j é designada ($x_{ij} = 1$), então o limite de fluxo de materiais que poderá passar

por esta rota não pode exceder a capacidade K do veículo, caso contrário ($x_{ij} = 0$), será zero (ausência de fluxo de materiais).

A restrição (27) estabelece a condição de não negatividade para fluxo de materiais em cada arco (i, j) e a restrição (28) tem como função definir a variável x_{ij} como uma variável binária.

A função objetivo (21) tem como finalidade caracterizar a minimização da soma dos custos entre as cidades do trajeto mais a soma dos custos fixos por designar o(s) veículo(s) por rotas distintas que saem do depósito.

A condição de viabilidade para que se possa aplicar este modelo, é que cada demanda do cliente d_i não pode exceder a capacidade K do veículo, uma vez que cada cliente só pode ser abastecido por não mais de uma rota do conjunto de rotas que saem do depósito.

O modelo para o Problema de Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo (PRVJT) pode ser obtido ao colocar as restrições (15) e (16) no modelo, descrita na Subseção 2.4.3.

Para o PRVJT Cumulativo, cujo objetivo é minimizar a soma dos tempos de atendimento (chegada) aos clientes, basta substituir a função objetivo (21) pela (20) descrita na Subseção 2.4.3.

2.5 MÉTODOS EXATOS

Os métodos exatos têm como finalidade encontrar a melhor solução para o problema descrito. Nesta Subseção, será apresentado um breve estudo com base na literatura de dois métodos exatos, como: o método *Branch and Bound* e o Algoritmo Simplex.

2.5.1 BRANCH-and-BOUND

Segundo Belfiore; Fávero (2013), o método *branch-and-bound* foi criado pelos pesquisadores Land e Doig, em 1960, como a finalidade de buscar solução para problemas de programação binária e inteira. O termo *branch* significa ramo e o termo *bound* significa limite.

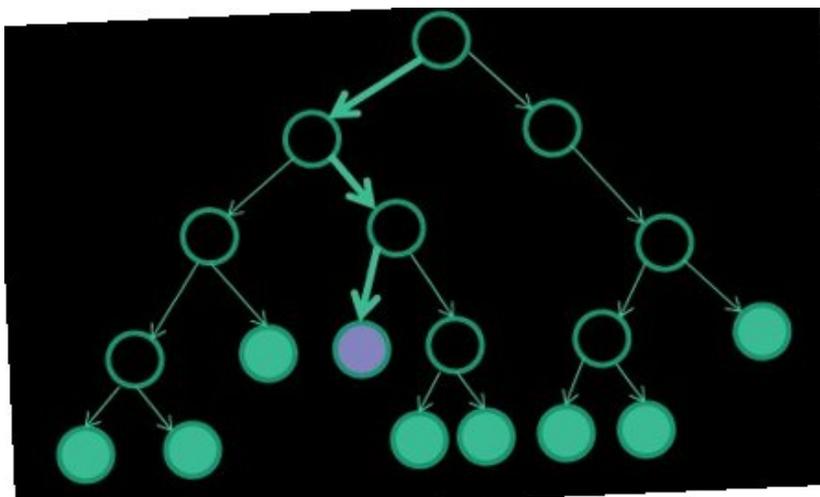
Arenales et al. (2007), definem *branch-and-bound* como um método de divisão e conquista, no qual possui como objetivo a ramificação e a subdivisão do problema original, ou seja, resolve-se o problema para instâncias menores e cada subproblema gera um problema de limite inferior ou um problema de limite superior sobre a função objetivo.

Para Machado (2018) o método possui estrutura de solução em árvore, no qual os nós representam os subproblemas e os arcos ligam dois nós da árvore representam as novas restrições a serem incluídas à modelagem, tendo como representação ilustrativa a figura 7.

Belfiore; Fávero (2013) afirmam que as soluções dos subproblemas são combinadas com a finalidade de que se obtenha a solução ótima para a resolução do problema original.

De acordo com Shirabayashi et al. (2019), geralmente para resolver o Problema do Caixeiro Viajante via métodos exatos, como o método *branch-and-bound* no qual utiliza procedimentos de enumeração implícita em árvore, onde possuem propostas de diferentes funções limitadoras.

FIGURA 6 – *Branch-and-Bound*.



FONTE: Autor (2021).

2.5.2 MÉTODO SIMPLEX

De acordo com Belfiore; Fávero (2013) o método Simplex teve origem em 1940, com o objetivo de solucionar problemas de Programação Linear, a partir do crescimento da Pesquisa Operacional após a Segunda Guerra Mundial, por um grupo de pesquisadores liderado por George B. Dantzig.

Arenales et al. (2007), afirmam que o método Simplex é um procedimento algébrico que parte de uma solução básica inicial e busca a cada interação uma nova solução, com o objetivo de obter melhor valor na função objetivo até que o valor ótimo seja encontrado.

Machado (2018), define o método Simplex como um método que possui formulação simples e eficiente, no qual o algoritmo conta com um critério de escolha que possibilita buscar diferentes e melhores soluções do conjunto de soluções encontradas, e determina se a solução encontrada é ou não a solução de melhor valor.

Belfiore; Fávero (2013), explicam o método a partir de uma solução básica atual, onde uma variável não básica entra na base no lugar de outra variável básica e se torna uma variável não básica, criando uma nova solução denominada de solução básica adjacente. Caso a solução básica adjacente seja uma solução que atende as restrições de não negatividade, ela é denominada de solução básica factível adjacente (SBF adjacente).

FIGURA 7 – FLUXOGRAMA DA DESCRIÇÃO GERAL DO ALGORITMO SIMPLEX.



FONTE: Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia (2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Turrioni; Mello (2012), metodologia é considerado um grupo de métodos, técnicas e ferramentas que servem para executar um objetivo, no qual demonstra a forma que é realizada cada etapa da pesquisa.

3.1 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA

Há diversas formas para se classificar uma pesquisa, sendo do ponto de vista da sua natureza, forma de abordagem, objetivos e procedimentos técnicos.

De acordo com Silva; Menezes (2001), do ponto de vista da sua natureza a pesquisa pode ser classificada como básica ou aplicada, onde a pesquisa básica tem como função gerar conhecimentos sem aplicação prática prevista, e a pesquisa aplicada possui como função gerar conhecimentos para serem aplicados em busca de soluções de problemas específicos.

A partir do ponto de vista da natureza da pesquisa, este trabalho é classificado como uma pesquisa aplicada, devido ao fato de propor uma solução de um problema específico em uma empresa, onde é necessário conhecer o processo atual de rotas para as entregas dos estofados e utilizar métodos exatos com a finalidade de propor melhorias para a redução do trajeto percorrido.

A pesquisa também pode ser classificada de acordo com seus objetivos, como exploratória, descritiva, explicativa e normativa, no qual este trabalho se enquadra como uma pesquisa normativa, pois como descreve Turrioni; Mello (2012) a pesquisa normativa identifica os fatores que determinam a ocorrência de situações. No caso deste trabalho podendo ser encaixado em outras classificações, ele tem como objetivo propor uma mudança a política atual de cálculo de rotas.

Para Turrioni; Mello (2012), a pesquisa pode ser classificada quanto a forma de abordar o problema, sendo ela quantitativa, qualitativa e combinada. A pesquisa quantitativa transforma dados quantificáveis em opiniões e informações para classificá-las e analisá-las, além de utilizar técnicas estatísticas. A pesquisa qualitativa considera que há uma relação entre o mundo real e o sujeito, onde não se pode traduzir em números, os pesquisadores analisam os dados indutivamente. E a pesquisa combinada utiliza aspectos das pesquisas quantitativas e qualitativas.

O trabalho em questão, de acordo com a forma de abordagem do problema é classificado como uma pesquisa quantitativa, pois tem como objetivo a busca do trajeto mínimo percorrido pelos entregadores de estofados, com dados quantitativos.

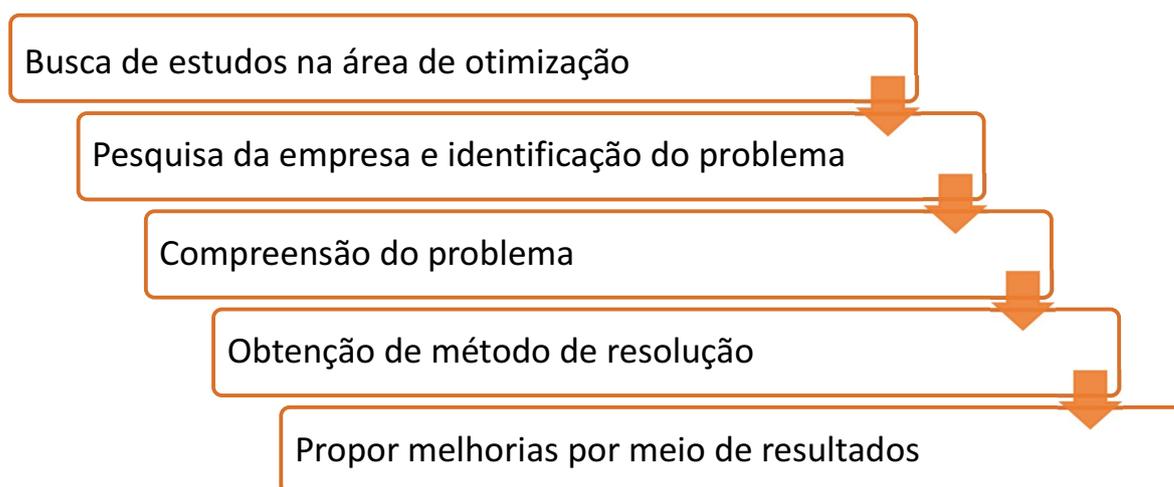
Silva; Menezes (2001), também classificam a pesquisa pelos procedimentos técnicos, ou seja, pelos métodos, podendo ser experimento, modelagem e simulação, survey, estudo de caso, pesquisa-ação e soft system methodology. Com base nas classificações descritas, a pesquisa é classificada em modelagem e simulação, pois é empregada através de um modelo.

O trabalho utiliza como definição para elaboração de uma pesquisa na área de Pesquisa Operacional, as etapas propostas por (MARTINS (2011)) são elas:

- Identificar o problema;
- Propor a utilização de um modelo matemático;
- Encontrar uma solução viável;
- Realizar testes para a validação do modelo e da solução;
- Realizar a implantação da melhoria.

A Figura 9 apresenta de forma adaptada as etapas necessárias para concluir o objetivo proposto neste trabalho.

FIGURA 8 – ETAPAS PARA CONCLUIR O OBJETIVO.



FONTE: Autor (2021).

Na primeira etapa é realizado uma busca na literatura por métodos utilizados para resolver problemas de otimização parecidos com o problema do trabalho. Após esta etapa, obteve-se dados reais de de uma empresa, no qual foi identificado o

problema, onde foi realizado um estudo dele, buscando resolução por meio de softwares computacionais, para que seja encontrado uma solução, no qual servirá como proposta para busca de melhorias.

3.2 DESCRIÇÃO DO CASO

A empresa no qual o trabalho é aplicado é uma empresa de estofados, que está situada em Pirapó-PR, distrito de Apucarana-PR. A mesma possui aproximadamente 100 colaboradores, e é dividida em 15 setores, sendo eles: laminação, marcenaria, montagem da estrutura, colagem, tapeçaria, corte, costura, almofada, montagem final, embalagem, expedição, almoxarifado, desenvolvimento de produtos, PPCP e administrativo, onde possuem como missão a satisfação do consumidor e o desenvolvimento de produtos com design diferenciado e qualidade. A empresa produz diversos tipos de estofados, como *puffs*, poltronas, sofás *living*, sofás retráteis, sofá-cama e almofadas. O foco deste trabalho é o setor de expedição, onde é realizado a separação dos produtos e o carregamento dos produtos em um dos seis caminhões pertencentes a empresa, sendo que cinco deles possuem a capacidade para alocar entre 50 e 60 peças de estofados e um para alocar apenas 30 peças. A alocação das peças de estofados é realizada com base em um documento denominado “Romaneio a Carregar”, que possui informações dos clientes, cidade de entrega e os produtos que estão em seus respectivos pedidos a serem entregues.

A figura 8 é um exemplo de um Romaneio a Carregar, onde o primeiro cliente do documento será o último a ser entregue, portanto ele terá que ser o primeiro a ser alocado no caminhão.

O documento Romaneio a Carregar, é construído da seguinte forma: o representante comercial envia o pedido via e-mail para empresa, o setor administrativo imprime este pedido, realiza a conferência de preço e quantidade de peças, após realizado a conferência o pedido é digitado para o sistema da empresa, organizado de acordo com um trajeto elaborado por um colaborador de forma manual e por fim realiza-se a impressão do documento e é entregue ao responsável pelo setor de expedição.

FIGURA 9– ROMANEIO A CARREGAR.

ROMANEIO A CARREGAR-VIDOTTO-14/10 OP: 1903				
SILVANO ROBERTO DE SOUZA - ME Qtde Peças: 11,00 Cidade: AMÉRICO BRASILIENSE				
Qtde	Produto	Nº Pedido	Crp	Peças
1	MESSI 2 LUG (1,00)	4679	INCA - 17	2
1	PEGASUS 2 LUG (1,00)	4679	INCA - 10	2
1	PIETRO 2 LUG (0,90)	4686	INCA - 02	1
1	PIETRO 2 LUG (1,00)	4686	INCA - 17	2
1	PIETRO 3 LUG (0,90)	4689	INCA - 10	2
1	SPAZIO 2 + CHAISE	4696	INCA - 02	2
TODOS ASSENTOS DE 0,80 CM				
LORENZETTI MOVELARIA LTDA ME Qtde Peças: 18,00 Cidade: ARARAQUARA				
Qtde	Produto	Nº Pedido	Crp	Peças
1	MASSIMUS 2 LUG (1,20) BRAÇOS DE 0,20 CM	4688	INCA - 03	2
1	ORFEU 2.C.1.PUFF (0,90) PUFF 0,40 BRAÇOS DE 0,25 CM	4656	S - 128	2
2	PEGASUS 2 LUG (1,20)	4684	INCA - 03	4
1	PEGASUS 2 LUG (1,20) QUADRADO	4682-1	S - 7500	2
2	PORTINARI 2 LUG (1,00)	4691	S - 128	2
1	SMILE 2 LUG (0,80) BRAÇOS DE 0,20 CM	4698	S - 6200	1
2	SMILE 2 LUG (0,90) BRAÇOS DE 0,20 CM	4690	INCA - 03	2
1	SMILE 2 LUG (0,90) BRAÇOS DE 0,20 CM	4687	INCA - 03	1
1	SMILE 2 LUG (1,00) PEÇA INTEIRA	4674	S - 126	1
1	SMILE 2 LUG (1,00) BRAÇOS DE 0,20 CM - PEÇA INTEIRA	4683	S - 6200	1
HERNANDES, HERNANDES E CIA LTDA - ME Qtde Peças: 17,00 Cidade: ITÁPOLIS				
Qtde	Produto	Nº Pedido	Crp	Peças
2	MESSI 2 LUG (1,20)	4657	INCA - 03	4
1	MESSI 2 LUG (1,20)	4657	INCA - 10	2
2	PIETRO 2 LUG (1,20)	4657	INCA - 03	4
1	PIETRO 2 LUG (1,20)	4657	INCA - 10	2
2	SMILE 2 LUG (1,00) PEÇA INTEIRA	4657	INCA - 10	2
1	SMILE 2 LUG (1,00) PEÇA INTEIRA	4657	INCA - 16	1
1	SPAZIO 2 LUG (1,20)	4657	INCA - 16	2
Quantidade Total:				46,00

FONTE: Autor (2021).

A problemática deste trabalho está no fato da roteirização ser realizada sem o uso de uma ferramenta de apoio, o colaborador que planeja o trajeto faz de forma empírica, ou seja, realiza as rotas por meio de históricos de entrega ou mapas desatualizados. Com base no caso descrito, foi coletado uma quantidade de romaneios já utilizados pela empresa com o objetivo de resolver o Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo, pois o prazo de entrega do produto ao cliente é de 3 dias. Com a reformulação das rotas, o objetivo é encontrar a melhor rota e realizar uma comparação com a forma que a empresa utiliza atualmente, para que seja apresentado a proposta de mudança da política de montagem de trajetos.

3.3 FERRAMENTA DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de um levantamento dos documentos que apresentam os trajetos de entregas dos caminhões, denominados Romaneio a Carregar, no qual já existem na empresa. Também feito entrevistas informais com o responsável por montar o trajeto e os motoristas, para buscar melhor compreensão da política atual de montagem de rotas. Os dados coletados são os endereços de clientes que a empresa atende e que estão nos Romaneios a Carregar escolhidos, foram selecionadas regiões diferentes para realização do estudo e um banco de dados de rotas para empresa. Os endereços dos clientes serviram como base de dados para se encontrar os tempos em minutos de um cliente para o outro, através do Google Maps, com o objetivo de construir a matriz distância, para resolução do problema.

3.4 FERRAMENTA DE ANÁLISE DE DADOS

Para realização da análise de dados deste trabalho utilizou-se o solver do LibreOffice Calc, no qual foi aplicado o método de resolução Simplex e *Branch-and-Bound*.

3.4.1 LIBREOFFICE

De acordo com Borges (2011) o LibreOffice é um conjunto de aplicativos com processador de textos, planilha eletrônica, apresentação de slides, criador de banco de dados, aplicativo para desenho vetorial e criador de fórmulas matemáticas, voltado para escritório.

Sendo o segundo aplicativo mais utilizado no Brasil, o LibreOffice é um aplicativo Office, que conta com aproximadamente 25% dos usuários, no qual é utilizado em grandes empresas como Itaipu, Conab, Santivest, Banco do Brasil, dentre outros.

Segundo Borges (2011) o aplicativo possui uma suíte de escritório que é composta pelos seguintes aplicativos: LibreOffice Writer, LibreOffice Calc, LibreOffice Impress, LibreOffice Draw, LibreOffice Base e LibreOffice Math.

Na busca da melhor solução para a execução deste trabalho foi utilizado o LibreOffice Calc, que para Borges (2011) é uma ferramenta que possui a utilidade de editar planilhas eletrônicas muito semelhantes ao Excel.

FIGURA 11 – LOGO DO LIBREOFFICE.



FONTE: LibreOffice The Document Foundation (2021).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

No presente capítulo, apresenta-se os resultados computacionais encontrados a partir da resolução do Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo, no software LibreOffice, e mapas gerados pelo aplicativo da plataforma Google, o Google Maps.

As Subseções 4.1, 4.2 e 4.3, tem como objetivo apresentar os resultados computacionais dos estudos realizados sobre o desempenho do modelo para problemas de roteamento de três Romaneios a Carregar, cedidos pela empresa, em que apresentam diferentes endereços de diferentes regiões do Brasil, saindo do mesmo depósito e voltam para o mesmo depósito, no qual os dados obtidos foram baseados de acordo com o tipo de peça que influencia na capacidade dos caminhões, podendo variar de 50 a 60 peças. Os estudos, denominados Romaneio 1, Romaneio 2 e Romaneio 3 foram executados via métodos exatos realizados pelo software LibreOffice Calc em uma plataforma core I5, 8 Gb de memória RAM e sistema operacional Windows 10.

4.1 ROMANEIO 1

O Romaneio 1 é um dos Romaneios a Carregar, que serviu como estudo para esta pesquisa, é composto pelos nomes dos clientes, ordem de carregamento e entrega, quantidade de peças e seus endereços. O documento é composto pelos clientes das seguintes cidades, Santo Antônio da Platina, Avaré, Bauru, Marília, Araçatuba, Adamantina e Presidente Prudente, onde o ponto de origem e destino final é a cidade de Pirapó no Paraná, resultando em um romaneio com oito clientes, totalizando uma entrega de 48 peças, onde o caminhão destinado de acordo com o tipo de peças possui capacidade de 50 peças. Para melhor interpretação dos dados, foi criada uma tabela, informando o nome do cliente, endereço de entrega e quantidade de peças, seguindo a ordem de rota de entrega construído pela empresa, onde a segunda linha da tabela representa o depósito, ou seja, o ponto de origem, a primeira coluna representa os códigos que representam os pontos na matriz de tempo, a figura 12 representa os dados do Romaneio 1.

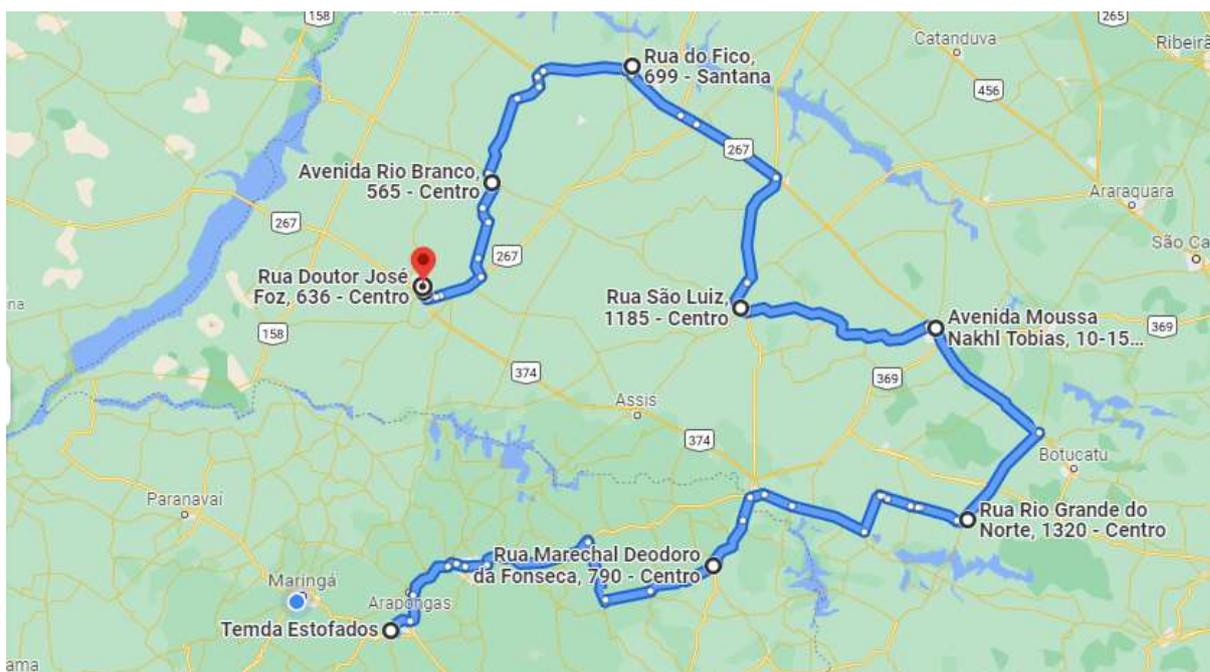
FIGURA 12 – DADOS ROMANEIO 1.

CÓDIGO	CLIENTE	PEDIDO	CIDADE	ENDEREÇO DE ENTREGA
DEPÓSITO	TEMDA ESTOFADOS	-	PIRAPÓ	AVENIDA CESÁRIO FESTI, N 755
C1	MOVEIS ADELINO DOS SANTOS LTDA	10	SANTO ANTONIO DA PLATINA	RUA MARECHAL DEODORO, N 790, CENTRO
C2	KARINA APARECIDA ZAFALÃO	1	AVARÉ	RUA RIO GRANDE NORTE, 1320
C3	DELARRARA COM. IM. E EX. MAQUINAS FER	5	BAURU	AVENIDA MOUSSA NAKHL TOBIAS, N 10, PARQUE SÃO GERALDO
C4	MATELAR MOVEIS E DECORAÇÕES LTDA	5	MARILIA	RUA SÃO LUIZ, N 1185, CENTRO
C5	MAIRA DESIGN LTDA	4	ARAÇATUBA	RUA DO FICO, N 699, JARDIM SANTANA
C6	JOSE MOREIRA DO CARMO ADAMANTINA - ME	4	ADAMANTINA	RUA RIO BRANCO, N 565, CENTRO
C7	JULIO KITAMURA E CIA LTDA	18	PRESIDENTE PRUDENTE	RUA ALEXANDRE CALARGE, N 440, JARDIM PLANALTO
C8	STILO MOVEIS LTDA	1	PRESIDENTE PRUDENTE	RUA DOUTOR JOSÉ FOZ, N 636, CENTRO
	TOTAL DE PEÇAS	48		

FONTE: Autor (2021).

A partir do Romaneio 1, foi criado um mapa pelo aplicativo Google Maps, apresentado pela figura 13, que tem como objetivo a representação da rota construída pela empresa.

FIGURA 13 – MAPA DO ROMANEIO 1.



FONTE: Gerado pelo Autor no Google Maps (2021).

A execução do método se inicia na construção de uma matriz de tempos de viagem, no qual teve como base as informações do Romaneio 1, onde seus elementos são os tempos em minutos de um ponto a outro ponto, junto aos códigos representando os clientes que foram atendidos. A matriz também possui na sua última coluna o tempo de atendimento de cada cliente, informado pelo motorista que realizou a rota, a matriz está representada na Figura 14, criada pelo software LibreOffice Calc.

FIGURA 14 – MATRIZ DE TEMPOS DO ROMANEIO 1.

Romaneio 1	DEPÓSITO	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Tempo de Atendimento
DEPÓSITO	0	193	308	390	224	318	265	181	182	
C1	193	0	192	166	125	269	236	188	205	40
C2	308	192	0	120	160	253	272	237	241	15
C3	390	166	120	0	80	139	195	210	226	30
C4	224	125	160	80	0	152	114	140	145	30
C5	318	269	253	139	152	0	110	142	147	25
C6	265	236	272	195	114	110	0	92	92	25
C7	181	188	237	210	140	142	92	0	8	50
C8	182	205	241	226	145	147	92	8	0	15

FONTE: Autor (2021).

A partir da matriz de tempos de viagem e de atendimento representada na Figura 14, pode-se realizar a programação do Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo pelo software LibreOffice Calc, que tem como restrições a capacidade do caminhão de 50 peças, de acordo com o tipo de peça do Romaneio 1, a jornada de trabalho das 05:00:00 até as 18:00:00 e o tempo de atendimento de cada cliente, informação obtida com os motoristas, a restrição de jornada de trabalho tornou-se necessária, pois tem como objetivo respeitar exigências de alguns clientes em específicos.

Em comparação aos resultados obtidos em minutos, via solver, utilizando métodos exatos, e a montagem empírica do romaneio realizada pela empresa, pode-se ver a eficácia na resolução do Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo. A Figura 15 representa os resultados obtidos, em minutos, via solver e os resultados da empresa, a fim de comparação.

FIGURA 15 – RESULTADOS ROMANEIO 1.

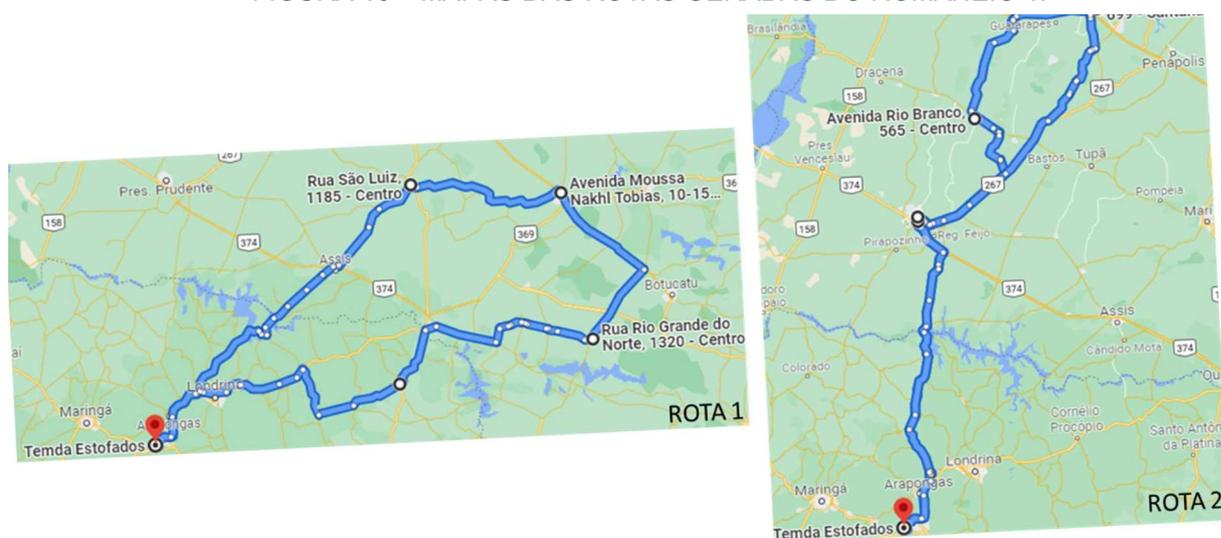
RESULTADOS EM MINUTOS	
EMPRESA	SOLVER
1916	1746

FONTE: Autor (2021).

O resultado obtido pelo solver trouxe uma redução de 170 minutos, aproximadamente 3 horas de viagem, ressaltando que está respeitando as restrições de jornada de trabalho, no qual é um grande benefício à saúde dos motoristas. Também pode-se obter o caminho, que através do Solver, foi dividido em dois caminhos, o primeiro foi: Depósito-C4-C3-C2-C1-Depósito; e o segundo caminho foi:

Depósito-C8-C6-C5-C7-Depósito, ressaltando que os códigos estão apresentados na Figura 14. A divisão dos caminhos tornou-se necessária devido à restrição de jornada de trabalho. O tempo computacional foi de 3 minutos. Para melhor entendimento e visualização das rotas encontradas na resolução do problema foi construído dois mapas pelo aplicativo Google Maps, apresentados na Figura 16.

FIGURA 16 – MAPAS DAS ROTAS GERADAS DO ROMANEIO 1.



FONTE: Gerado pelo Autor no Google Maps (2021).

4.2 ROMANEIO 2

Romaneio 2 é composto pelos clientes das seguintes cidades, Boituva, Itu, Indaiatuba, Campinas, Sumaré, Americana, Limeira, Rio Claro, Piracicaba, resultando em um romaneio com onze clientes e o depósito que está localizado em Pirapó no Paraná, onde é o ponto de origem e ponto de destino, totalizando uma entrega de 52 peças, no qual o caminhão escolhido para realizar a entrega é de 60 peças, devido ao tipo de peças composta pelo Romaneio 2.

Em comparação aos resultados obtidos em minutos, via solver, utilizando métodos exatos, e a montagem empírica do roteamento realizada pela empresa, pode-se ver a eficácia na resolução do Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo. A Figura 20 representa os resultados obtidos via solver e os resultados da empresa.

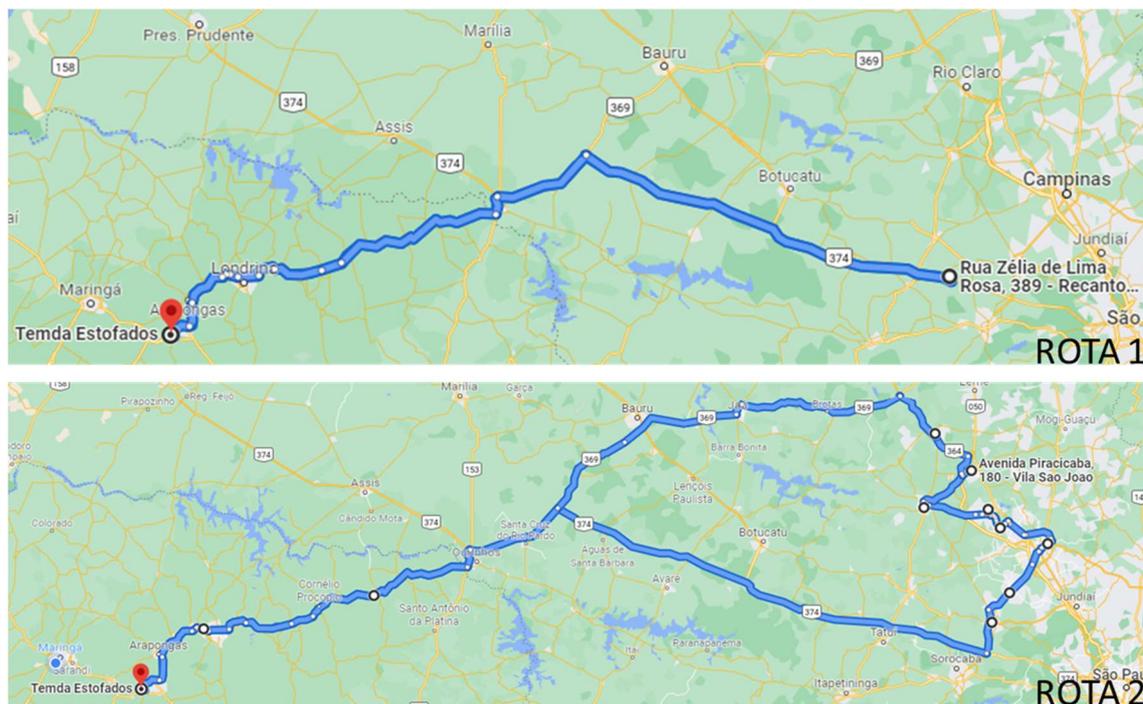
FIGURA 20 – RESULTADOS ROMANEIO 2.

RESULTADOS EM MINUTOS	
EMPRESA	SOLVER
2565	2468

FONTE: Autor (2021).

O resultado obtido pelo solver trouxe uma redução de 97 minutos, ou seja, 1 hora e 37 minutos de tempo de viagem, ressaltando que está respeitando as restrições de jornada de trabalho, no qual é um grande benefício à saúde dos motoristas. Levando em consideração a jornada de trabalho e o tempo de atendimento de cada cliente, o solver trouxe como resultado a formação de dois caminhos sendo eles: Depósito-B1-Depósito e o segundo caminho foi Depósito-B2-B3-B5-B4-B6-B7-B11-B10-B8-B9-Depósito, ressaltando que os códigos são representações dos clientes conforme apresentado na Figura 17. O tempo computacional foi de 3 minutos. Em busca de uma melhor visualização das rotas encontradas, foi construído dois mapas pelo aplicativo Google Maps, no qual são apresentados pela figura 21.

FIGURA 21 – MAPAS DAS ROTAS GERADAS DO ROMANEIO 2.



FONTE: Gerado pelo Autor no Google Maps (2021).

4.3 ROMANEIO 3

O Romaneio 3 é o terceiro documento Romaneio a Carregar, é composto pelos clientes das seguintes cidades, Criciúma, Braço do Norte, Tubarão, São José, Biguaçu, Florianópolis, Itapema, Balneário Camboriú resultando em um romaneio com dez clientes e o depósito que é o ponto de origem do caminhão e o destino, localizado na cidade de Pirapó no Paraná, totalizando uma entrega de 47 peças, onde com base no tipo de peças do Romaneio 3 foi direcionado um caminhão com capacidade de 50 peças. Os dados do Romaneio 3 é apresentado na figura 22.

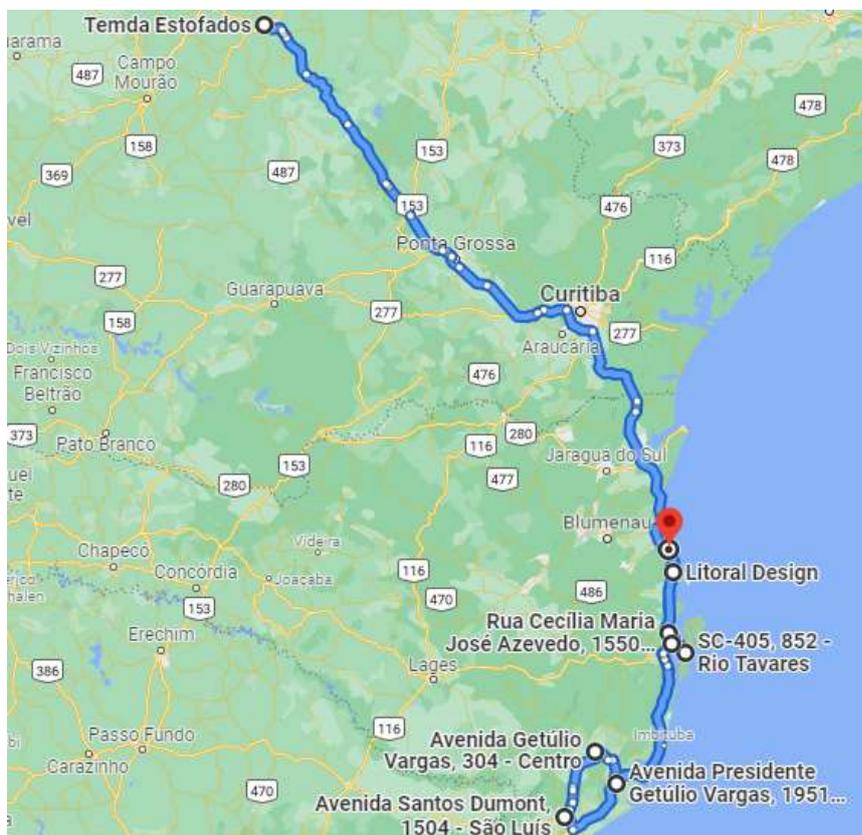
FIGURA 22 – DADOS ROMANEIO 3.

CÓDIGO	CLIENTE	PEDIDO	CIDADE	ENDEREÇO DE ENTREGA
DEPÓSITO	TEMDA ESTOFADOS	-	PIRAPÓ	AVENIDA CESÁRIO FESTI, N 755
A1	MESI MOVEIS E ESTOFADOS	10	CRICIUMA	AVENIDA SANTOS DUMONT, 1504, SÃO LUIZ
A2	BELLO TRAÇO	6	BRAÇO DO NORTE	AVENIDA PRESIDENTE GETULIO VARGAS, 304, CENTRO
A3	GAIA COMERCIO DE ARTIGOS	8	BRAÇO DO NORTE	FELIPE SCHIMIDT, 2243, CENTRO
A4	MARIA SUELY BIANCO ME	3	TUBARÃO	AVENIDA GETÚLIO VARGAS, 1951, HUMAITA
A5	ROSILANY ADRIANO CORREA ME	6	SÃO JOSÉ	RUA HIDALGO ARAUJO, 82, JARDIM CIDADE DE FLORIANOPOLIS
A6	VM COMERCIO VAREJISTA DE COLCHÕES LTDA	1	BIGUAÇU	RUA CECILIA MARIA JOSE AZEVEDO, 1550, MORRO DA BINA
A7	IRMÃOS BORBA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	2	FLORIANÓPOLIS	RODOVIA SC - 405, 852, RIO TAVARES
A8	JAIR AMBROSIO S ANDRADE ME	1	SÃO JOSE	RUA KOESA, 400, KOBRASOL
A9	LITORAL DESIGN MOVEIS E DECORAÇÕES LTDA	8	ITAPEMA	RUA 258, ESQUINA 2ª AVENIDA, MEIA PRAIA
A10	AFFETTO DESIGN	2	BALNEÁRIO CAMBORIÚ	AVENIDA ATLÂNTICA, 2320, CENTRO
	TOTAL DE PEÇAS	47		

FONTE: Autor (2021).

Da mesma forma que foi criado nos Romaneios 1 e 2, foi criado pelo Google Maps, um mapa com a sequência do Romaneio 3 apresentado na Figura 23.

FIGURA 23 – MAPA DO ROMANEIO 3.



FONTE: Gerado pelo Autor no Google Maps (2021).

A execução do método se inicia a partir da criação de uma matriz de tempos de viagem, ou seja, seus elementos são os tempos em minutos de um cliente para o outro, apresentada na Figura 24.

FIGURA 24 – MATRIZ DE TEMPOS DO ROMANEIO 3.

Romaneio 3	DEPÓSITO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	Tempo de Atendimento
DEPÓSITO	0	675	662	661	629	635	632	649	640	601	590	
A1	675	0	80	78	54	171	176	179	166	212	229	100
A2	662	80	0	3	43	157	207	212	200	196	211	70
A3	661	78	3	0	44	203	140	212	200	196	211	90
A4	629	54	43	44	0	119	124	127	114	160	238	40
A5	635	171	157	203	119	0	8	17	7	47	62	80
A6	632	176	207	140	124	8	0	25	15	41	56	25
A7	649	179	212	212	127	17	25	0	22	69	85	50
A8	640	166	200	200	114	7	15	22	0	53	68	15
A9	601	212	196	196	160	47	41	69	53	0	22	90
A10	590	229	211	211	238	62	56	85	68	22	0	30

FONTE: Autor (2021).

Em comparação aos resultados obtidos em minutos, via solver, utilizando métodos exatos, e a montagem empírica do romaneio realizada pela empresa, pode-se ver a resolução do Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo. A Figura 25 representa os resultados obtidos via solver e os resultados da empresa.

FIGURA 25 – RESULTADOS ROMANEIO 3.

RESULTADOS EM MINUTOS	
EMPRESA	SOLVER
3050	5808

FONTE: Autor (2021).

O resultado obtido pelo solver, que utiliza o método Simplex com o *Branch and Bound* para resolver problemas de Programação Linear Inteira Mista, trouxe um aumento de 2758 minutos, ou seja, aproximadamente 2 dias de tempo de viagem, respeitando restrições de jornada de trabalho. Em vista que o objetivo da pesquisa é minimizar o tempo de viagem dos Romaneios a Carregar, o resultado que o solver obteve, traz como informação que a empresa não respeita totalmente a jornada de horário de trabalho do motorista. O resultado encontrado traz como um ponto de atenção, onde a economia de combustível não é proporcional ao custo de processos trabalhistas e outras advertências que podem ser geradas com o não cumprimento das leis trabalhistas. Levando em consideração a jornada de trabalho e o tempo de atendimento de cada cliente, o solver trouxe como resultado a formação de quatro caminhos sendo eles: Depósito-A2-A3-Depósito, o segundo foi Depósito-A4-A1-Depósito, o terceiro foi Depósito-A6-A8-A7-A5-Depósito e o quarto caminho foi Depósito-A9-A10-Depósito, ressalta-se que os códigos são representações dos clientes que estão presentes na figura 22. O tempo computacional foi de 4 minutos. Com a finalidade de comparação com a rota gerada na figura 23, criou-se pelo aplicativo Google Maps um mapa no qual apresenta as rotas geradas a partir da resolução do Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo, tais mapas estão apresentados nas Figuras 26 e 27.

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Esta subseção tem como objetivo avaliar os resultados obtidos pela busca da solução Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo, utilizando o solver do LibreOffice Calc, no qual executa por meio do método exato, junto as rotas representadas por meio de mapas criadas no aplicativo Google Maps.

Os resultados apresentados nas Figuras 15, 20 e 25, foram fornecidos pela empresa com a validação por meio de entrevistas com os motoristas responsáveis pelas entregas dos produtos aos clientes, no qual demonstraram que a execução e criação dos trajetos foram de forma empírica, ou seja, com base na experiência de trabalho e no histórico de entregas realizadas anteriormente. Também há a informação, por meio da entrevista com os motoristas, em que algumas rotas, a duração da jornada de trabalho é maior que a estabelecida, a fim de cumprir prazos curtos de entregas, o que geram horas extras e custos adicionais à empresa, além de prejudicar o rendimento do motorista.

Em comparação com os resultados obtidos da empresa, foi visto uma redução de 8,87% no primeiro estudo, 3,78% no segundo estudo e um aumento de 90,42% no terceiro estudo. O terceiro estudo realizado é um ponto de atenção para empresa que quando respeitado a jornada de trabalho, pode gerar aumento de tempo de viagem de entrega.

Para a empresa, o estudo do Romaneio 1 e Romaneio 2, demonstra que há a possibilidade de se trabalhar em menor tempo respeitando a capacidade do caminhão e a jornada de trabalho, visando tanto a segurança do motorista e a entrega em um menor tempo ao cliente.

Também em vista de indicar para a empresa e apresentar a possibilidade de o motorista passar a noite, pois nos Romaneios os caminhões não foram com a capacidade total, tendo que voltar para o depósito e voltar para a rota da mesma região mais de uma vez. O motorista podendo dormir em algum hotel ou posto de gasolina, algo comum entre distribuidoras, faz com que ele estenda a jornada de trabalho e realize a entrega completa em menor distância.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Propor soluções para os diversos problemas reais se torna um desafio para os pesquisadores da área, com o objetivo de buscar novas técnicas que permitam obter melhores resultados e resolver problemas que se tornam cada vez mais complexos.

Este trabalho apresentou uma aplicação de técnicas da Pesquisa Operacional, com enfoque em problemas de otimização de rotas e como podem ser eficazes em redução de custos para uma empresa.

A pesquisa contribui para área acadêmica devido a fonte bibliográfica sobre a aplicação prática de problemas de roteirização em uma empresa real de médio porte. Visando a situação empresarial, este trabalho contribui para que a empresa possa utilizar técnicas matemáticas que apoiam processos decisórios e proporcionar melhorias.

A partir dos resultados obtidos na resolução do Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo, pode-se destacar a importância e o qual influente é a janela de tempo dentro de um cálculo de roteamento. Grande parte das empresas colocam como prioridade o tempo de entrega de seus produtos ao cliente final, o que se torna um diferencial no mercado de trabalho.

Por mais que os resultados trouxeram pequenas reduções para empresa, ao ter uma visão de longo prazo, pode-se considerar que o estudo traz resultados significativos para empresa, além de conseguir trazer uma visão de possível mudança na jornada de trabalho e na aplicação de prazos de entrega aos motoristas. Em relação a redução do tempo de viagem nas entregas, pode ser visualizado uma oportunidade para empresa em investir na área de Logística, no qual há a possibilidade de atender uma maior demanda com um menor custo e um menor tempo de entrega.

Por fim, ressalta-se a utilização de um método teórico em um estudo prático, além de validar a funcionalidade e eficácia do solver do LibreOffice Calc, na resolução do Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo, visando que a busca da melhor solução foi encontrada de acordo com as restrições exigidas e cabíveis á uma jornada de trabalho regrada, no qual visa a busca por um bom rendimento e segurança ao motorista.

Para pesquisas futuras, sugere-se a aplicação do problema de roteamento de veículos, para encontrar a rota que minimiza a viagem total levando em consideração a capacidade dos caminhões, além do estudo do Problema de Empacotamento, que pode trazer grandes avanços na pesquisa, pois utiliza uma maior precisão em relação aos diferentes volumes dos produtos e diferentes cubagem de caminhão.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. F. A LOGÍSTICA DOS TRANSPORTES E SUAS CARACTERÍSTICAS NA CIDADE DE UBERLÂNDIA E REGIÃO. , 2019.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V. A.; MORABITO, R.; YANASSE, H. H. Pesquisa Operacional. 2º ed. Elsevier - Campus, 2015.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. Pesquisa Operacional para cursos de engenharia. 2007.
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. , 2006. Disponível em: <<http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=XTq7VgXxm5MC&pgis=1>>. .
- BARRETO, R. C. P.; RIBEIRO, A. J. M. Logística no brasil: uma análise do panorama dos modais rodoviários e ferroviários no cenário nacional demonstrando as vantagens e desvantagens das referidas modalidades. , p. 145–176, 2012.
- BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. Pesquisa Operacional Para cursos de Engenharia. 2013.
- BORGES, K. N. R. LibreOffice Para Leigos - Facilitando a Vida no Escritório. , 2011.
- CALABREZI, S. R. DA S. A Multimodalidade para o transporte de cargas: Identificação de Problemas em Terminais Visando à Integração dos Modais Aéreo e Rodoviário. , p. 1–139, 2005.
- CARVALHO, M. DE B. Aplicações de Meta-Heurística Genética e Fuzzy no Sistema de Colônia de Formigas para o Problema do Caixeiro Viajante. , p. 78, 2007.
- CONTIERO, O.; GRANDE, R.; GON, B.; GON, B. IX Semana Acadêmica da Licenciatura em Matemática do IFRS , Campus Caxias do Sul IX Semana Acadêmica da Licenciatura em Matemática do IFRS , Campus Caxias do Sul. , p. 4–5, 2019.
- CUNHA, C. B. DA. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. Transportes, v. 8, n. 2, 2000.
- DALONGARO, R. C.; BAGGIO, D. K. A Gestão Logística na Cadeia de Suprimentos e Distribuição do Setor Supermercado. Revista GESTO, v. 8, n. 1, p. 12, 2020.
- DEIMILING, M. F.; PARIZOTTO, D.; PAULE, E. C.; SANTOS, T. A. DOS. Análise da Influência da Logística de Transportes Rodoviários no Custo Brasil. Revista de Administração do Unifatea- RAF Análise, p. 166–188, 2016. Disponível em: <<http://unifatea.com.br/seer3/index.php/RAF/article/view/765/777>>. .
- FACHINI, R. F. Um Algoritmo De Programação Dinâmica Para O Problema Do Caixeiro Viajante Com Janelas De Tempo Flexíveis. , 2017.

FLEURY, P. F. Perspectivas para a Logística Brasileira. , 1997.

KELLY, K.; FREITAS, L. DE; ANDREI, L.; et al. A Logística e as indústrias automobilísticas no Brasil. , v. 01, 2019.

LENTZ, C.; NEUFERT, D.; ZAMBON, F.; et al. FUNDAÇÃO DOM CABRAL LOGÍSTICA E DISTRIBUIÇÃO: Um estudo sobre oportunidade de negócios na distribuição e Logística reversa no mercado de cervejas artesanais no Estado de São Paulo . , 2019.

LORENZI, E. R. APLICAÇÃO DE UM MODELO DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE E JANELAS DE TEMPO, 2019. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

MACHADO, D. A. PROBLEMA DE ROTAS: UM ESTUDO VIA MÉTODOS EXATOS E HEURÍSTICOS EM UMA EMPRESA DE ESTOFADOS., 2018.

MARTINELLI, L. A. S. Custos Logísticos. 2011.

MARTINS, F. A. S. Introdução à Pesquisa Operacional. , 2011.

NAKASHIMA, T. N.; FENERICH, F. C. Departamento de Engenharia de Produção PROPOSTA DE MELHORIA NA ROTEIRIZAÇÃO DE UM PROCESSO COMERCIAL DO CAFÉ COMMODITY PROPOSAL FOR IMPROVEMENT IN COMMERCIAL PROCESS Departamento de Engenharia de Produção. , p. 1–21, 2017.

OLIVEIRA, N. M.; OLIVEIRA, A. J.; DANTAS, M. S. M.; REIS, S. R. A. DE O. Logística e Distribuição : Definições e Evolução da Logística em um Contexto Global. , p. 1–5, 2006.

POSSANI, P. Teoria de Grafos e suas Aplicações. , 2011.

RAMOS, J. M. B. José Marcio Benite Ramos Implementação e Análise do Problema do Caixeiro Viajante usando uma nova abordagem através dos Algoritmos Genético e Simulated Annealing Implementação e Análise do problema Caixeiro Viajante usando uma nova abordagem através dos A. , 2001.

RASMUSSEN, R. TSP in spreadsheets-A fast and flexible tool. Omega, v. 39, n. 1, p. 51–63, 2011.

REBOUÇAS, R. S.; GOMES, F. A. M. Problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios e janelas de tempo. , 2015.

SANTOS, R. DE L. C.; MEDEIROS, M. R. S. PERSPECTIVAS FUTURAS PARA O MODAL RODOVIÁRIO : AVANÇOS ESTRUTURAIS NA BAIXADA SANTISTA. , 2019.

SHIRABAYASHI, J. V.; MACHADO, D. DE A.; SANTOS, M. A. R.; SHIRABAYASHI, W. V. I. Um Estudo De Caso Para O Problema De Rotas Via Métodos Exatos E Heurísticos. Revista De Engenharia E Tecnologia, v. 11, n. 1, p. áginas 181-191, 2019.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da Pesquisa e Elaboração de

Dissertação, 2001.

TOTH, P.; VIGO, D. Vehicle Routing - Problems, Methods, and Applications. 2014.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, p. 191, 2012. Disponível em: <http://www.carlosmello.unifei.edu.br/Disciplinas/Mestrado/PCM-10/Apostila-Mestrado/Apostila_Metodologia_Completa_2012.pdf>. .

VALERETTO, C. A.; LOSCHI, R.; PAVAN, G. O uso da roteirização na busca pela eficiência Logística na distribuição de combustíveis líquidos. , v. 05, p. 72–79, 2017.