



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDA SCHWARZER

COMPARATIVO ENTRE O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE E CAIXEIRO  
VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO: ESTUDO DE CASO DE ENTREGA  
DE UM PRODUTOR RURAL

CURITIBA

2022

EDUARDA SCHWARZER

COMPARATIVO ENTRE O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE E CAIXEIRO  
VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO: ESTUDO DE CASO DE ENTREGA  
DE UM PRODUTOR RURAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Arinei Carlos Lindbeck da Silva

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Schwarzer, Eduarda

Comparativo entre o problema do caixeiro viajante e caixeiro viajante com dependência de tempo : estudo de caso de entrega de um produtor rural / Eduarda Schwarzer. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Orientador: Arinei Carlos Lindbeck da Silva

1. Caixeiros-viajantes. 2. Pesquisa operacional. 3. Rotas comerciais. 4. Morango. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Silva, Arinei Carlos Lindbeck da. IV. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO - 40001016070P1

## TERMO DE APROVAÇÃO


Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE PRODUÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **EDUARDA SCHWARZER** intitulada: **COMPARATIVO ENTRE O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE E CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO: ESTUDO DE CASO DE ENTREGA DE UM PRODUTOR RURAL**, sob orientação do Prof. Dr. **ARINEI CARLOS LINDBECK DA SILVA**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 14 de Outubro de 2022.

  
ARINEI CARLOS LINDBECK DA SILVA  
Presidente da Banca Examinadora

  
VOLMIR EUGÊNIO WILHELM  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

  
ROBSON SELEME  
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico este trabalho a quem colaborou diretamente comigo: meu orientador Professor Doutor Arinei e a minha família que acompanhou durante todo o meu trajeto até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me proporcionar perseverança durante toda a minha vida. Agradeço a minha família por serem tão incríveis e me acompanharem por todo esse tempo do mestrado. Ao meu pai, Marcos Schwarzer por estar sempre me ouvindo falar sobre o que realizei e sobre o que eu ainda pretendia fazer, e principalmente por não me deixar desistir. A minha mãe, Vera Schwarzer, por desde o início acreditar em mim apoiando a minha inscrição no Programa. As minhas irmãs, Camila e Nathalia, agradeço por terem feito parte desse processo, me escutando e discutindo o interesse.

Agradeço aos meus amigos pela indicação do mestrado e pela ideia sobre o tema do trabalho e, também, aos que me acompanharam por todo esse tempo sempre preocupados com o andamento.

Agradeço ao meu orientador que teve muita calma e paciência, ajudando durante o desenvolvimento do trabalho. Sem ele e seus conselhos, não teria conseguido.

## RESUMO

A pesquisa operacional constitui uma área de conhecimento e pode ser utilizada para encontrar soluções em problemas de roteirização de veículos. Um dos problemas conhecidos e estudados em relação à Pesquisa Operacional é o problema do caixeiro viajante, o qual apresenta muitas vertentes, sendo uma delas o problema do caixeiro viajante com dependência de tempo. Visando à eficiência desses problemas em determinar uma rota ótima, decidiu-se utilizá-lo para definir a melhor rota de entrega para um pequeno produtor rural que produz e comercializa morangos. A pesquisa busca fazer um comparativo entre o problema do caixeiro viajante e o problema do caixeiro viajante com dependência de tempo, que considera o momento do dia em que ocorrem as entregas e, assim, elenca-se a melhor rota, para o caso de poucos pontos em uma distância curta. O morango é uma fruta de alta perecibilidade, devendo ser manuseado com cuidado e refrigerado, por isso o tempo de entrega deve ser considerado, e um tempo de transporte muito longo pode afetar a qualidade do produto. Elencaram-se esses problemas para encontrar solução mais adequadas para a entrega do produto, sem elevar o custo da fruta e chegando ao consumidor da forma adequada.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional. Problema do Caixeiro Viajante. Problema do caixeiro viajante dependente de tempo. Roteirização de entrega.

## **ABSTRACT**

Operations research is an area of knowledge used to find solutions to vehicle routing problems. One of the known and studied problems in relation to Operations Research is the traveling salesman problem, which has many aspects, one of which is the time-dependent traveling salesman problem. Aiming at the efficiency of these problems in determining an optimal route, it was decided to use it to define the ideal delivery path for a small rural producer that produces and sells strawberries. The research seeks to compare the traveling salesman problem and the traveling salesman problem with time dependence, which considers the moment of the day when deliveries occur and, thus, the best route is listed, for the case of a few points within a short distance. Strawberry is a highly perishable fruit and must be handled with care and refrigerated, so the delivery time must be considered. A very long transport time can affect the quality of the product. These problems were listed in order to find an adequate solution for the delivery of the product, without raising the cost of the fruit and reaching the consumer in the appropriate way.

Keywords: Operations Research. Traveling Salesman Problem. Time-dependent Traveling Salesman Problem. Delivery Routing.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – TODOS OS CAMINHOS POSSÍVEIS DE UMA ROTA DE ENTREGA	23
FIGURA 2 – CAMINHO APÓS ROTEIRIZAÇÃO UTILIZANDO O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE	23
FIGURA 3 – ROTEIRIZAÇÃO DOS PONTOS DE ENTREGA UTILIZANDO O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE	36
FIGURA 4 – ROTEIRIZAÇÃO DA ÁREA CENTRAL DE ENTREGA UTILIZANDO O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE	37

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – NOTAÇÕES UTILIZADAS NO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE	24
QUADRO 2 – PARAMÊTROS UTILIZADO NAS RESTRIÇÕES DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO	26
QUADRO 3 – ETAPAS DA PESQUISA	29
QUADRO 4 – DESCRIÇÃO DOS NOMES DOS DADOS UTILIZADOS NO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO	35

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – HORÁRIOS DOS INTERVALOS DE ENTREGA	35
TABELA 2 – RESULTADO DA ROTEIRIZAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE	36
TABELA 3 - RESULTADOS DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE	37
TABELA 4 – SEQUENCIAMENTO DA ROTEIRIZAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO	38
TABELA 5 – RESULTADO DA ROTEIRIZAÇÃO UTILIZANDO O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO	39
TABELA 6 – KILOMETRAGEM PERCORRIDA PELO PCVDT	40
TABELA 7 – TEMPO PARA RODAR O PROGRAMA EM CADA UMA DAS BASES DE DADOS	41

## LISTA DE ALGORITMOS

ALGORITMO 1 – FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO	31
ALGORITMO 2 -RESTRICÇÃO 5. CADA NÓ RECEBE UMA ENTRADA	31
ALGORITMO 3 – RESTRICÇÃO 6. CADA NÓ TEM APENAS UMA SAÍDA	32
ALGORITMO 4 – RESTRICÇÃO 7. CADA NÓ É VISITADO EM UM ÚNICO INTERVALO DE TEMPO	32
ALGORITMO 5 – RESTRICÇÃO 8. RESTRICÇÃO DO NÚMERO DE ARCOS DE SAÍDA	32
ALGORITMO 6 – RESTRICÇÃO 9. DEFINIÇÃO DO ARCO DE TEMPO	33
ALGORITMO 7 – RESTRICÇÃO 10. ELIMINAÇÃO DE SUB-ROTA	33
ALGORITMO 8 – RESTRICÇÃO 11	33
ALGORITMO 9 – RESTRICÇÃO 12. DEFINIÇÃO DO HORÁRIO DE SAÍDA COMO 0	34
ALGORITMO 10 – RESTRICÇÃO 13 E 14. CONTROLAR O TEMPO DE PARTIDA DOS NÓS	34
ALGORITMO 11 – RESTRICÇÃO 15. COORDENAR O TEMPO DE PARTIDA DO NÓ	34
ALGORITMO 12 – RESTRICÇÃO 16. GARANTIR QUE A ROTEIRIZAÇÃO OCORRA DENTRO DO PLANEJADO	34

## **LISTA DE SIGLAS**

PO - Pesquisa Operacional

PCV – Problema do Caixeiro Viajante

PCVDT – Problema do Caixeiro Viajante com Dependência de Tempo

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1 Objetivo Geral	15
1.2 Objetivo Específico	15
1.3 JUSTIFICATIVA	16
<b>2 REVISÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
2.1 HISTÓRIA DO MORANGO	17
2.2 CONSUMO DO MORANGO	18
2.3 PLANTIO E CUIDADOS COM O MORANGO	19
2.4 TRANSPORTE	20
2.5 LOGÍSTICA	20
2.6 PESQUISA OPERACIONAL	21
2.7 PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE	22
2.8 PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO	25
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>28</b>
3.1 ETAPAS DA PESQUISA	29
3.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS	30
3.3 DESENVOLVIMENTO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE	30
3.4 DESENVOLVIMENTO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO	30
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>35</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

A entrega do produto na casa do cliente constitui um diferencial para as vendas, o que influencia o consumidor a optar por fornecedores que façam a entrega do produto, para maior conforto e comodidade. Se essa logística não for pensada de maneira estratégica, pode trazer prejuízos ao fornecedor (PEREIRA et al., 2016).

O morango é um fruto consumido em sua maioria *in natura*. Devido a isso, a entrega ao cliente deve ser rápida, para que o produto não perca suas características físicas, sendo este um fruto de alta perecibilidade (NOGUEIRA; JESUS, 2014). Neste trabalho, enfoca-se a entrega do morango *in natura*, considerando-se a sua perecibilidade durante o transporte.

A carga perecível é definida como aquela que possui valor delimitado pelo tempo, pois está sujeita à deterioração durante o tempo de transporte. Devido a isso, caso ocorra atraso na entrega do produto, pode ser necessário o seu descarte (INFRAERO, 2021).

A Pesquisa Operacional (PO) é muito utilizada em casos de roteirização de entrega sempre visando à diminuição de custos e o aumento de lucros. A logística está diretamente ligada à satisfação do cliente e, por isso, deve ser sempre desenvolvida de maneira estratégica (HILLIER; LIEBERMAN, 2013 e PEREIRA et al., 2015). Para encontrar a melhor rota de entrega, será utilizado o problema do caixeiro viajante (VERBEECK et al., 2014), e o problema do caixeiro viajante com dependência de tempo, considerando-se o horário de entrega do produto (CACCHIANI, BOLTON e TOTH, 2019).

Será realizada comparação entre os dois problemas, bem como a roteirização nos dois métodos para, então, definir-se o melhor trajeto para esse caso em específico. O estudo será feito baseado em uma pequena propriedade produtora de morangos no interior de Santa Catarina, a fim de definir a melhor rota de entrega da fruta e aumentar os lucros da propriedade, garantindo a satisfação do cliente e a entrega do produto em ótimo estado.

### 1.1 Objetivo geral

Comparar os dois problemas e encontrar a melhor rota de entrega com o menor tempo, para que o produtor rural consiga entregar o produto com a melhor qualidade possível.

### 1.2 Objetivos específicos

- Resolver o Problema do Caixeiro Viajante e Problema do Caixeiro Viajante com Dependência de Tempo.

- Analisar o resultado encontrado no Problema do Caixeiro Viajante e Problema do Caixeiro Viajante com Dependência de Tempo.
- Definir a melhor metodologia com base no menor tempo de entrega.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O morango é uma fruta consumida, em sua maioria, *in natura*, e o plantio dessa fruta vem crescendo cada vez mais em pequenas propriedades no Brasil, sendo cultivado em propriedades de agricultura familiar para o aumento de renda (ANTUNES; REISSER JUNIOR; SCHWENGBER, 2016, SOUSA; BARBOSA; RODRIGUES, 2016).

Uma maneira de o produtor aumentar a satisfação do cliente consiste em realizar a entrega do produto (PEREIRA et al., 2015 e BALLOU, 2006). Em casos que o produto é perecível, a atenção no momento da entrega deve ser redobrada, pois é necessário garantir que o produto chegue ao cliente em ótimas condições, sendo a gestão de qualidade de transporte de produtos perecíveis fundamental durante todo o processo de entrega, pois o controle de tempo e temperatura são os maiores obstáculos durante a logística (LEITE et al., 2014).

Para encontrar a melhor rota para o fornecedor realizar a entrega de seu produto ao cliente no menor tempo possível, será realizada a roteirização de entrega utilizando o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) e Problema do Caixeiro Viajante com Dependência de Tempo (PCVDT), e definir qual das rotas encontradas, satisfaz as necessidades do produtor.

O PCV resolve o problema, trazendo a solução da menor distância entre os caminhos percorridos e não considera o intervalo do dia que a entrega será realizada (GHIANI et al., 2020). Quando o assunto é o PCVDT, o momento em que a entrega ocorre passa a ter relevância para a resolução do problema (MONTERO, DIAS e BRONT, 2017), o que pode fazer com que a rota definida pelo PCV seja diferente da rota definida pelo PCVDT.

O estudo será realizado com base nos endereços de entrega do produtor rural, sendo 33 pontos de entrega e serão estudados cinco intervalos de tempo para as entregas serem realizadas. Os intervalos selecionados constituem os momentos que o produtor tende a fazer suas entregas.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 HISTÓRIA DO MORANGO

Há evidências de que os morangos silvestres, especialmente o *Fragaria vesca*, são consumidos desde a Pré-história, pela população do Norte e do centro da Europa. Há registros das sementes dessa espécie em sítios arqueológicos datados do período Neolítico (10.000 a 6.000 a.C.) e da Idade dos Metais (5.000 a 4.000 a.C.) (GALLETA; BRINGHURST, 1990).

Os morangos conhecidos atualmente provêm de um cruzamento natural, que ocorreu na França durante o século XVIII, das espécies *Fragaria chiloensis* e *Fragaria virginiana*. O cultivo desse híbrido teve início com a observação de um capitão francês chamado Amédée François Frézier que colecionava espécies exóticas, e, em uma viagem ao Chile, encontrou a espécie *Fragaria chiloensis* notando uma forte semelhança com a espécie *Fragaria virginiana*, sendo os frutos dessa espécie maiores e mais firmes, porém com aroma e coloração menos acentuados. Inicialmente as duas espécies foram cultivadas juntas, de forma intercalada, e apenas quando houve a brotação dos aquênios se iniciou o cultivo desse híbrido, o qual apresentou frutos com maior qualidade que os originais (ANTUNES, REISSER JUNIOR e SCHWENGBER, 2016).

Devido ao cruzamento ocorrido, hoje a espécie mais cultivada de morango mundialmente é a *Fragaria x Ananassa Duch*, o híbrido que surgiu com o cruzamento citado anteriormente. O nome da Ananassa surgiu devido ao fato de Antoine ter achado o morango com características similares ao abacaxi (*Ananas comosus*). O morangueiro é uma planta pertencente à família Rosaceae e ao gênero *Fragaria*, sendo *Fraga* a palavra latina utilizada para morango. (HUMMER e HANCOCK, 2009; ANTUNES, REISSER JUNIOR e SCHWENGBER, 2016).

O morangueiro quando cultivado tem um crescimento rasteiro com características de plantas herbáceas. As mudas devem ser renovadas todos os anos, pois, durante os ciclos, podem existir doenças que diminuem a produtividade da espécie (DARROW, 1966; HANCOCK et al, 1990; STRAND, 1994). O verdadeiro fruto do morango é o aquênio, sendo este, normalmente, confundido com as sementes do fruto. O morango é classificado como um pseudofruto, originado de uma flor com diversos ovários, no qual cada um irá originar um fruto (ANTUNES; REISSER JUNIOR; SCHWENGBER, 2016).

Por ser saboroso, o morango tornou-se bem aceito no mercado, normalmente cultivado por produtores de agricultura familiar, tornou-se uma das frutas mais consumidas em diversas regiões do mundo (GLOBO RURAL, 2013). Inúmeros fatos impactam a qualidade do morango, sendo um deles a temperatura da cadeia de distribuição, que deve ser controlada desde o início da colheita até chegar ao consumidor final (KELLY, 2019).

## 2.2 CONSUMO DO MORANGO

O morango é uma fruta que se destaca, sendo uma das frutas vermelhas mais consumida no mundo, de forma *in natura* ou processada. Conta com inúmeros benefícios à saúde, pois contém compostos fenólicos e Vitamina C, flavonoides (antocianinas, flavonóis e flavonóides) que são compostos que exibem comportamento anti-inflamatório e anticarcinogênico (SILVA; COZZOLINO, 2007; FORBES-HERNANDEZ et al., 2015). Podem auxiliar, também, a diminuição de riscos de doenças degenerativas, diabetes mellitus, doenças neurológicas, obesidade e doenças cardiovasculares (AFRIN et al., 2016).

Devido às suas propriedades fisiológicas e morfológicas, o morango é um pseudofruto altamente perecível, diminuindo, assim, sua vida de prateleira. Deve ser consumido *in natura* em até 5 dias após a colheita, ou deve ser processado para outros usos dentro desse mesmo período. Caso não seja consumido nesse tempo, apresentará desidratação do pseudofruto, manchas escuras e incidência de fungos (ALMENAR et al., 2009; SALLATO et al., 2007; MIRAHMADI et al., 2011).

No ano de 2016, o Brasil se destacou pela produção de morango na América do Sul, juntamente aos países: Peru, Argentina e Chile. Sendo no Brasil 40% de todas as terras cultivadas de morango na América do Sul. No território brasileiro, os estados que se destacaram na produção, no ano de 2016, foram: Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul, Espírito Santo, Santa Catarina, Paraná e o Distrito Federal (ANTUNES; REISSER JUNIOR; SCHWENGBER, 2016).

Por estimativas da FAO, em 2017, a América do Sul produziu um total de 167.334 toneladas de morango, em 7.725 hectares de plantação, em que os países com maiores áreas plantadas foram Argentina, Peru, Venezuela e Colômbia, e o Brasil não sendo um dos maiores produtores neste ano. O Brasil conta com uma área de, apenas, 400 hectares, produzindo ao ano 3.390 toneladas do produto, por isso não se enquadra entre os maiores produtores (FAOSTAT, 2019).

Entretanto, dados da Embrapa, Incaper-ES, Emater (DF, MG, PR, RS), APTA e Epagri – SC revelam que o Brasil cultiva 4.500 hectares de morango, produzindo, anualmente, 16.5000 toneladas. Comparando esses dados com os coletados pelo FAO, pode se dizer que o Brasil tem uma produção próxima a do Japão, sendo o décimo produtor mundial e o maior produtor na América do Sul (ANTUNES, BONOW e JUNIOR, 2020).

A produtividade média no Brasil depende do local e do sistema de cultivo adotado, mas a média no país é próxima de 30 toneladas por hectare, sendo uma média baixa comparada aos maiores produtores mundiais (Espanha e Estados Unidos), tendo uma produtividade de 50 toneladas por hectare. As propriedades produtoras de morango no Brasil têm entre 0,5 hectare a 1 hectare, sendo as propriedades de cultivo familiar. Áreas de cultivo de empresas podem chegar a 15 hectares de plantação (ANTUNES, BONOW e JUNIOR, 2020).

O crescimento do cultivo do morangueiro no Brasil é estimado entre 4 e 6% ao ano, devido ao uso de novos sistemas de produção, utilização de mudas melhores, conhecimento da rentabilidade dessa rosácea. O país não tem a tradição de exportar o morango, porém em 2019 foram exportados US\$ 448 milhões em frutos frescos e processados, somando 190 toneladas do produto e foram importados um total de US\$ 8 milhões do mesmo produto, totalizando 5,1 milhões de quilos (ANTUNES, BONOW e JUNIOR, 2020; AGOSTAT, 2019).

No mundo, foram produzidas 9.223.815 toneladas do morango em 395.844 hectares. No Brasil foram produzidas 165.440 toneladas do fruto em 4.500 hectares, produtividade média de 30 toneladas por hectare, durante o ano de 2019 (FAOSTAT, 2019).

Além de ter uma boa aceitação no mercado e uma grande diversidade em produtos processados (FISS, et al., 2018), o fruto tem grande importância no Brasil pois constitui fator importante para a geração de empregos, 70% do morango plantado no país são utilizados "*in natura*", e os outros 30% são destinados à indústria (IBRAF, 2012).

Com a alta perecibilidade do morango, os produtores precisam pensar em novas maneiras de manter o morango fresco ao ser entregue *in natura*, ou utilizar o pseudofruto para alimento processado, como sorvetes, geleias e licores. Nesse caso podem utilizar os morangos que não foram vendidos, ou os quais apresentam alguma imperfeição, não perdendo, assim, o produto (NOGUEIRA; JESUS, 2014).

### 2.3 PLANTIO E CUIDADOS DO MORANGO

A cultura do morango requer mão de obra e cuidados especiais, indo além do cultivo simples, onde não pode ser dito como um trato convencional e nem de pouca tecnologia (MACHADO, 2016). No Brasil a comercialização do morango é feita por pequenos agricultores familiares e, normalmente, realizada de forma *in natura*, em pequenos negócios ou em feiras livres (SOUSA; BARBOSA; RODRIGUES, 2016). Devido à alta perecibilidade, pode-se gerar até 40% de perda pós colheita, ou por armazenagem incorreta. Por causa desse fato, a comercialização *in natura* não consegue sustentar as atividades da produção, e, para que a prática tenha uma rentabilidade maior, os produtores processam o morango para desenvolver produtos com maior valor agregado, sendo os mais comuns, geleias, compotas, sorvetes e licores, aumentando, assim, a renda familiar PONCE et al., 2009; COPETTI, 2010, SILVA, 2010; SOUSA; BARBOSA; RODRIGUES, 2016).

O cultivo do morango pode ser realizado em climas quentes e frios, uma vez que o calor auxilia o desenvolvimento das folhagens e o frio colabora com a evolução da fase floral, a qual gera o pseudofruto (VERDIAL, 2004). O morango tem sua qualidade diretamente influenciada pela oscilação de temperatura, desde o momento da colheita até a entrega ao consumidor (KELLY et al, 2019).

No Brasil a agricultura familiar possui extrema importância na economia, porém esses agricultores sofrem com baixa produtividade, altos custos e baixos preços de venda, o que acarreta na venda das propriedades para grandes latifundiários (ASCARI, et al, 2019; HEIN; SILVA; LUIZ, 2019).

## 2.4 TRANSPORTE

O desenvolvimento de um país está ligado aos meios de transporte, para que realizem o fornecimento de serviços e mercadorias, e o deslocamento de pessoas. Sendo assim, o meio de transporte se tornou fundamental para qualquer tipo de economia (SLACK et al., 2010).

Para se desenvolver uma logística adequada ao seu tipo de negócio, é necessário conhecer os tipos de transporte existentes e qual seria o seu objetivo com o transporte (KEEDI, 2011).

O transporte consiste no elemento mais caro, representando uma grande parte dos custos da empresa, podendo variar entre 4 e 25% do faturamento bruto e, em muitos casos, pode superar o lucro operacional. Por esses motivos, é necessário que o transporte seja muito estudado e não cause prejuízos para a companhia (FLEURY et al., 2000).

Encontrar um transporte barato e com qualidade contribui para a redução do preço do produto. Em um mercado competitivo como pode se notar nos dias de hoje, encontrar uma forma de fazer uma boa entrega do produto e com um custo mais baixo traz um ganho considerável para o lucro da empresa.

## 2.6 LOGÍSTICA

A função da logística é realizar um controle de fluxo de mercadorias de maneira eficaz e eficiente, conseguindo desta maneira coordenar todas as atividades de transporte (BALLOU, 2006 e MUTANOV et al., 2020).

O sucesso da logística está relacionado à satisfação do cliente e, por isso, a qualidade do produto no momento da entrega é muito importante. O custo do processo também deve ser considerado, pois é necessário realizar a entrega com qualidade, sem um alto custo envolvido (PEREIRA et al., 2016).

O termo “logística” se originou durante a Segunda Guerra Mundial, utilizada, inicialmente, em atividades militares como coordenação de tropas e movimentação de munições e armamentos para novos locais, assim como para transporte e abastecimento de suprimentos (SLACK et al., 2010; ISLAM et al., 2013). Quando a logística passou a ser utilizada no campo dos negócios, o seu conceito passou a englobar o fluxo de compras, armazenamento, controle de estoque e informações (SLACK et al., 2010)

Há muitas definições para a logística e uma delas é: a logística é uma maneira correta de se obter o produto correto, com a qualidade esperada, na quantidade correta, no local correto, pelo preço justo e para o cliente correto (MAGNAN, LALWANI e BUTCHER, 2008). Outra definição, dada por Gomes e Ribeiro (2011), refere-se ao fato de que logística realiza o gerenciamento estratégico das movimentações, aquisições e armazenamento de matéria prima e produto acabado de maneira organizada. Essa movimentação tem como objetivo maximizar os lucros da organização, realizando o processo com um baixo custo.

Com a globalização e o aumento da tecnologia, a logística passou a ser, ainda, mais importante, pois os produtos passaram a ser entregues em diversos locais do mundo, aumentando os pontos de vendas e a distância para a entrega, e com isso o custo do processo (FLEURY, 2012).

Mesmo a logística estando diretamente ligada ao sucesso de uma empresa e a satisfação de seus clientes, ainda, é pouco difundida e não é utilizada em seu máximo (SANTOS NETO e SANTANA, 2015). Até pouco tempo atrás, a logística era vista, apenas, como um apoio às empresas nas tarefas de transporte de produtos, mas atualmente sabe-se que a logística vai muito além do transporte de mercadorias, englobando várias tarefas do dia a dia que garantem que o produto chegue até o cliente com a qualidade e a rapidez prometidas. Mas, para que isso seja alcançado, um planejamento deve ser feito e a satisfação do cliente deve ser sempre um objetivo a ser alcançado. É necessária uma gestão competente, pois o gerenciamento deve considerar informações desde a compra e entrega de matérias primas, o material durante a produção e, então, a distribuição do produto finalizado (SANTOS NETO e SANTANA, 2015, CHING, 2010).

O canal de distribuição física de material engloba todas as atividades necessárias para que o produto finalizado seja entregue ao consumidor final. No caso de uma fábrica não realizar a venda direta para o cliente final, o fluxo sempre seguirá saindo da fábrica até chegar ao cliente final (CASTIGLIONI, 2009; ALMEIDA; LUCENA, 2012).

Uma maneira de otimizar a logística dentro de uma empresa, seja de pequeno, médio ou grande porte, é utilizar a pesquisa operacional (PO), gerando, assim, uma vantagem competitiva nessa área. A PO auxilia a quantificação das operações, dimensiona os custos e otimiza as rotas de entrega (OLIVEIRA, 2015).

## 2.7 PESQUISA OPERACIONAL

O termo Pesquisa Operacional (PO) é utilizado para designar uma área de conhecimento de desenvolvimento de sistemas complexos por meio de métodos científicos e tem a finalidade de comparar e prever estatísticas ou decisões alternativas, ajudando a determinar ações. Tem como objetivo principal otimizar a programação de atividades ou recursos durante um processo, tratando, de forma

sistematizada, os problemas que necessitam de recursos escassos (CARDOSO, 2011).

A PO pode ser aplicada a diversas áreas, como logística, organização de escalas, controle de produção e problemas de roteamento de veículos. Auxilia a resolver problemas de diferentes segmentos, utilizando técnicas e modelos matemáticos, com o objetivo de otimizar os processos e diminuir os custos da operação e aumentar os lucros, desenvolvendo, assim, um planejamento estratégico bastante competitivo (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

A pesquisa operacional também auxilia na resolução dos problemas de roteirização de veículos (Vehicle Routing Problems – VRPs, podem-se encontrar vários problemas clássicos de roteirização de veículos, como o problema de caminho mínimo, problema de fluxo máximo e problema de transporte. Ao utilizar a PO para resolver problemas como os citados anteriormente, pode-se minimizar o custo de transporte, levando a uma economia significativa para a empresa e uma redução de valor do produto final (ENOMOTO, 2005).

Para definir um roteiro de transporte, precisa-se conhecer a origem, o destino do material e que cada ponto de entrega deve ser visitado, apenas, uma vez. Além disso, devem-se realizar várias análises para que a viabilidade do percurso seja verificada considerando-se locais de entrega, dimensões da carga e tempo para executar o serviço e, ainda, considerando-se que o custo dessa operação deve ser minimizado (LAPORTE et al, 2002)

A PO não utiliza, apenas, uma técnica para resolver todos os problemas com que se depara, pois, cada problema tem uma complexidade diferente e a técnica utilizada deve ser compatível com a dificuldade encontrada. A técnica mais utilizada é a programação linear, porém existem outras como programação inteira, a programação dinâmica, programação não linear e a otimização em rede (TAHA, 2008). O uso do computador é recomendável no momento de encontrar soluções ótimas para o problema e após identificar o modelo apropriado para ser utilizado em seu estudo deve-se repassar ao computador quais são as restrições computacionais e físicas que existem dentro do sistema (BELFIORE; FÁVERO, 2013).

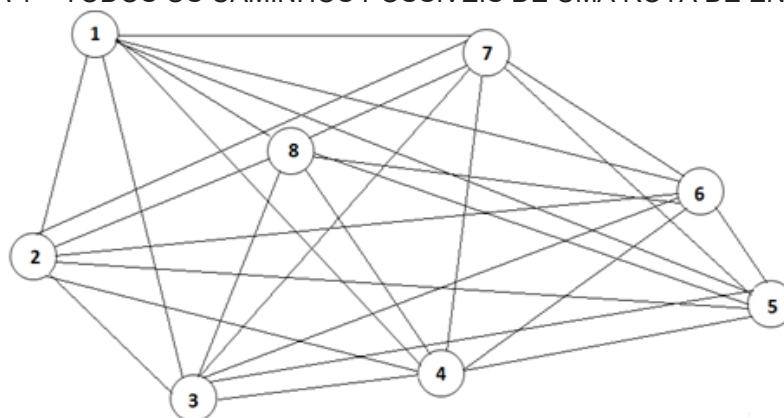
## 2.8 PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) ou em inglês *Travelling Salesman Problem* (TSP), é um caso específico dentro do problema de roteamento de veículos. Foi formulado por Karl Menger em 1930, e pode ser definido com um problema de fácil descrição e compreensão, possui um grande uso dentro a logística e os meios de transporte. O PCV, deu origem a grandes variedades de pesquisas, devido a sua simples descrição, mas sua complexidade no momento de se obter uma solução (GARCIA et al., 2021).

O PCV engloba o problema de um caixeiro, que inicia sua rota de trabalho em um ponto de partida e visita vários clientes pré-estabelecidos, visitando cada um

apenas uma vez e retornando ao ponto de partida (GHIANI et al., 2020). Na figura 1, pode-se visualizar um roteiro mostrando todos os caminhos possíveis entre os pontos.

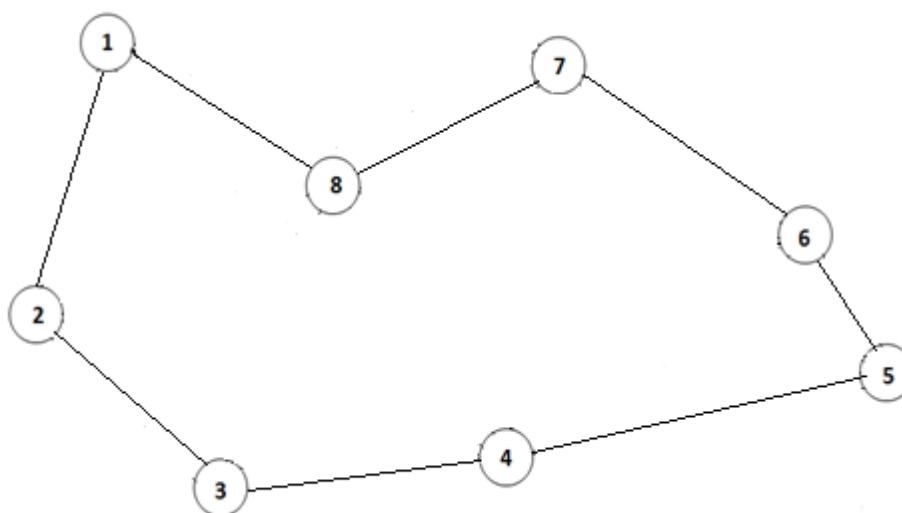
FIGURA 1 – TODOS OS CAMINHOS POSSÍVEIS DE UMA ROTA DE ENTREGA



FONTE: Autoria Própria (2022).

Na figura 1, apresenta-se um problema do caixeiro viajante, onde cada ponto de entrega é retratado por um número, que estão conectados pelos possíveis caminhos entre eles. O custo do deslocamento, é baseado nas distâncias entre os pontos de entrega. O objetivo do problema consiste na determinação da rota com o menor deslocamento possível e que realiza a entrega em todos os pontos de entrega (LAPORTE, 2010). Na figura 2, apresenta-se um roteiro onde a rota foi otimizada.

FIGURA 2 – CAMINHO APÓS A ROTEIRIZAÇÃO UTILIZANDO O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE



FONTE: Autoria Própria (2022).

Quando a rota de entrega é um caminho fechado, qualquer ponto de entrega pode ser utilizado como o de partida, mas por razões de praticidade, o ponto de entrega 1 é utilizado como o inicial (MANERBA et al., 2016).

O PCV considera todas as variáveis da rota, para otimizar os percursos e diminuir os custos de todo o processo, para isso utiliza softwares que auxiliam o desenvolvimento do algoritmo para encontrar uma solução ótima (GHIANI et al., 2020; WU et al., 2020; AVRAHAM e RAVIV, 2020).

No quadro 1, apresenta-se a formulação Miller-Tucker-Zemlin, conhecida como MTZ, bem como os parâmetros e as variáveis utilizadas para a formulação.

QUADRO 1 – NOTAÇÕES UTILIZADAS NO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

Parâmetros	
$c_{ij}$	Distância de viagem do arco (i, j).
$n$	Número de pontos de entrega sem incluir o ponto de saída
Variáveis	
$x_{ij}$	É uma variável binária igual a 1, quando o fluxo da rota é de i para j, e igual a 0, se o fluxo for no sentido inverso

FONTE: autoria própria (2022).

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (\text{FO})$$

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

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

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1, \quad 2 \leq i \neq j \leq n, \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (4)$$

A função objetivo FO é a formulação matemática do problema do caixeiro viajante, e busca minimizar o deslocamento total da viagem. A restrição 1 assegura que o caixeiro deve visitar todos os pontos de entrega e retornar ao fim das entregas ao local de partida. A restrição 2 garante que o caixeiro visite cada ponto de entrega, apenas uma vez. E a restrição 3 certifica que não sejam criadas sub-rotas, tendo a certeza que o caixeiro irá seguir, apenas, uma rota. E a restrição 4 apresenta o domínio da variável de decisão.

## 2.9 PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO

Devido ao aumento de congestionamento nas cidades, muitas empresas passaram a estudar as rotas de entrega de seus produtos, para garantir que a entrega ocorra no momento definido e não existam atrasos devido ao tráfego nas cidades. (MONTERO, DIAS e BRONT, 2017 & ZHANG et al., 2018).

Durante os últimos anos, houve um aumento no aprimoramento dos problemas de roteamento de veículos, tornando-os mais complexos ao levar em consideração o momento do dia em que as entregas devem ser realizadas. Esses problemas passaram a ser conhecidos como problemas de roteamento dependentes de tempo (ROMERO e BRONT, 2019).

Essa variação teve uma motivação adicional a ser estudada, pois pode ser aplicada, também, ao clássico problema do caixeiro viajante, passando a considerar o momento em que as entregas devem ser realizadas, definindo o melhor horário de entrega do produto, como horário de menor tempo de deslocamento. Quando o horário de entrega passa a ser relevante, o problema passa a ser conhecido como Problema do Caixeiro Viajante com Dependência de Tempo (PCVDT), ou em inglês *Time Dependent Traveling Salesman Problem* (TDTSP) (ROMENO e BRONT, 2019).

O PCV considera um intervalo fixo para a entrega. Por exemplo, saída do depósito às oito horas da manhã e retorno às dezoito horas, e, durante este período de tempo, todas as entregas seriam realizadas. Entretanto, na prática, isso não ocorria, pois, o horário da entrega não era constante, devido ao tráfego do local, fazendo com que as entregas fossem realizadas em horários diferentes dos definidos anteriormente (CACCHIANI, BOLTON e TOTH, 2019).

O PCVDT é uma versão do clássico PCV, em que o custo de deslocamento entre o ponto de entrega  $i$  e o ponto de entrega  $j$  depende de qual intervalo de tempo o ponto de entrega  $i$  é visitado, sabendo qual o tempo necessário para trafegar entre um ponto de entrega e outro (BIGRAS, GAMACHE e SAVARD, 2008). Para cada problema, algumas novas restrições podem ser atribuídas.

Para o PCVDT, a formulação matemática foi adaptada do trabalho de Schmidt, 2019 e está apresentada abaixo. Ao total foram definidas 12 restrições para que o problema fosse roteirizado com base nas necessidades do problema proposto. No quadro 2, expõem-se as formulações e suas respectivas explicações.

QUADRO 2 – PARAMÊTROS UTILIZADO NAS RESTRIÇÕES DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO

Parâmetros	
$T$	Duração de cada intervalo de tempo $h \in H$
$q_i$	Demanda de cada cliente $i \in N_c$
$Q$	Capacidade do veículo
$s_i$	Tempo de atendimento de cada cliente $i \in N_c$
$t_{ij}^h$	Tempo de viagem do arco $(i, j) \in A$ no intervalo de tempo $h$
$m + 1$	Número de intervalos de tempo em um dia
Conjuntos	
$N_c$	Conjunto de clientes
$N_d$	Conjunto de potenciais depósitos
$N_t$	Conjunto de terminais
$K$	Conjunto de veículos
$H$	Conjunto de intervalos de tempo
$A$	Conjunto de arcos
$\delta(I)$	$ K $ Veículos idênticos, um para cada depósito potencial $i \in N_d$
Variáveis	
$a_i$	Hora de partida do nó $i \in N$
$u_i$	A demanda acumulada entregue a partir do cliente $i$
$w_j$	Se o depósito $j$ for selecionado
$x_{ij}^h$	Se arco $(i, j)$ é percorrido por um veículo no período de tempo $h$
$y_i^h$	Se o nó $i \in N$ for deixado no intervalo de tempo $h \in H$
$z_{ij}$	Se arco $(i, j)$ é atravessado por um veículo
Índices	
$h$	Intervalo de tempo
$i, j, v$	Nós

FONTE: Autoria Própria (2022).

A formulação matemática está apresentada abaixo:

$$\min \sum_{(i,j) \in A} \sum_{h \in H} t_{ij}^h x_{ij}^h \quad (FO)$$

A formulação está sujeita às restrições a seguir:

$$\sum_{i \in (N_c \setminus \{j\}) \cup N_d} z_{ij} = 1, \quad \forall j \in N_c \quad (5)$$

$$\sum_{j \in (N_c \setminus \{i\}) \cup N_t} z_{ij} = 1, \quad \forall j \in N_c \quad (6)$$

$$\sum_{h \in H} x_{ij}^h = z_{ij}, \quad \forall (i, j) \in A \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N_c} z_{ij} \leq |K|w_i, \quad \forall i \in N_d \quad (8)$$

$$x_{ij}^h \leq y_i^h, \quad \forall (i, j) \in A, \forall h \in H \quad (9)$$

$$u_i - u_{j+Qz_{ij}} \leq Q - q_j, \quad \forall i, j \in N_c, i \neq j \quad (10)$$

$$q_i \leq u_i \leq Q, \quad \forall i \in N_c \quad (11)$$

$$\sum_{j \in N_c} x_{ij}^0 = \sum_{j \in N_c} \sum_{v \in \delta} z_{jv}, \quad \forall i \in N_d \quad (12)$$

$$a_j \geq a_i + s_j + t_{ij}^h - 2T(m+1)(1 - x_{ij}^h), \quad \forall (i, j) \in A, \forall h \in H \quad (13)$$

$$a_j \leq a_i + s_j + t_{ij}^h + T(m+1)(1 - x_{ij}^h), \quad \forall (i, j) \in A, \forall h \in H \quad (14)$$

$$\sum_{h \in H} hTy_i^h \leq a_i \leq \sum_{h \in H} hTy_i^h + T - \varepsilon, \quad i \in N_c \quad (15)$$

$$a_v \leq \sum_{j \in N_c} z_{jv} (T(m+1) - \varepsilon), \quad \forall v \in \delta(i), \forall i \in N_d \quad (16)$$

As restrições 5 e 6 apresentam que cada ponto de entrega é visitado, apenas, uma vez, e nenhum ponto de entrega pode ser visitado mais do que uma vez por rota. Assim, após o ponto de entrega ser visitado, o caixeiro passa para o próximo, ou retorna ao depósito. A restrição 7 define que cada ponto de entrega é visitado em um

único intervalo de tempo. A restrição 8 é utilizada para estabelecer que o número máximo de caminhos possíveis que saem de um depósito é, no máximo, o número de pontos de entrega a serem visitados. E, conforme a restrição de número 9, se um caminho é percorrido em um intervalo  $H$ ; então  $h$  é o intervalo de tempo de origem desse ponto de entrega.

As restrições 10 e 11 são baseadas na restrição de eliminação de sub-rotas do MTZ, definindo apenas uma rota e que não seja possível a criação de sub-rotas. A restrição de número 12 define que o horário de saída do veículo é sempre 0 e cada ponto de entrega é visitado em um único intervalo de tempo. Utilizaram-se as restrições 13 e 14 para controlar o tempo de partida dos pontos de entrega. Na restrição 14, é necessário multiplicar o último termo por 2, para garantir que este termo, ainda, atue como um grande  $M$ , para o caso de  $a_i + s_j + t_{ij}^h$ , seja maior do que o tempo planejado para a entrega dos produtos. A restrição de número 15 coordena o tempo de partida de cada ponto de entrega  $i$  e vincula a intervalos de tempo subsequentes. A restrição 16 foi utilizada para garantir que o veículo realize a sua rota dentro do horizonte planejado previamente. O intervalo de tempo da entrada pode ser diferente do da saída, mas cada ponto de entrega somente pode ser visitado em um único intervalo de tempo.

## 2 METODOLOGIA

O método é o caminho utilizado para realizar alguma coisa, e, quando esse caminho é conhecido, passa a ficar mais fácil o processo, pois sabe-se onde se está e onde pretende chegar. Assim, com essas informações, é possível definir o que será feito para encontrar a solução (PEREIRA et al., 2018). Neste capítulo serão mostradas as abordagens da pesquisa, a apresentação do problema e o passo a passo para encontrar a solução.

Com relação à forma de abordagem, definiu-se uma pesquisa quantitativa, a qual, de acordo com PEREIRA et al. (2018), é um método no qual é feita a coleta de dados numéricos ou quantitativos e, com esses dados, é possível desenvolver um banco de dados e utilizar técnicas matemáticas para tratá-los.

Quanto aos meios de coleta de dados, para o desenvolvimento do referencial teórico, realizou-se uma pesquisa bibliográfica. Para se escrever um artigo ou dissertação, precisa-se realizar uma pesquisa bibliográfica primeiramente, a pesquisa e a leitura fazem o pesquisador se aperfeiçoar com o tema e desenvolver competências cognitivas para dar continuidade a pesquisa (PEREIRA et al., 2018). Para o levantamento de dados aplicados ao problema, utilizou-se a pesquisa-ação, cujo intuito é encontrar a solução dos problemas de forma participativa, com envolvimento de uma pessoa no local da pesquisa (PEREIRA et al., 2018), nesse caso a presença do pesquisador.

No que diz respeito à natureza da pesquisa, elencou-se a pesquisa aplicada, a qual, conforme Marcondes et al. (2017), esta assenta-se em um problema existente e busca uma solução para esse problema durante toda a pesquisa.

No que concerne ao tipo de investigação da pesquisa, estabeleceu-se o uso da investigação descritiva, uma vez que, segundo Marcondes et al. (2017), esse formato procura descobrir como as coisas funcionam e juntar isso à natureza da pesquisa para descobrir os problemas. Entendendo seu funcionamento será possível encontrar a solução do problema proposto.

### 3.1 ETAPAS DA PESQUISA

No quadro 3, apresentam-se as etapas do trabalho.

QUADRO 3 – ETAPAS DA PESQUISA

I	Levantamento bibliográfico visando à construção do referencial teórico, envolvendo Problema do Caixeiro Viajante, Problema do Caixeiro Viajante com Dependência de Tempo, Pesquisa Operacional, Transporte e Logística e Consumo do Morango.
II	Coleta dos dados da rota de entrega do produto, contendo os endereços dos clientes, tempo médio de deslocamento para entrega em todos os clientes e periodicidade das entregas.
III	Levantamento das distâncias entre os pontos de entrega.
IV	Levantamento do tempo de entrega entre os pontos, em $c$ intervalos do dia.
V	Transferência dos dados para uma planilha Excel.
VI	Com base nos dados encontrados, montar as matrizes necessárias para a solução do problema.
VII	Definir o software a ser utilizado para a leitura dos dados e para encontrar uma solução.
VIII	Desenvolvimento do programa para encontrar a solução do problema do caixeiro viajante.
IX	Desenvolvimento do programa para encontrar a solução do problema do caixeiro viajante com dependência de tempo.
X	Análise e comparação das soluções encontradas em cada um dos problemas.
XI	Discussão dos resultados e contribuição da pesquisa ao meio acadêmico.
XII	Considerações finais.

FONTE: autoria própria (2022).

### 3.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Para o desenvolvimento do referencial teórico, realizaram-se pesquisas em artigos, dissertações e revistas relacionados aos temas abordados neste trabalho. Para o levantamento de dados, sobre os locais de entrega, realizou-se uma reunião com o produtor para que as informações fossem discutidas, questionando sobre sua rotina de entrega, a localização dos clientes e o tempo médio para que todos os clientes fossem atendidos.

Os dados repassados pelo produtor, como quantidade de clientes e endereços de entrega, foram computados para uso subsequente. Posteriormente, coletaram-se todas as informações de distância entre cada um dos pontos e o tempo de deslocamento entre os clientes, em cinco intervalos do dia. Para a obtenção de distância e tempo entre cada um dos pontos, utilizou-se o Google Maps, devido a isso, os tempos de deslocamento são valores aproximados. Organizaram-se esses dados em formato de matriz, mostrando a distância entre cada ponto, para resolver o problema do caixeiro viajante. E, para resolver o problema do caixeiro viajante com dependência de tempo, as matrizes consideraram os tempos de deslocamento entre os clientes nos intervalos de tempo definidos. A diagonal principal de cada uma das matrizes é composta de zeros, pois a distância, ou o tempo entre cada ponto é inexistente.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

O programa utilizado para resolver o problema do caixeiro viajante foi o Lingo. Esse software se conecta com o Excel, e, por essa razão, foi escolhido.

Para encontrar a solução do PCV, utilizou-se a formulação do MTZ, como apresentado no referencial teórico. A formulação foi transformada para a linguagem do software e, com isso, foi possível encontrar a solução com base no PCV. O software foi programado para ler as informações disponibilizadas na planilha Excel. A solução do problema foi exportada para uma nova matriz do Excel, pois o Lingo possibilita que isso seja realizado. A resolução é apresentada em formato de matriz, trazendo os resultados como 1 e 0, verdadeiro e falso respectivamente.

### 3.4 DESENVOLVIMENTO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO

Para o PCVDT, utilizou-se a linguagem C++ para transcrever o problema e encontrar a solução, o programa utilizado foi o Gurobi. No algoritmo 1, apresenta-se a formulação do problema do PCVDT; e nos algoritmos de número 2 até número 12, apresentam-se as restrições, utilizadas durante a resolução do problema.

### Algoritmo 1 – Formulação do Problema do Caixeiro Viajante com Dependência de Tempo

```

Tempo = new int** [NDepositos + NClientes + NTerminais];
for (int i = 0; i < NDepositos + NClientes + NTerminais; i++) {
    Tempo[i] = new int* [NDepositos + NClientes + NTerminais];
    for (int j = 0; j < NDepositos + NClientes + NTerminais; j++) {
        Tempo[i][j] = new int[NPeriodos];
    }
}
for (int h = 0; h < NPeriodos; h++) {
    for (int i = 0; i < NDepositos + NClientes + NTerminais; i++) {
        for (int j = 0; j < NDepositos + NClientes + NTerminais; j++) {
            if (i < NDepositos + NClientes && j < NDepositos + NClientes) {
                Tempo[i][j][h] = teste[h][i][j];
            }
        }
    }
}
for (int h = 0; h < NPeriodos; h++) {
    for (int i = 0; i < NDepositos; i++) {
        for (int j = 0; j < NDepositos + NClientes; j++) {
            for (int k = 0; k < NVeiculos; k++) {
                Tempo[k + NVeiculos * i + NDepositos + NClientes][j][h] = Tempo[i][j][h];
            }
        }
    }
}
for (int h = 0; h < NPeriodos; h++) {
    for (int i = 0; i < NDepositos + NClientes + NTerminais; i++) {
        for (int j = 0; j < NDepositos; j++) {
            for (int k = 0; k < NVeiculos; k++) {
                Tempo[i][k + NVeiculos * j + NDepositos + NClientes][h] = Tempo[i][j][h];
            }
        }
    }
}
}

```

### Algoritmo 2 – Restrição 5. Cada nó é visitado uma única vez.

```

//Restricoes1 (tudo que chega )
for (int j = NDepositos; j < NDepositos + NClientes+NTerminais; j++) {
    if (j < NDepositos + NClientes) { //chega no cliente
        for (int i = 0; i < NDepositos + NClientes; i++) {
            if (i != j) {
                expressao += z[i][j];
            }
        }
        nome = "R1_" + to_string(j);
        modelo.addConstr(expressao == 1, nome);
        expressao = 0;
    }
    else { //chega no terminal
        for (int i = NDepositos; i < NDepositos + NClientes; i++) {
            expressao += z[i][j];
        }
        nome = "R1_" + to_string(j);
        modelo.addConstr(expressao == 1, nome);
        expressao = 0;
    }
}
}

```

Algoritmo 3 – Restrição 6. Cada nó é visitado apenas uma vez.

```

//Restricoes2 (tudo que sai)
for (int i = 0; i < NDepositos + NClientes; i++) {
    if (i < NDepositos) { //sai do deposito
        for (int j = NDepositos; j < NDepositos + NClientes; j++) {
            expressao += z[i][j];
        }
        nome = "R2_" + to_string(i);
        modelo.addConstr(expressao == 1, nome);
        expressao = 0;
    }
    else { //sai do cliente
        for (int j = NDepositos; j < NDepositos + NClientes + NTerminais; j++) {
            if (i != j) {
                expressao += z[i][j];
            }
        }
        nome = "R2_" + to_string(i);
        modelo.addConstr(expressao == 1, nome);
        expressao = 0;
    }
}

```

Algoritmo 4 – Restrição 7. Cada nó é visitado em um único intervalo de tempo.

```

//Restricoes3
for (int i = NDepositos; i < NDepositos + NClientes; i++) {
    for (int j = NDepositos; j < NDepositos + NClientes; j++) {
        if (i != j) {
            nome = "R3_" + to_string(i) + "_" + to_string(j);
            modelo.addConstr(u[i] - u[j] + NClientes * z[i][j] <= NClientes-1, nome);
        }
    }
}

```

Algoritmo 5 – Restrição 8. Restrição do número de arcos de saída.

```

//Restricoes4
for (int i = 0; i < NDepositos; i++) {
    for (int j = NDepositos; j < NDepositos + NClientes; j++) {
        expressao += x[i][j][0];
        for (int k = 0; k < NVeiculos; k++) {
            expressao -= z[j][k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos];
        }
    }
    nome = "R4_" + to_string(i);
    modelo.addConstr(expressao == 0, nome);
    expressao = 0;
}

```

### Algoritmo 6 – Restrição 9. Definição do arco de tempo.

```

//Restricoes5
for (int i = 0; i < NDepositos + NClientes; i++) {
    for (int j = NDepositos; j < NDepositos + NClientes; j++) {
        if (i != j) { //depot-client
            for (int h = 0; h < NPeriodos; h++) {
                expressao += x[i][j][h];
            }
            nome = "R5_" + to_string(i) + "_" + to_string(j);
            modelo.addConstr(expressao == z[i][j], nome);
            expressao = 0;
        }
        if (i < NDepositos) {
            for (int k = 0; k < NVeiculos; k++) {
                for (int h = 0; h < NPeriodos; h++) {
                    expressao += x[j][k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos][h];
                }
                nome = "R5_" + to_string(j) + "_" + to_string(k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos);
                modelo.addConstr(expressao == z[j][k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos], nome);
                expressao = 0;
            }
        }
    }
}

```

### Algoritmo 7 – Restrição 10. Eliminação de sub-rota

```

//Restricoes6
for (int i = 0; i < NDepositos + NClientes; i++) {
    for (int j = NDepositos; j < NDepositos + NClientes; j++) {
        if (i != j) {
            for (int h = 0; h < NPeriodos; h++) {
                nome = "R6_" + to_string(i) + "_" + to_string(j) + "_" + to_string(h);
                modelo.addConstr(x[i][j][h] <= p[i][h], nome);
            }
        }
        if (i < NDepositos) {
            for (int k = 0; k < NVeiculos; k++) {
                for (int h = 0; h < NPeriodos; h++) {
                    nome = "R6_" + to_string(j) + "_" + to_string(k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos) + "_" + to_string(h);
                    modelo.addConstr(x[j][k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos][h] <= p[j][h], nome);
                }
            }
        }
    }
}

```

### Algoritmo 8 – Restrição 10. Eliminação de subrotas.

```

r
//Restricoes7
for (int i = NDepositos; i < NDepositos + NClientes; i++) {
    for (int h = 0; h < NPeriodos; h++) {
        expressao += p[i][h];
    }
    nome = "R7_" + to_string(i);
    modelo.addConstr(expressao == 1, nome);
    expressao = 0;
}

```

Algoritmo 9 – Restrição 12. Definição do horário de saída como 0.

```
//Restricoes8
for (int i = 0; i < NDepositos; i++) {
    nome = "R8_" + to_string(i);
    modelo.addConstr(a[i] == 0, nome);
}
```

Algoritmo 10 – Restrições 13 e 14. Controlar o tempo de partida dos nós.

```
//Restricoes9e10
for (int i = 0; i < NDepositos + NClientes; i++) {
    for (int j = NDepositos; j < NDepositos + NClientes; j++) {
        if (i != j) {
            for (int h = 0; h < NPeriodos; h++) {
                nome = "R9_" + to_string(i) + "_" + to_string(j) + "_" + to_string(h);
                modelo.addConstr(a[j] >= a[i] + Servico[j] + Tempo[i][j][h] - 2 * InterT * NPeriodos * (1 - x[i][j][h]), nome);
                nome = "R10_" + to_string(i) + "_" + to_string(j) + "_" + to_string(h);
                modelo.addConstr(a[j] <= a[i] + Servico[j] + Tempo[i][j][h] + InterT * NPeriodos * (1 - x[i][j][h]), nome);
            }
        }
        if (i < NDepositos) { //client-client/terminal
            for (int k = 0; k < NVeiculos; k++) {
                for (int h = 0; h < NPeriodos; h++) {
                    nome = "R9_" + to_string(j) + "_" + to_string(k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos) + "_" + to_string(h);
                    modelo.addConstr(a[k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos] >= a[j] + Servico[k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos] + Tempo[j][k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos][h] - 2 * InterT * NPeriodos * (1 - x[j][k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos][h]), nome);
                    nome = "R10_" + to_string(j) + "_" + to_string(k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos) + "_" + to_string(h);
                    modelo.addConstr(a[k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos] <= a[j] + Servico[k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos] + Tempo[j][k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos][h] + InterT * NPeriodos * (1 - x[j][k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos][h]), nome);
                }
            }
        }
    }
}
```

Algoritmo 11 – Restrição 15. Coordenar o tempo de partida do nó.

```
//Restricoes11
for (int i = NDepositos; i < NDepositos + NClientes; i++) {
    for (int h = 0; h < NPeriodos; h++) {
        expressao += h * InterT * p[i][h];
    }
    nome = "R11A_" + to_string(i);
    modelo.addConstr(expressao <= a[i], nome);
    nome = "R11B_" + to_string(i);
    modelo.addConstr(expressao + (InterT - 1) >= a[i], nome);
    expressao = 0;
}
```

Algoritmo 12 – Restrição 16. Garantir que a roteirização ocorra dentro do planejado.

```
//Restricoes12
for (int i = 0; i < NDepositos; i++) {
    for (int k = 0; k < NVeiculos; k++) {
        for (int j = NDepositos; j < NDepositos + NClientes; j++) {
            expressao += z[j][k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos] * (InterT * NPeriodos - 1);
        }
        nome = "R12_" + to_string(i) + "_" + to_string(k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos);
        modelo.addConstr(expressao >= a[k + NVeiculos * i + NClientes + NDepositos], nome);
        expressao = 0;
    }
}
```

O problema do caixeiro viajante com dependência de tempo foi testado com quatro bases de dados. No quadro 4, apresentam-se as nomenclaturas utilizadas e o significado de cada uma.

QUADRO 4 – DESCRIÇÃO DOS NOMES DOS DADOS UTILIZADOS NO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO

Nome	Descrição
1P-TA0	Um intervalo de tempo e tempo de entrega 0.
3P-TA0	Três intervalos de tempo e tempo de entrega 0.
5P-TA0	Cinco intervalos de tempo e tempo de entrega 0.
5P-TA180	Cinco intervalos de tempo e tempo de entrega de 180 segundos, ou 3 minutos.

FONTE: autoria própria (2022).

Para a resolução do 1P-TA0, os tempos utilizados foram a média dos tempos de entrega dos intervalos das nove e das dez horas da manhã. Na tabela 1, apresentam-se os intervalos do dia utilizados para executar o programa.

TABELA 1 – HORÁRIOS DOS INTERVALOS DE ENTREGA

Intervalo	Hora Início	Hora Fim
0	09:00	09:59
1	10:00	10:59
2	11:00	11:59
3	12:00	12:59
4	13:00	13:59
5	14:00	14:59

FONTE: autoria própria (2022).

Obtiveram-se os tempos utilizados na base de dados do problema por meio do Google Maps, devido a isso alguns tempos de deslocamento podem ser imprecisos. Esse foi o método utilizado para resolver o PCVDT. Na próxima sessão, serão apresentados os resultados encontrados em cada um dos testes realizados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após encontrar a solução para os dois problemas, analisaram-se e compararam-se os dados para definir qual é o melhor problema a ser utilizado nesse caso. Para comparar as duas soluções, considerou-se o tempo de entrega e a quilometragem rodada. A comparação é utilizada para definir se, nesse caso, vale a pena considerar o momento da entrega, pois os pontos de entrega são próximos. Com isso apresentamos a importância desse trabalho ao meio acadêmico.

Na tabela 2, apresentam-se os dados da roteirização do problema do caixeiro viajante. O Software Lingo traz a resposta do problema em uma matriz no Excel. Para interpretar a matriz, deve-se localizar a linha de número 1 e acompanhar os resultados até encontrar o número 1, então localizar o número da coluna. O número da coluna encontrado é o próximo ponto de entrega, nesse caso, o próximo ponto de entrega é

o ponto de número 30, ou seja, o caixeiro sairá do ponto 1 e realizará a entrega no ponto de número 30 e, assim, sequencialmente.

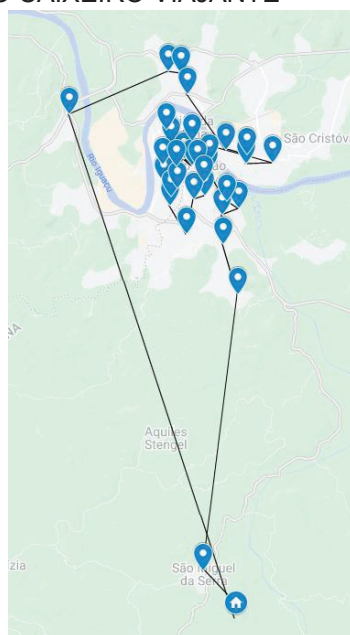
TABELA 2 – RESULTADO DA ROTEIRIZAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

FONTE: autoria própria (2022).

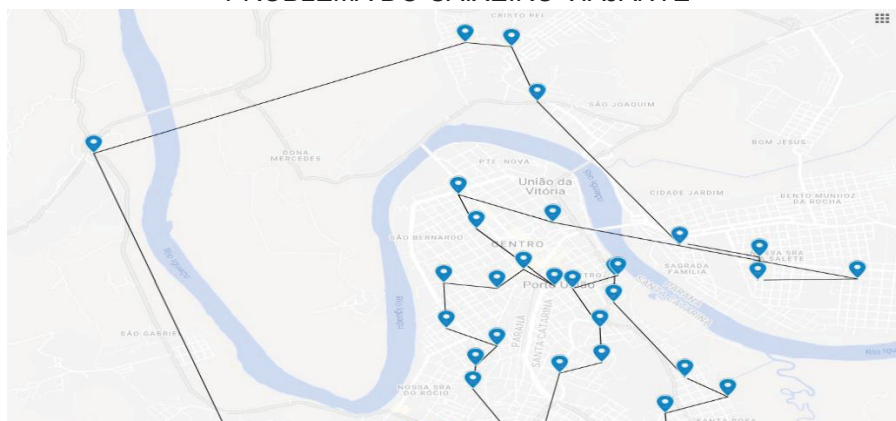
Na figura 3, apresenta-se a imagem da roteirização utilizando o PCV e na imagem 4, apresenta-se a parte central do sequenciamento dos nós do problema do caixeiro viajante no mapa da cidade, mostrando maior detalhes da roteirização.

FIGURA 3 – ROTEIRIZAÇÃO DOS PONTOS DE ENTREGA UTILIZANDO O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE



FONTE: autoria própria (2022).

FIGURA 4 – ROTEIRIZAÇÃO DA ÁREA CENTRAL DE ENTREGA UTILIZANDO O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE



FONTE: autoria própria (2022).

Conforme a figura 3 e 4, pode-se observar a existência de interseções entre os pontos. Isso ocorre, pois, na imagem, utilizamos a ligação direta entre os pontos, e não as ligações reais.

Na tabela 3, apresentam-se os resultados encontrados antes e depois da roteirização do problema do caixeiro viajante.

TABELA 3 – RESULTADOS DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

	Antes	Depois
km rodados	186 km	81 km
Tempo de deslocamento	6 horas e 30 minutos	3 horas e 57 minutos
Tempo de deslocamento com tempo de entrega	8 horas e 09 minutos	5 horas e 39 minutos

FONTE: autoria própria (2022).

Antes de realizar a roteirização do caixeiro viajante, o produtor rural tinha um deslocamento de 186 quilômetros para a realizar as entregas em todos os seus clientes. Após a roteirização, o deslocamento diminuiu para 81 quilômetros. A diferença encontrada é de 105 quilômetros, representando uma diminuição de 44% do trajeto realizado.

Considerando-se a média de tempo de deslocamento entre os pontos antes da roteirização, o produtor levaria 6 horas e 30 minutos para passar em todos os pontos de entrega. Após a roteirização, a média do tempo de entrega entre os pontos otimizados seria de 3 horas e 57 minutos.

Quando o tempo de entrega, de três minutos por cliente, passa a ser considerado no problema, somam-se uma hora e trinta e nove minutos no tempo de movimentação. Assim o tempo total de entrega antes da roteirização seria de 8 horas e 9 minutos e, após a roteirização, seria de 5 horas e 36 minutos.

Para o PCVDT, temos os sequenciamentos de entrega obtidos apresentados na tabela 4.

TABELA 4 – SEQUENCIAMENTO DA ROTEIRIZAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO

1P - TA0			3P TA0			5P - TA0			5P - TA180		
i	j	t	i	j	t	i	j	t	i	j	t
4	35	0	4	35	1	4	35	1	0	27	0
0	29	0	0	29	0	0	29	0	29	35	3
1	12	0	1	12	0	1	12	0	1	12	0
2	20	0	2	20	1	2	20	1	2	20	1
3	24	0	3	30	0	3	30	0	3	24	0
5	8	0	5	8	0	5	8	0	4	7	1
6	33	0	6	33	1	6	33	1	5	8	1
7	27	0	7	27	0	7	27	0	6	33	3
8	26	0	8	26	0	8	26	0	7	11	2
9	31	0	9	31	0	9	31	0	8	26	1
10	21	0	10	25	1	10	25	1	9	23	1
11	22	0	11	23	1	11	23	1	10	25	3
12	34	0	12	34	0	12	34	0	11	31	2
13	1	0	13	1	0	13	1	0	12	34	0
14	23	0	14	22	1	14	22	1	13	1	0
15	32	0	15	11	1	15	11	1	14	22	1
16	19	0	16	21	1	16	21	1	15	32	2
17	5	0	17	5	0	17	5	0	16	21	3
18	6	0	18	6	1	18	6	1	17	5	0
19	30	0	19	16	1	19	16	1	18	6	3
20	25	0	20	14	1	20	14	1	19	30	2
21	16	0	21	10	1	21	10	1	20	14	1
22	14	0	22	4	1	22	4	1	21	10	3
23	2	0	23	2	1	23	2	1	22	4	1
24	13	0	24	13	0	24	13	0	23	2	1
25	10	0	25	18	1	25	18	1	24	13	0
26	28	0	26	28	0	26	28	0	25	18	3
27	11	0	27	24	0	27	24	0	26	28	1
28	9	0	28	9	0	28	9	0	27	3	0
29	7	0	29	7	0	29	7	0	28	9	1
30	15	0	30	19	1	30	19	1	30	16	2
31	18	0	31	32	0	31	32	0	31	15	2
32	3	0	32	3	0	32	3	0	32	19	2
33	4	0	33	15	1	33	15	1	33	29	3
34	17	0	34	17	0	34	17	0	34	17	0

FONTE: Autoria Própria (2022).

A coluna de letra i apresenta o ponto de entrega de origem, a coluna representada pela letra j, o ponto de entrega de destino, e a coluna designada pela letra t, o intervalo em que a entrega é realizada. Para interpretar a tabela 4, deve se analisar primeiramente a coluna i, o número apresentado nessa coluna é o número do

ponto de entrega de partida, o número apresentado na coluna j, é o número do ponto de entrega seguinte. O número localizado na coluna j, deve ser encontrado na coluna i, e assim, sucessivamente. Exemplo: o número 0 está na coluna i, e, na coluna j, o número 29. Posteriormente, localiza-se o número 29 na coluna i, e na coluna j, há o número 7. Se essa sequência de análise for seguida, depois do 7, encontra-se o número 27. Formam-se, assim, os caminhos (29, 7) e (7,27), ou seja, o caixeiro viaja do ponto de entrega 29 ao ponto de entrega 7 e, posteriormente, do 7 ao 27 e assim sequencialmente. Pode-se observar que a roteirização se inicia no intervalo 0 isso ocorre, pois, assim, foi definido nas restrições utilizadas.

TABELA 5 – RESULTADO DA ROTEIRIZAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM DEPENDÊNCIA DE TEMPO

	Segundos	Minutos	Horas
1P - TA0	6.840	114	01:54
3P TA0	6.600	110	01:50
5P - TA0	6.600	110	01:50
5P - TA180	13.020	217	03:37

FONTE: autoria própria (2022).

O resultado do 1P-TA0, nos mostra que o tempo necessário para a realização das entregas neste intervalo de tempo, seria de 1 hora e 54 minutos para que os 33 clientes fossem atendidos.

Analisando os resultados encontrados para 3P-TA0 e 5P-TA0, pode-se observar que os intervalos de tempo para que as entregas fossem realizadas são os mesmos. Em relação aos 5 períodos de tempos disponibilizados para o 5P-TA0, apenas dois foram utilizados. O mesmo ocorreu com o teste da 3P-TA0, disponibilizaram-se 3 intervalos de horários para as entregas, mas apenas dois foram utilizados. Sendo assim, o tempo necessário para realizar todas as entregas em 3P-TA0 e 5P-TA0 é de 01 hora e 50 minutos.

O resultado para o 5P-TA180 utiliza quatro dos cinco intervalos de tempo disponíveis para entrega e passa a considerar o tempo de entrega fixo de 3 minutos em cada cliente. Este é o resultado mais significativo, pois utiliza o tempo de entrega em cada um dos clientes. Sendo o tempo total para realizar todas as entregas nessa base de dados 03 horas e 37 minutos.

Quando o tempo de entrega em cada um dos clientes não é considerado, não há uma grande diferença entre os sequenciamentos encontrados para as bases de dados 1P - TA0, 3P - TA0 e 5P - TA0. Mas, quando o tempo de entrega passa a ser utilizado, é possível observar que o intervalo em que a entrega passa a ser realizado é importante.

Após encontrar a solução dos dois problemas, é possível iniciar a comparação dos resultados. O tempo de deslocamento para o PCV é de 3 horas e 5 minutos, sem considerar a entrega em cada cliente. Em relação ao resultado para o PCVDT nas bases 1P – TA0, 3P – TA0 e 5P – TA0, em que o tempo de entrega não é levado em

consideração, o valor obtido é de 1 hora e 54 minutos e 1 hora e 50 minutos respectivamente.

Quando o tempo de entrega no cliente é considerado, o tempo de deslocamento do PCV é de 5 horas e 39 minutos e o resultado do PCVDT na base 5P-TA180 é de 3 horas e 37 minutos, sendo um tempo de deslocamento menor que o realizado durante o PCV.

No momento em que passamos a considerar o tempo de entrega em cada um dos clientes de 3 minutos, o tempo total de deslocamento do PCV passa a ser de 5 horas e 39 minutos, e o PCVDT é de 3 horas e 37 minutos, sendo uma diferença de 2 horas e 02 minutos de deslocamento. E, nesse caso, levar em consideração o intervalo de entrega do morango é importante, pois a entrega do produto é realizada em menor tempo, garantindo assim a qualidade do produto.

Pode-se comparar também a quilometragem percorrida. Após a aplicação do PCVDT, na tabela 6, apresentam-se as informações de quilometragem para cada um dos testes feitos utilizando a dependência de tempo.

TABELA 6 – KILOMETRAGEM PERCORRIDA PELO PCVDT

	km
1P - TA0	137
3P TA0	168
5P - TA0	168
5P - TA180	157

FONTE: Aatoria Própria (2022).

Quando comparados os resultados da quilometragem entre os dois problemas, observa-se que a quilometragem rodada no PCVDT é similar à quilometragem rodada sem a roteirização do PCV. O PCVDT apresenta uma quilometragem rodada maior, porém consegue realizar as entregas em um menor intervalo de tempo por encontrar os melhores intervalos de tempo para realizar a entrega em cada ponto.

Na tabela 7, apresenta-se o tempo utilizado para rodar cada uma das bases de dados do PCVDT pelo software. O tempo necessário para que cada um dos resultados seja encontrado é importante, pois, caso o tempo seja muito alto, a solução pode deixar de ser vantajosa. O tempo de resolução do PCV é ínfimo, por isso, não é utilizado para comparação.

TABELA 7 – TEMPO PARA RODAR O PROGRAMA EM CADA UMA DAS BASES DE DADOS

	Segundos	Minutos
1P - TA0	260	4
3P TA0	682	11
5P - TA0	389	6
5P - TA180	6.000	100

FONTE: Aatoria Própria (2022).

Como a roteirização não será rodada diariamente, será atualizada apenas quando houver alteração com relação aos clientes, como mudança de número de clientes ou de endereços. O tempo de 100 minutos não é um problema.

## 5 CONCLUSÃO

O trabalho apresenta um produtor rural que busca realizar a entrega de seu produto com menor tempo de entrega, pois o morango é um fruto de alta perecibilidade e não deve ficar muito tempo fora de um local resfriado. Para que o objetivo do produtor fosse alcançado, o trabalho apresentou duas maneiras de roteirizar a rota de entrega do produtor, utilizando o problema do caixeiro viajante e o problema do caixeiro viajante com dependência de tempo.

Durante o trabalho, apresentaram-se os dois problemas e as restrições utilizadas em cada um para que fosse possível roteirizar o caminho de entrega. Realizaram-se testes com e sem tempo de entrega em cada um dos clientes. Quando o tempo de entrega não é considerado, o tempo de deslocamento é menor quando utilizamos a resolução do problema do caixeiro viajante. Porém, quando é considerado o tempo de entrega de três minutos por cliente, o qual é o cenário mais real, é possível observar que o intervalo em que a entrega é realizada é importante e, por isso, nesse caso a solução encontrada pelo caixeiro viajante com dependência de tempo é a melhor, pois o tempo para realizar todas as entregas aos clientes é menor.

Com isso, foi possível definir que, mesmo que os locais de entrega sejam próximos, o intervalo do dia que a entrega é realizada é de grande importância e, no caso específico desse produtor, a solução encontrada com a dependência de tempo é a melhor, para que o produtor consiga entregar seu produto com maior qualidade a seus clientes, quando, apenas, o tempo de deslocamento é utilizado.

Comparando-se a quilometragem de deslocamento entre a resolução dos dois problemas, pode-se observar que o PCVDT tem uma quilometragem maior que a percorrida pelo PCV, mas é uma quilometragem similar à percorrida antes da roteirização ser realizada.

Durante o trabalho, o objetivo da pesquisa foi atingido, pois foi possível realizar a comparação entre os dois problemas e apresentar ao produtor as vantagens de cada um. Sendo o PCVDT a roteirização que melhor se adequa ao problema proposto, pois o tempo de entrega total passa a ser menor e, com isso, o produto entregue tem uma maior qualidade.

## REFERÊNCIAS

AFRIN, S. et al. Promising health benefits of the strawberry: a focus on clinical studies. *J. Agric. Food Chem*, v. 64, n. 22, p. 4435–4449, 2016.

ALMEIDA, D; LUCENA, M. Gestão de estoques na cadeia de suprimentos. Disponível em: [http://www.metodista.br/centraldeestagios/ppc/revista-ecco/pdf/ec1\\_lucena.pdf](http://www.metodista.br/centraldeestagios/ppc/revista-ecco/pdf/ec1_lucena.pdf)> Acesso em: 10 de julho de 2021.

ALMENAR, E. et al. Evolution of selected volatiles in chitosancoated strawberries (*Fragaria x ananassa*) during refrigerated storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. v.57, n.3, p.974-980, 2009.

ANTUNES, L, E, C.; BONOW, S.; REISSER JUNIOR, C. Morango Crescimento Constante em Área de Produção. *Campo & Negócio*. Anuário HF 2020.

ANTUNES, L. E. C.; REISSER JUNIOR, C.; SCHWENGBER, E. Morangueiro. EMBRAPA, 2016. 589 p.

ASCARI, João Paulo. et al. Diagnóstico agrícola, socioeconômico e ambiental em propriedade de agricultura familiar. *Rev. Ciênc. Ext.*v.15, n.3, p.75-88, 2019.

AVRAHAM, E.; RAVIV, T. The data-driven time-dependent traveling salesperson problem. *Transportation Research Part B: Methodological*. Israel, v 134, p. 25-40. 12 de fevereiro de 2020.

BALLOU, Ronald H . Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CACCHIANI, V.; CONTRARAS-BOLTON, C.; TOTH, P. Models and algorithms for the Traveling Salesman Problem with Time-dependent Service times. *European Journal of Operational Research*. Italia, v, 283, p. 825-843. 26 de novembro de 2019.

CARDOSO, Andréa. Fundamentos da Pesquisa Operacional. Universidade Federal de Alfenas (Unifal), 2011. Disponível em: <http://www.unifal-mg.edu.br/matematica/files/file/po.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2021.

CASTIGLIONI, José Antônio de Mattos- Logística Operacional: Guia Prático /– 2. ed. São Paulo: Érica, 2009.

CHING, Yuh. Gestão de estoque na cadeia de Logística integrada – Supply Chain. 4 ed.- São Paulo: Atlas 2010.

COPETTI, C. Atividade antioxidante in vitro e compostos fenólicos em Morangos (Fragaria x ananassa Duch.): influência da cultivar, sistema de cultivo e período de colheita, 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DARROW, G. M. The Strawberry: History, Breeding and Physiology. New York: Holt, Rinehart and Wiston, 1966. 447 p.

ENOMOTO, LEANDRO MINORU. Análise da Distribuição Física e Roteirização de um Atacadista do Sul de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá. 2005.

FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United States. Major Tropical Fruits Statistical Compendium. 2019.

FISS, ALINE VIGHI et al. Resistência de cultivares de morango a *Pratylenchus brachyurus* E *Meloidogyne hapla*. In: Embrapa Clima Temperado-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 23.; 2018, Pelotas.[Anais.]. Pelotas: UFPel, 2018.

FLEURY, Paulo Fernando; WANKE, Peter; FIGUEIREDO, Kleber Fossati. Logística empresarial: a perspectiva brasileira. São Paulo: Atlas, 2000.

FORBES-HERNANDEZ, T.Y. et al. The Healthy Effects of Strawberry Polyphenols: Which Strategy behind Antioxidant Capacity? Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 8398, n. October, p. S46–S59, 2015.

GALLETA, G. J.; HIMELRICK, D. G. (Ed.). Small fruit crop management. New Jersey: Prentice-Hall, 1990. p. 83-93.

GHIANI, G.; ADAMO, T.; GRECO, P.; GUERRIERO, E. Lifting the performance of a heuristic for the time-dependent travelling salesman problem through machine learning. Algorithms. Italia, v 13. 21 de outubro de 2020.

GOMES. C. F. S.; RIBEIRO. P. C. C. Gestão da cadeia de suprimentos integrada á tecnologia da informação. 1. reimp. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

HEIN, Fernando; SILVA, André; Soares da; LUIZ, Nardel. A insustentabilidade na agricultura familiar e o êxodo rural contemporâneo. Estudos Sociedade e Agricultura, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 394-417, set. 2019.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN G. J. Introdução à Pesquisa Operacional. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

HUMMER, K.E; HANCOCK, J.Strawberry Genomics: Botanical, History, Cultivation, Traditional Breeding, and NewTechnologies.In Genetics and Genomics of Rosaceae, eds.K.M.FoltaandS. E. Gardiner, 413-435.NewYork, NY: SpringerNewYork.2009.

INFRAERO. 3a edição. Guia INFRAERO Cargo. Disponível em: <http://www4.infraero.gov.br/cargo/servicos-e-estatisticas/guia-de-carga/> . Acesso em: 20 de abril de 2022.

ISLAM, D.M.Z.; MEIER, J.F.; ADITJANDRA, P.T.; ZUNDER, T.H.; PACE, G. Logistics and supply chain management. *Research in Transportation Economics*, v. 41, n. 1, p. 3-16, 2013.

KEEDI, Samir. ABC do Comércio Exterior: abrindo as primeiras páginas. 4. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2012.

KELLY, K. A novel approach to determine the impact level of each step along the supply chain on strawberry quality. *Postharvest Biology and Technology*, v. 147, n. July 2018, p. 78–88, 2019.

LAPORTE, G.; M, GENDREAU; J.Y. P. F. SEMET. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem, *International Transactions in Operational Research* , v.7, n4/5, pp. 285-300, 2002.

MACHADO. Strawberry cultivation in Brazil. *Revista Geama*, 2 (3), 2016.

MANERBA, D.; MANSINI, R.; RIERA-LEDESMA, J. The Traveling Purchaser Problem and its variants. *European Journal of Operational Research*. Europa, v 259, p. 1-18. 19 de dezembro de 2016.

MARCONDES, R, C.; MIGUEL, L, A, P.; FRANKLIN, M, A.; GILBERTO, P. Metodologia para trabalhos práticos e aplicados: administração e contabilidade. Editora Mackenzie. 2017.

MIRAHMADI, F; HANAFI, QM; ALIZADEH, M; MOHAMADI, H; SARSAIFEE, M. 2011. Effect of low temperature on physico-chemical properties of different strawberry cultivars. *African Journal of Food Science and Technology* 2: 109-115.

MONTERO, A.; MÉNDEZ-DIAZ, I.; BRONT, M.; JUAN, J. An integer programming approach for the time-dependent traveling salesman problem with time windows. *Computers and Operations Research*. Argentina, v 88, p. 280-289. 4 de julho de 2017.

MUTANOV, G.; ZIYADIN, S.; SERIKBEKULY, A. Application of system-dynamic modeling to improve distribution logistics processes in the supply chain. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, v 22, p. 29-39. 2020.

NOGUEIRA, J.P.; JESUS, M.A.C.L. Desenvolvimento, avaliação físico-química, sensorial e colorimétrica da geleia de seriguela diet. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v.8, n.2, p.1531-1544, 2014.

OLIVEIRA, I, H, I.; FAVA, F, L, M.; CASTORANI, R, R.; RODRIGUES, L, L, F.; FERNANDES, M, E. Utilização Da Pesquisa Operacional Para Otimização De Rotas De Um Motorista Autonomo Na Região De São Paulo. Xii SEGET. 2015.

PEREIRA, A.; SHITSUKA, D.; PARREIRA, F.; SHITSUKA, R. Metodologia de Pesquisa Científica. 1º edição. UAB/NTE/UFMS. Universidade Federal de Santa Maria. RS. 2018.

PEREIRA, F. O.; SOUZA, R, S.; PORTUGAL JUNIOR, P, S.; OLIVEIRA, G, F.; OLIVEIRA, F, F. Logística de transporte: um estudo de caso dos desafios do transporte rodoviário para as operações de comércio exterior no Sul de Minas Gerais. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. 2015.

PONCE, A. dos R.; BASTIANI, M. I. D.; MINIM, V. P.; VANETTI, M. C. D. Características físico-químicas e microbiológicas de morango minimamente processado. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v 30, n. 1, p 113-118, 2009.

REVISTA GLOBO RURAL. Como plantar Physalis. 2013. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/como-plantar/noticia/2013/12/como-plantar-physalis.html>. Acesso em: 19 de junho de 2021.

RODRIGUES, K. C.; RABELO, M, H, S. a Importância Do Transporte Na Logística Empresarial. *Revista Acadêmica Conecta FASF* 2(1):193-207, 2017, v 2, p. 193-207.2017.

SALLATO, B. V., TORRES, R.; ZOFFOLI, J. P.; LATORRE, B. A. Effect of boscalid on postharvest decay of strawberry caused by *Botrytis cinerea* and *Rhizopus stolonifer*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, Madrid, v.5, p.67-78, 2007.

SANTOS NETO, U, J.; SANTANA, L, C. Logística e serviço ao cliente como estratégia competitiva. *Revista de Iniciação Científica*. Página, 97-111. 2015.

SCHMIDT, C, E. Problemas de Localização e Roteamento Dependentes do Tempo. 2019. Tese para Doutorado. Curitiba – PR

SILVA, P. A. Manutenção da qualidade de morangos submetidos ao 1-MCP e armazenados em temperatura ambiente e refrigerada, 2010. Tese (Doutorado em Agroquímica/Agrobioquímica). Programa de Pós-Graduação em Agroquímica/Agrobioquímica. Universidade de Lavras, Lavras.

SILVA, V. L. da; COZZOLINO, S. M. F. Vitamina C (Ácido Ascórbico). In: COZZOLINO, S. M. F. (Org.). Biodisponibilidade de nutrientes. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2007, p. 305-324.

SLACK, N. et al. Administração da produção. 1. ed. 12. reimp. São Paulo: Atlas, 2010.

STRAND, L, L. Strawberry growth and development. In: Integrated pest management for strawberries. Flint, M. L. (ed). Publication 3351. University of California. Statewide IPM Project. 1994.

TAHA, Hamdy A. Pesquisa Operacional: Uma visão geral, 8 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

VERBEECK, C; SORENSEN, K; AGHEZZAF, E; VANSTEENWEGEN P. 2014. A fast solution method for the time-dependent orienteering problem. Eur. J. Oper. Res. 236 (2), 419–432 .

VERDIAL, M. F. Frigoconservacao e vernalizacao de mudas de morangueiro (Fragaria X ananassa Duch.) produzidas em sistema de vasos suspensos. 2004. 71 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de Sao Paulo, Piracicaba.

WU, T.; HE, L.; YU, H. Online traveling salesman problem with time cost and non-zealous server. Journal of Combinatorial Optimization. China. 25 de maio de 2020.

ZHANG, Y.; BALDACCI, R.; SIM, M.; TANG, J.; Routing optimization with time windows under uncertainty. Mathematical Programming. Alemanha, v 175, p. 263-305. 23 de fevereiro de 2018.