

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO HENRIQUE TOMÉ CEZÁRIO

ROTEAMENTO DE VEÍCULO APLICADO AO PROBLEMA DE COLETA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS DA CIDADE DE JANDAIA DO SUL

JANDAIA DO SUL

2023

GUSTAVO HENRIQUE TOMÉ CEZÁRIO

ROTEAMENTO DE VEÍCULO APLICADO AO PROBLEMA DE COLETA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS DA CIDADE DE JANDAIA DO SUL

Trabalho de Conclusão de Curso II curso de
Graduação em Engenharia de Produção,
Campus Jandaia do Sul, Universidade
Federal do Paraná, como pré-requisito para
qualificação a disciplina Trabalho de
Conclusão de Curso II

Orientador: Prof. Jair da Silva

JANDAIA DO SUL
2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA JANDAIA DO SUL

Cezário, Gustavo Henrique Tomé

Roteamento de veículo aplicado ao problema de coleta de resíduos sólidos da cidade de Jandaia do Sul. / Gustavo Henrique Tomé Cezário.
– Jandaia do Sul, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná,
Campus Jandaia do Sul, Graduação em Engenharia de Produção.
Orientador: Prof. Jair da Silva.

1. Pesquisa operacional. 2. Problema de roteamento de veículos.
3. Otimização. 4. Resíduos sólidos. I. Silva, Jair da. II. Universidade
Federal do Paraná. III. Título.

CDD: 658.5

Bibliotecário: César A. Galvão F. Conde - CRB-9/1747



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº

80/2023/UFPR/R/JA

PROCESSO Nº

23075.079917/2019-87

INTERESSADO:

JAIR DA SILVA

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título: ROTEAMENTO DE VEÍCULO APLICADO AO PROBLEMA DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CIDADE DE JANDAIA DO SUL

Autor(a): GUSTAVO HENRIQUE TOMÉ CEZÁRIO

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 no dia 03/03/2023, das 15h30 às 17h30.

Dr. Jair da Silva (Orientador)

Dra. Juliana Verga Shirabayashi

Dra. Janete de Paula Ferrareze



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA VERGA SHIRABAYASHI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/03/2023, às 10:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JANETE DE PAULA FERRAREZE SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/03/2023, às 10:17, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JAIR DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/03/2023, às 10:18, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador 5365763 e o código CRC 11671C1D.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:FLUXOGRAMA DAS ETAPAS PARA RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA DE PO.....	13
FIGURA 2: EXEMPLO DE VRP.....	15
FIGURA 3:LOCALIZAÇÃO DAS CIDADES DO EXEMPLO.....	17
FIGURA 4: ROTA 1 ÓTIMA.....	18
FIGURA 5: ROTA 2 ÓTIMA.....	18
FIGURA 6: ROTA 3 ÓTIMA.	19
FIGURA 7: ROTA VRP.	20
FIGURA 8: EXEMPLO DO CAIXEIRO VIAJANTE.	21
FIGURA 9: LOCALIZAÇÃO DAS CIDADES DO EXEMPLO.....	23
FIGURA 10: ROTA 1.	25
FIGURA 11: ROTA 5.....	25
FIGURA 12:MÉTODOS HEURÍSTICOS.....	26
FIGURA 13: APRESENTAÇÃO DE PYTHON.....	27
FIGURA 14: CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	30
FIGURA 15: SEQUÊNCIA DA COLETA DE DADOS.....	31
FIGURA 16: MÉTODO DE OBTENÇÃO DE ESQUINAS.....	32
FIGURA 17: FOTO DE JANDAIA DO SUL.....	34
FIGURA 18: ZONAS ATUAIS.....	35
FIGURA 19: ROTA 1(PRETO).....	37
FIGURA 20: ROTA 2(VERMELHO).....	38
FIGURA 21: ROTA 3(AMARELO).....	39
FIGURA 22: ROTA 4(AZUL).....	40
FIGURA 23: ROTA 5(ROXO).....	41
FIGURA 24: ROTA FINAL.....	42
FIGURA 25: FOTO DAS ROTAS.....	44

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CIDADES ESCOLHIDAS COMO EXEMPLO.....	15
TABELA 2: KM PERCORRIDO POR ROTA.....	16
TABELA 3: CIDADES ESCOLHIDAS.....	21
TABELA 4: ROTAS OBTIDAS PELA SIMULAÇÃO.....	23
TABELA 5: DIAS DA SEMANA POR COR.....	35
TABELA 6: QUANTIDADE DE PONTOS COLETADOS POR DIA.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

FSMVRPTW – Problema de Determinação do Tamanho e Composição da Frota e Roteamento de Veículos com Janela de Tempo

KM - Quilômetro

PO – Pesquisa Operacional

PCV – Problema do Caixeiro Viajante

SOBRAPO - Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional

VRP – Problema de Roteamento de Veículo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	OBJETIVO DA PESQUISA	8
1.1.1	Objetivos gerais	8
1.2	JUSTIFICATIVA	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1	PESQUISA OPERACIONAL	11
2.1.1	Problema de roteamento de veículos (VRP)	12
2.1.1.1	Modelo Matemático	14
2.1.2	Problema do Caixeiro Viajante	19
2.1.2.1	Modelo Matemático	20
2.1.3	Métodos Heurísticos	25
2.2	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO	26
2.2.1	<i>Python</i>	26
2.2.2	<i>Google Colaboratory</i>	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	ENQUADRAMENTO DA PESQUISA	27
3.2	COLETA DE DADOS	29
3.2.1	Obtenção das coordenadas em latitude e longitude e criação da matriz distância	30
3.3	FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS E ANÁLISE	32
3.4	DESCRIÇÃO DO CASO	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos começaram a ter um peso ambiental a partir de 1970, tanto em nível nacional quanto internacional, sendo o tema abordado em grandes encontros internacionais em 1972, como por exemplo na Conferência de Estocolmo, a qual foi o primeiro encontro realizado pela ONU que teve o intuito de discutir questões ambientais, com a realização dessa conferência foi inaugurada a agenda mundial de discussões ambientais. Vinte anos após a Conferência de Estocolmo, veio então a ECO 92, que ocorreu no Rio de Janeiro a qual teve o mesmo intuito, o qual era discutir temas relacionados ao meio ambiente, como o efeito estufa, fator que tem grande relevância em discussões realizadas até os dias atuais (VELLOSO, 2008).

Segundo dados da *What a Waste 2.0*, é previsto que em 2050 serão produzidos mundialmente 3,4 bilhões de toneladas de resíduos sólidos (recicláveis e não recicláveis) anualmente, o que é um aumento de 69% em relação ao ano de 2018 que foi produzido 2,01 bilhões de toneladas (KAZA, et al. 2018). No Brasil, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), também divulgou um relatório que mostra um crescimento, na geração de resíduos sólidos urbanos, de 1%, entre 2016 a 2017, o qual em 2016 representava 212.753 toneladas/dia e em 2017 chegavam a quase 215.000 toneladas/dia. Em um novo relatório apresentado pela ABRELPE em 2020, mostra que em 2010, foram geradas 66,69 milhões de toneladas de lixo e em 2019 foi de, aproximadamente, 79,06 milhões, o que representa um aumento de 18,6%. Ainda segundo dados da ABRELPE (2020), é possível notar que apesar de haver um aumento em relação à destinação a aterros sanitários, dos resíduos sólidos urbanos, (os quais em 2010, representavam 33.406.260 toneladas/ano, ou 56,8% do total descartado, e em 2019, apresentavam 43.300.315 toneladas/ano, ou 59,5%) esses números ainda são baixos, pois podemos notar que mais de 40% de todo o lixo urbano é descartado de maneira errada, no caso, sendo enviados a lixões ou aterros controlados. Esses fatos combinados mostram que a geração de resíduos sólidos tem aumentado tanto em âmbito nacional, como mundial. Também mostram uma previsão de aumento para o futuro. Assim, surge uma preocupação com a gestão dos recursos despendidos na coleta e destinação correta dos resíduos sólidos, gerando uma necessidade de otimização na gestão de toda sua cadeia.

A Pesquisa Operacional (PO) oferece ferramentas para melhoria de processo em praticamente todo sistema produtivo industrial e comercial. Em particular, ela também oferece ferramentas que auxiliam na melhoria da gestão da cadeia de coleta e destinação dos resíduos sólidos. Uma parte da cadeia que pode ser melhorada é a coleta dos resíduos sólidos, para esta dor a PO traz possibilidades, sendo as mais conhecidas o Problema de Roteamento de Veículos (VRP) e o Problema do Caixeiro Viajante (PCV). Com ela podemos simular as rotas de coleta, as quais podem ser utilizadas tanto para otimização de rotas já existentes, quanto para a criação de rotas em locais ainda não estudados. Além disso, com a evolução tecnológica computacional, a construção dessas rotas hoje em dia é viável e geralmente gera ganhos de produtividade.

Sabendo disso, o presente trabalho tem como objetivo estudar e propor rotas otimizadas para a coleta de resíduos sólidos na cidade de Jandaia do Sul-PR, cidade situada no Noroeste do Paraná. Resolvendo a seguinte pergunta de pesquisa: Qual é a rota que tem o menor custo, conseguindo passar por todos os pontos de coleta?

1.1 OBJETIVO DA PESQUISA

1.1.1 Objetivos gerais

Esse trabalho tem como objetivo, obter uma rota ótima para os caminhões de coleta de resíduos sólidos da cidade de Jandaia do Sul, a qual atualmente não tem um sistema padronizado de coleta, via um algoritmo de VRP. Busca-se atender todas as regiões da cidade, mas com uma rota minimizada, a fim de diminuir o custo empregado.

1.1.1.1 Objetivos específicos

A fim de atingir os objetivos gerais, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) Coletar os dados da cidade de Jandaia do Sul, necessários para modelagem e solução do roteamento.
- b) Modelar o Problema de Roteamento de Veículos na cidade de Jandaia do Sul.
- c) Realizar testes computacionais e avaliação dos resultados obtidos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Devido ao aumento da geração de resíduos sólidos, há uma preocupação crescente, na necessidade de reduzir os custos em toda a cadeia de coleta de resíduos sólidos não recicláveis. Na cidade Jandaia do Sul, não é diferente, a prefeitura está sempre na busca por soluções ou parcerias que auxiliem a fazer esta gestão da melhor forma possível. Assim surgiu o interesse de fazer o trabalho nesta área. Outra justificativa é o fato de que o estudo em questão tem grande relevância acadêmica, visto que temos a oportunidade de aplicar conhecimentos das áreas de Pesquisa Operacional e Logística em um problema real, gerando soluções e conhecimentos para possíveis trabalhos futuros nesta área.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Essa monografia está estruturada em cinco capítulos, os quais são descritos da seguinte forma:

O capítulo 1 inicia tratando da constante preocupação com os resíduos sólidos e como a Pesquisa Operacional via Problema de Roteamento de Veículos pode auxiliar na cadeia de gestão de coleta desses resíduos.

Já o capítulo 2 contempla a revisão bibliográfica, o qual traz informações e definições sobre Pesquisa Operacional e as suas etapas para resolução de problemas; Problema de Roteamento de Veículos e o Modelo matemático para sua resolução; as linguagens de programação utilizadas; Métodos Heurísticos; Métodos exatos e o Método utilizado para solução desse estudo de caso; Resíduos Sólidos e Resíduos Sólidos Recicláveis.

O capítulo 3 apresenta os materiais e métodos utilizados para essa pesquisa, o enquadramento da pesquisa em questão, quais ferramentas foram usadas, tanto para resolução, quanto para análise e a descrição do caso mostrando as informações sobre Jandaia do Sul.

O capítulo 4 traz os resultados obtidos após a aplicação das ferramentas expostas no capítulo 3 no caso que foi estudado.

No capítulo 5 é exposto os próximos passos que podem ser seguidos após essa pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, apresentamos uma breve revisão bibliográfica das teorias utilizadas.

2.1 PESQUISA OPERACIONAL

A Pesquisa Operacional tem o intuito de solucionar problemas reais das organizações com modelos matemáticos de otimização, estes modelos podem ser de maximização ou minimização. Para solução destes problemas é necessário que se faça uma modelagem mais próxima do real possível, a fim de obter o resultado mais próximo ao real (TAHA, 2008). Depois de ser feito a modelagem do problema real a Pesquisa Operacional oferece várias ferramentas de solução, podemos destacar, Programação Linear, Não Linear, a Programação Dinâmica, Programação Inteira, entre outras.

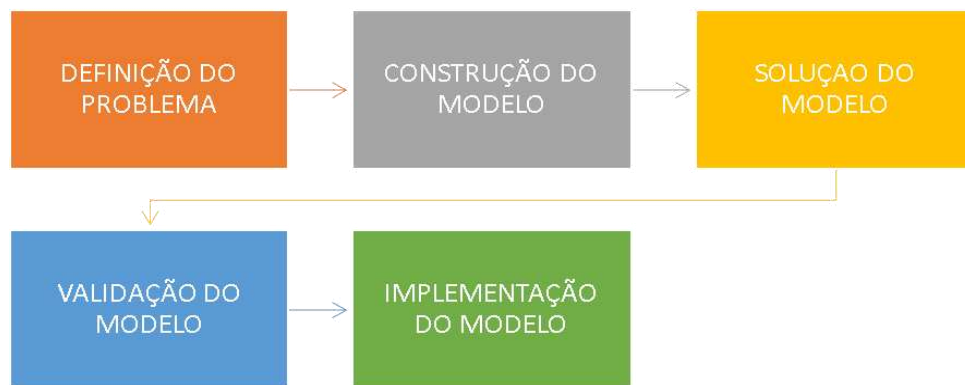
O termo Pesquisa Operacional surgiu inicialmente na Segunda Guerra Mundial, onde por causa da escassez de recursos militares e alimentícios foram necessários a gestão destes recursos da melhor maneira (TIWARI, SANDILYA; 2006). Após este evento, a Pesquisa Operacional começou a chamar a atenção por sua aplicabilidade em organizações. No Reino Unido, devido ao estado da economia ser crítico, gerou um grande aumento na produtividade e a criação de novos mercados, que devido a falta de mão de obra capacitada, muitos dos pesquisadores da época da Segunda Guerra foram absorvidos pelas indústrias. Nas indústrias nos U.S.A. é possível notar uma certa resistência a PO em seus primórdios, visto que, muitos a consideravam como uma abordagem nova de métodos antigos. Porém, dentro do serviço militar ela se manteve crescente, visto a sua efetividade na Guerra (LYEME, SELEMAN; 2012).

No Brasil, a Pesquisa Operacional teve início aproximadamente uma década após ter começado na Inglaterra e USA, tendo início com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), que, em 1957, criou o primeiro curso de Engenharia de Produção em nível de graduação (LOSS, 1981). Já no começo da década de 60, muitos professores atuavam nos setores privados, onde houve as primeiras interações entre universidades e empresas, em 1965 foi formado o primeiro grupo formal de PO no Brasil na empresa PETROBRÁS (MARINS, 2011). Na atualidade, devido à crescente competitividade mundial, as organizações brasileiras

começaram a utilizar a PO de forma mais intensificada dentro de suas instalações (CHAVES, Viviane; 2011).

A metodologia de solução de um problema via Pesquisa Operacional geralmente segue um padrão para sua resolução, o qual pode ser definido conforme o fluxograma da Figura 1:

FIGURA 1:FLUXOGRAMA DAS ETAPAS PARA RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA DE PO.



FONTE: Adaptado de Taha (2008).

Definição do problema: Nessa etapa é definido o escopo do problema a fim de resolvê-lo, encontrando a descrição das alternativas de decisão, determinação do objetivo do estudo e determinação de suas limitações (TAHA, 2008).

Construção do modelo: O segundo passo tenta traduzir a definição do problema em uma linguagem matemática, a fim de conseguir um problema matemático que pode ser solucionado por um método padrão, ao qual é possível encontrar uma solução, ou pode-se optar por um modelo mais complexo, ao qual a equipe pode tentar uma resolução heurística mais simples.

Solução do modelo: Essa fase trata de desenvolver o modelo proposto, com o método escolhido para a solução do problema selecionado (TAHA, 2008).

Validação do modelo: Após uma análise crítica do modelo finalizado, verificando sua validade e se ele se aplica na realidade (TAHA, 2008).

Implementação do modelo: Após a validação do modelo é possível a tradução dos resultados obtidos para a realidade, a fim de compreender o impacto na realidade (TAHA, 2008).

2.1.1 Problema de roteamento de veículos (VRP)

O tema VRP é encontrado primeiramente na literatura com Danzig e Ramser (1959), onde utilizam de um método de Programação Linear, com base no Problema do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem*), a fim de otimizar a distribuição de combustível para postos. A partir da abordagem inicial de VRP, os pesquisadores começaram a estudar sobre abordagens mais reais, assim é possível ter uma simulação mais fiel à realidade do que a obtida por Dantzig e Ramser (1959).

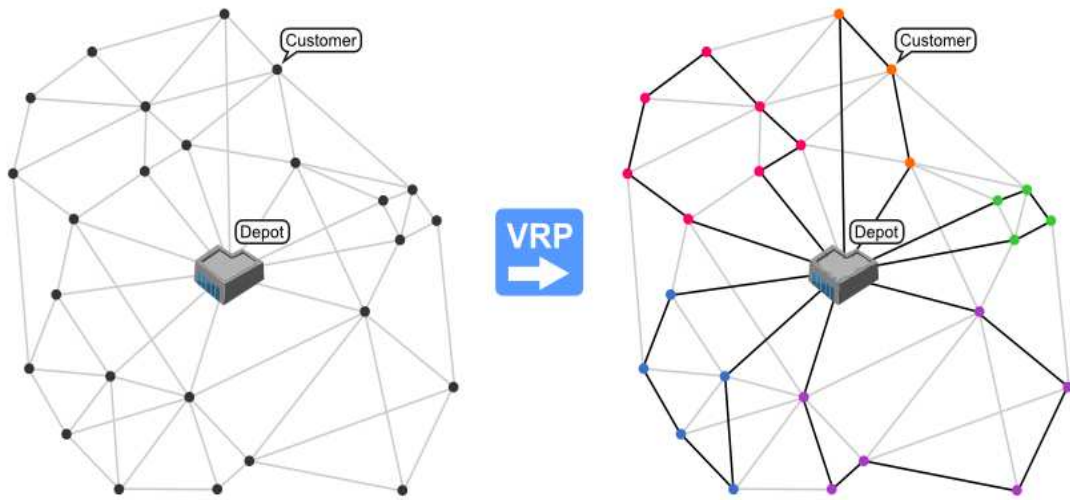
O que antigamente era o VRP, hoje se tornou o que Liu e Shen (1999) descrevem como Problema de Determinação do Tamanho e Composição da Frota e Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo (*Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows*, FSMVRPTW). Neste tipo de problema devem ser determinados horários, para que não cheguem após o horário máximo e nem muito cedo, além de ter qual a carga máxima e a quantidade de veículos disponíveis para o roteamento (MANGUINO, 2013).

O tema Roteamento de Veículos é um tema muito estudado, visto que ele é uma metodologia de otimização que pode ser utilizado em muitas organizações diferentes (desde empresas, até governos, etc). Porém como é um tema muito abrangente também foram desenvolvidas várias heurísticas para a sua resolução.

O Problema de Roteamento de Veículos (VRP) utiliza de métodos matemáticos para encontrar a melhor rota possível para o deslocamento a partir de um armazém até os clientes, a fim de suprir a demanda com menor custo possível (MANGUINO, 2013). Segundo Manguino (2013), as principais restrições no VRP são: as rotas devem iniciar e terminar no armazém inicial, todos os clientes devem ser atendidos e a restrição de capacidade dos veículos.

A Figura 2 representa um exemplo sobre VRP.

FIGURA 2: EXEMPLO DE VRP.



FONTE: adaptado de Dantzig e Ramser(1959).

É possível notar que a Figura 2 representa um depósito (*Depot*) e os clientes (*Customer*), onde uma empresa possui uma frota de 5 caminhões e cada uma das cores representa a rota que cada um deles deve realizar após a utilização do VRP.

2.1.1.1 Modelo Matemático

A seguir será apresentado um modelo matemático genérico para a resolução de um VRP. Neste modelo, $K = (L; A)$ representa um grafo, onde $L = (0, 1, \dots, N)$ são os vértices do grafo e A é um conjunto de arcos, $i = 0$ representa o depósito onde a viagem se inicia e $i = (1, 2, \dots, N)$ são os clientes a serem visitados, c representa o custo associado aos arcos (i, j) , ou seja, o custo para ir do ponto i ao ponto j , x corresponde à uma variável de decisão binária a qual é 0 se o caminhão não passar pelo arco e é 1 se passar pelo arco, Q trata da capacidade do caminhão, k o conjunto disponível de veículos e D a demanda dos clientes. Sendo assim, para o modelo teremos:

Otimizar

$$\text{Min } \sum_{i=0, j=0}^N c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

Restrições

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

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

$$\sum_{j=i}^N D_i \sum_{j=i}^N x_{ijk} \leq Q, \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ij} \leq |S| \quad \forall i, j \in N \quad (5)$$

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

Onde a equação (1) corresponde a minimização do custo total com a somatória de custo por distâncias, a (2) e (3) garante que todos os clientes serão atendidos, já a equação (4) impede que a capacidade dos veículos seja ultrapassada, a (5) garante que não há sub-rotas e a (6) mostra que o modelo é binário e não negativo.

Para exemplificar, foi escolhido uma empresa fictícia que possuía 3 caminhões, os quais deveriam realizar entregas em seis cidades e voltar à central após a entrega. Nesse exemplo, as cidades foram escolhidas aleatoriamente e estão definidas pela

Tabela 1 a seguir, sendo que a central é definida como a cidade número 1 (Maringá).

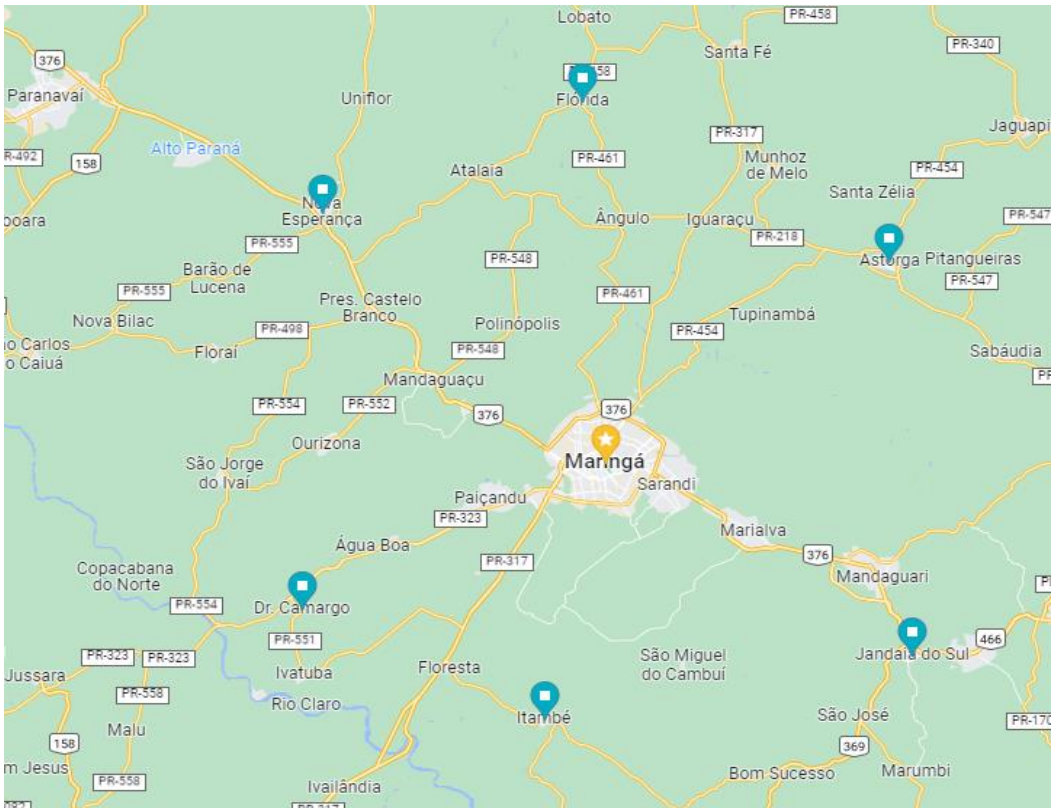
TABELA 1: CIDADES ESCOLHIDAS COMO EXEMPLO.

NÚMERO	CIDADE
1	MARINGÁ
2	NOVA ESPERANÇA
3	DR. CAMARGO
4	FLÓRIDA
5	ASTORGA
6	JANDAIA DO SUL
7	ITAMBÉ

FONTE: O autor (2023).

A Figura 3 mostra a localização das cidades que foram apresentadas pela Tabela 3.

FIGURA 3:LOCALIZAÇÃO DAS CIDADES DO EXEMPLO.



FONTE: O autor (2023).

Após a definição dos pontos, as rotas foram definidas utilizando o *Google Maps*, para encontrar as 3 melhores rotas que poderiam ser obtidas. As rotas ótimas estão representadas na Tabela 2:

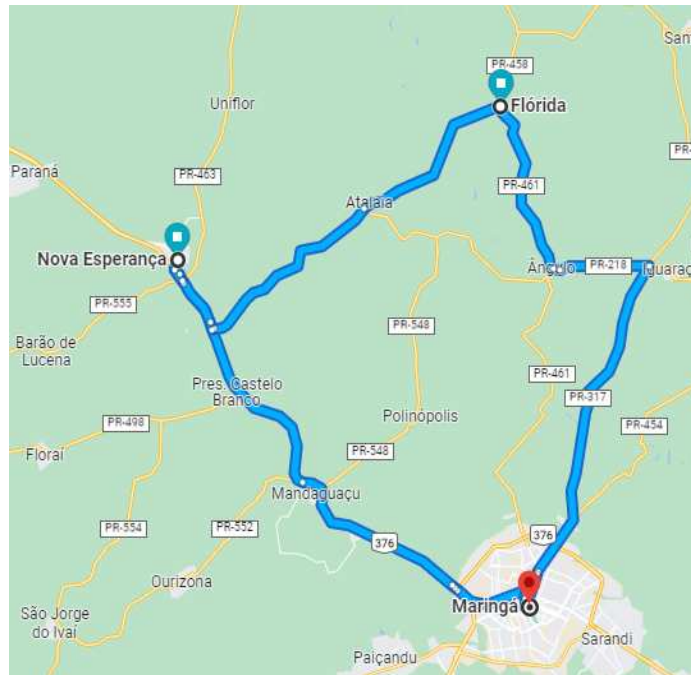
TABELA 2: KM PERCORRIDOS POR ROTA.

NÚMERO	ROTAS				TOTAL (KM)
1	MARINGÁ	NOVA ESPERANÇA	FLÓRIDA	MARINGÁ	136
2	MARINGÁ	ASTORGA	JANDAIA DO SUL	MARINGÁ	158
3	MARINGÁ	DR. CAMARGO	ITAMBÉ	MARINGÁ	123

FONTE: O autor (2023).

Após a realização, foram geradas as rotas 1, 2 e 3, que estão representadas na Figura 4, na Figura 5 e na Figura 6, respectivamente.

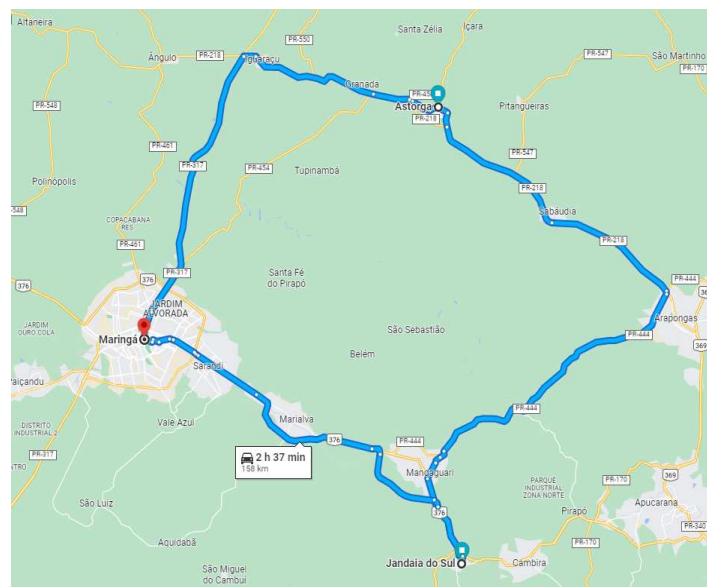
FIGURA 4: ROTA 1 ÓTIMA.



FONTE: O autor (2023).

A figura 4 representa a Rota 1, apresentando que o primeiro caminhão deveria começar o seu trajeto saindo de Maringá, indo para Nova Esperança, depois partir em direção à Flórida, e, por fim, retornar a Maringá, percorrendo assim, 136 Km.

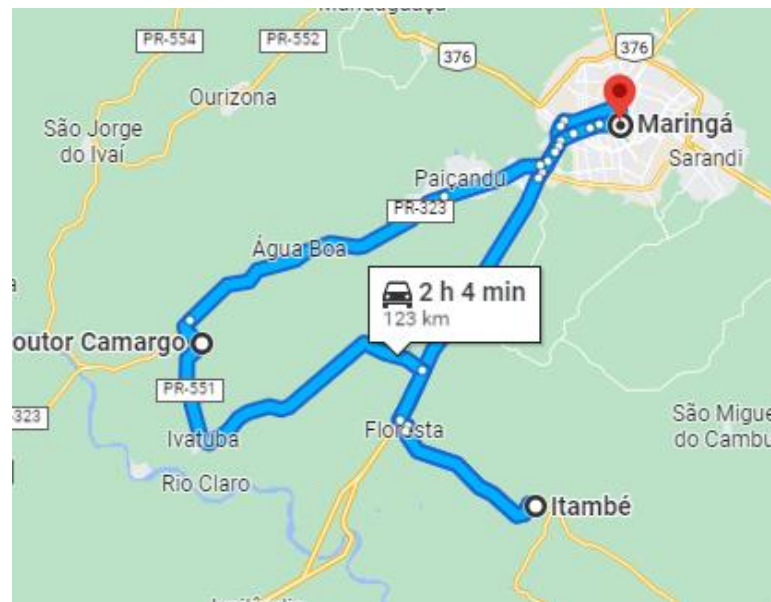
FIGURA 5: ROTA 2 ÓTIMA.



FONTE: O autor (2023).

Já na Rota 2, o caminhão deverá sair do depósito, seguir em direção a Astorga e após fazer a entrega, deve partir para Jandaia do Sul e finalmente retornar à Maringá, percorrendo então 158 Km.

FIGURA 6: ROTA 3 ÓTIMA.

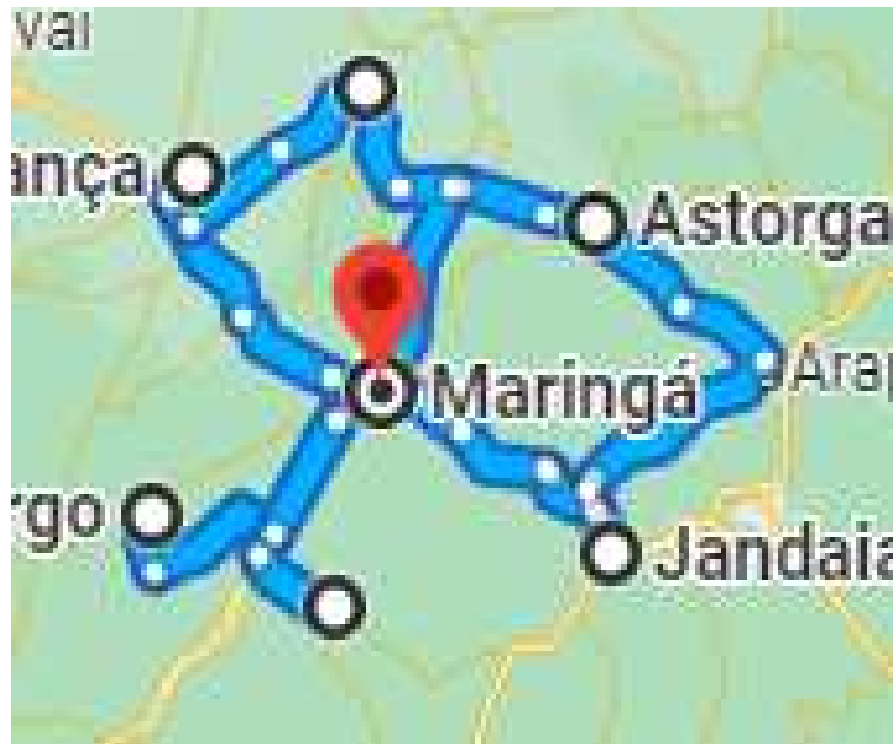


FONTE: O autor (2023).

Por fim, na Rota 3, deve ser seguida da seguinte maneira: sair de Maringá indo para Dr. Camargo, percorrer o trajeto até Itambé e por último retornar ao depósito, percorrer 123 Km.

Nesse exemplo, a empresa possui 3 caminhões para realizar as rotas. Após a simulação obtivemos a rota ótima para o VRP, a qual está representada na Figura 7.

FIGURA 7: ROTA VRP.



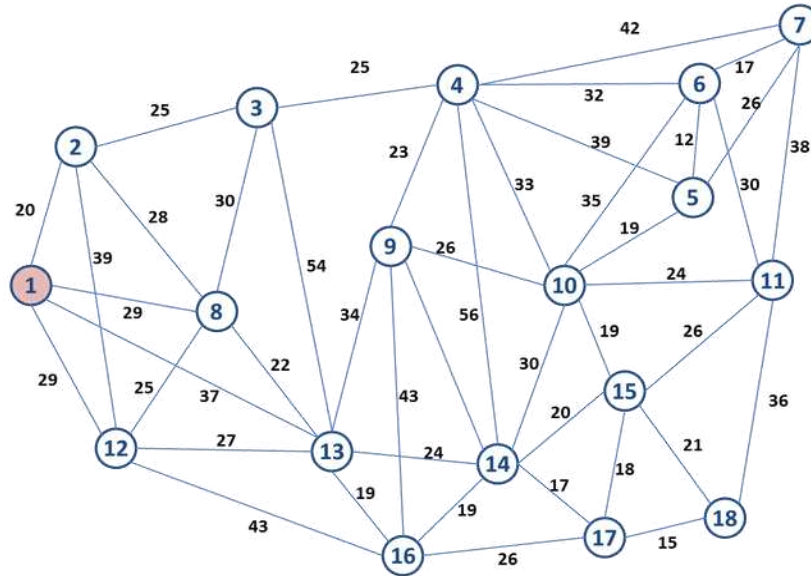
FONTE: O autor (2023).

Com essas rotas percorridas cada uma por 1 caminhão, foi obtido um resultado de 417 KM a serem percorridos.

2.1.2 Problema do Caixeiro Viajante

O problema do Caixeiro Viajante é um problema clássico de Pesquisa Operacional e recebe esse nome característico, já que pode ser descrito como um vendedor que viaja por determinadas cidades e após sua passagem por todas elas ele volta para seu ponto inicial. O objetivo do problema é determinar a melhor rota, com a restrição de passagem por todas as cidades uma única vez (CAIXEIRO, 2011). Nesse problema, a dificuldade está na quantidade de rotas a ser verificada para encontrar a ótima, já que para um problema com “n” nós e uma ligação entre cada um, a fórmula de cálculo das rotas será $(n-1)! / 2$, assim para 10 nós temos aproximadamente 181000 rotas para serem verificadas (TAUFER e PEREIRA, 2011). Uma possível solução para o problema é, que, com o auxílio de sistemas computacionais, seja possível a criação de todas as rotas possíveis e após o término se calcula a rota que tem menor custo dentre todas. A Figura 8 mostra um exemplo de PCV:

FIGURA 8: EXEMPLO DO CAIXEIRO VIAJANTE.



FONTE: Portal Deviante(2018).

2.1.2.1 Modelo Matemático

A seguir será apresentado um modelo matemático genérico para a resolução de um Caixeiro Viajante. Considerando um exemplo similar ao de VRP, porém no Caixeiro Viajante há algumas simplificações, então temos $K = (L; A)$ representa um grafo, onde $L = (0, 1, \dots, N)$ são os vértices do grafo e A é um conjunto de arcos, $i = 0$ representa o depósito e $i = (1, 2, \dots, N)$ são os clientes a serem visitados, c representa o custo associado aos arcos (i, j) , ou seja, o custo para ir do ponto i ao ponto j , x corresponde à uma variável de decisão binária a qual é 0 se o caminhão não passar pelo arco e é 1 se passar pelo arco, logo para o modelo teremos:

Otimizar

$$\text{Min } \sum_{i=0, j=0}^N c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Restrições

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

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

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ij} \leq |S|, i, j = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i, j = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

Onde a equação (1) corresponde a minimização do custo total com a somatória de custo por distâncias, a (2) e a (3) garantem que todos os clientes serão atendidos, a (4) garante que não há sub-rotas e a (5) mostra que o modelo é binário e não negativo.

Para exemplificar, a Tabela 3 representa um problema de caixeiro viajante com quatro cidades, onde o caixeiro deve passar apenas uma vez por cada cidade e depois voltar para a cidade de origem.

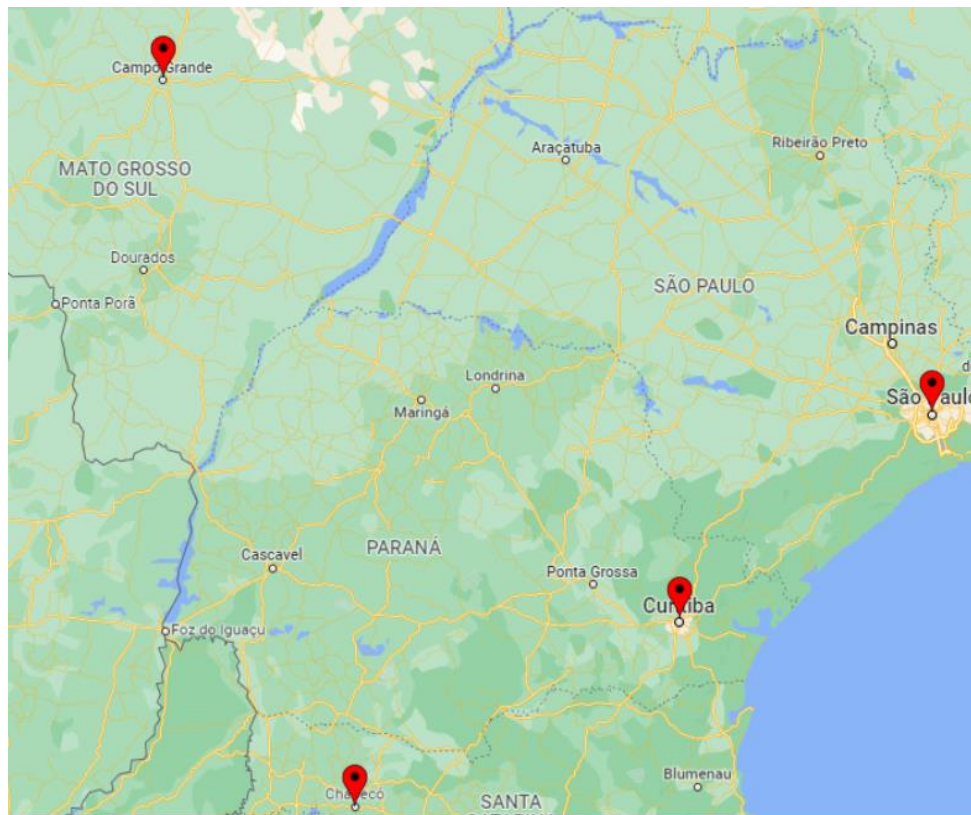
TABELA 3: CIDADES ESCOLHIDAS.

NÚMERO	CIDADE	ESTADO
1	CURITIBA	PARANÁ
2	SÃO PAULO	SÃO PAULO
3	CAMPO GRANDE	MATO GROSSO DO SUL
4	CHAPECÓ	SANTA CATARINA

FONTE: O autor (2023).

A Figura 9, representa a localização das cidades no mapa, foram escolhidas de maneira aleatória para o exemplo.

FIGURA 9: LOCALIZAÇÃO DAS CIDADES DO EXEMPLO.



FONTE: O autor (2023).

Com essas quatro cidades foram feitas simulações e a partir delas é possível encontrar a rota com menor custo em tempo e distância. Para a exemplificação foi utilizado o carro como meio de transporte.

Sendo assim foi obtido 6 possibilidades de rotas, sendo essas apresentadas na Tabela 4.

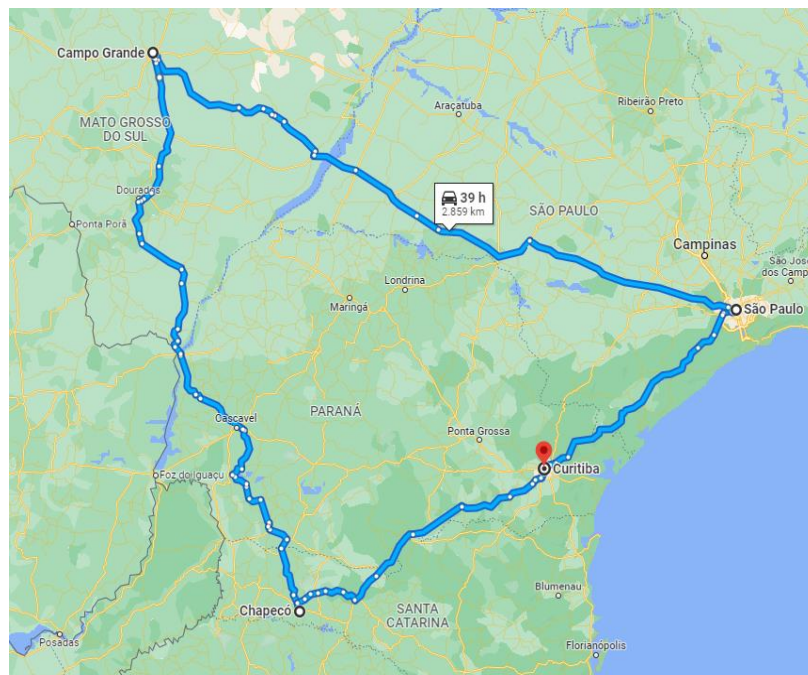
TABELA 4: ROTAS OBTIDAS PELA SIMULAÇÃO.

NÚMERO	ROTAS					TOTAL (KM)
1	CURITIBA	SÃO PAULO	CAMPO GRANDE	CHAPECÓ	CURITIBA	2859
2	CURITIBA	SÃO PAULO	CHAPECÓ	CAMPO GRANDE	CURITIBA	3225
3	CURITIBA	CAMPO GRANDE	SÃO PAULO	CHAPECÓ	CURITIBA	3313
4	CURITIBA	CAMPO GRANDE	CHAPECÓ	SÃO PAULO	CURITIBA	3247
5	CURITIBA	CHAPECÓ	CAMPO GRANDE	SÃO PAULO	CURITIBA	2835
6	CURITIBA	CHAPECÓ	SÃO PAULO	CAMPO GRANDE	CURITIBA	3318

FONTE: O autor (2023).

Após a obtenção dessas rotas foi possível notar que as rotas número 1 e a número 5 apresentaram menores distâncias a serem percorridas do que as demais. A Figura 10, representa a rota número 1 e a Figura 11, representa a rota número 5.

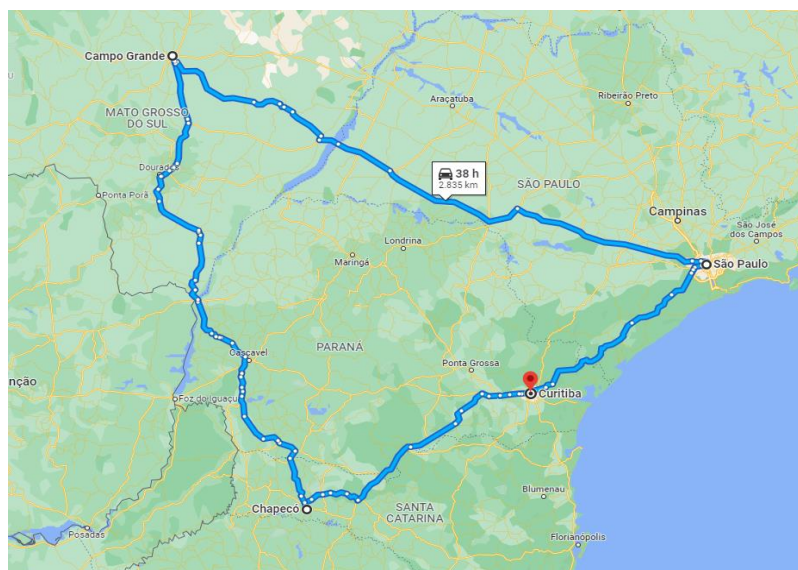
FIGURA 10: ROTA 1.



FONTE: O autor (2023).

A Rota apresentada acima representa uma das principais rotas de análise, a qual necessitaria de 2859 Kms para concluir o percurso.

FIGURA 11: ROTA 5.



FONTE: O autor (2023).

Vendo os resultados obtidos e as imagens das rotas é possível perceber que há uma leve variação entre as rotas 1 e 5, sendo assim a rota que tem menor distância seria a rota 5. É importante frisar que é possível realizar esse exemplo à mão, já que se tem uma baixa quantidade de dados, no entanto, em diversos outros casos (como neste estudo) a quantidade de pontos se faz necessário o uso de programas computacionais.

2.1.3 Métodos Heurísticos

Os métodos heurísticos são utilizados quando os métodos exatos demoram muito ou falham para encontrar uma solução ótima de um problema de otimização. Com métodos heurísticos é possível encontrar soluções boas e com menor tempo de processamento que com os métodos exatos (FUCHIGAMI, 2005). Segundo Fuchigami (2005), os métodos heurísticos são divididos em dois grupos, onde cada um deles possui determinadas características, as quais são apresentadas na Figura 12.

FIGURA 12:MÉTODOS HEURÍSTICOS.

MÉTODOS CONSTRUTIVOS	MÉTODOS MELHORATIVOS
1.Segue uma padrão, que chegará sempre no mesmo resultado, assim é previsível qual o seu tempo de processamento; 2.A sequência local auxilia na hora de criar uma boa sequência global; 3.Para a criação da solução final há a junção de todas as sequências locais.	1.Não se segue um padrão pré-estabelecido, logo se torna impossível o cálculo de seu tempo de processamento; 2.Ao contrário dos construtivos, muitas vezes as soluções locais podem não ajudar no momento de encontrar a solução ótima; 3.Utiliza de vários métodos adaptados, comumente é chamado de Meta-Heurísticas.

FONTE: O Autor (2023).

Para solução do problema de roteamento na cidade de Jandaia do Sul, usamos o solver Cplex da IBM, este solver tem muitas técnicas de soluções implementadas.

2.2 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

Neste tópico será tratado qual linguagem foi escolhida para esse trabalho, onde foi escolhido a linguagem *Python* no ambiente do *Google Colaboratory*.

2.2.1 *Python*

A linguagem de programação *Python* foi desenvolvida no início da década de 1990, pelo matemático holandês Guido van Rossum, e após a sua criação ela é gerenciada pela organização sem fins lucrativos *Python Software Foundation* (PEREIRA, 2021).

FIGURA 13: APRESENTAÇÃO DE PYTHON.



FONTE: O Autor (2023).

Essa linguagem de programação vem ganhando força no mundo da programação, o número de usuários tem aumentado, se tornando uma das linguagens mais utilizadas no mundo. Um dos motivos desse aumento é o grande número de bibliotecas que foram sendo criadas com o passar dos anos, facilitando os trabalhos de muitos desenvolvedores (MCKINNEY, 2010). Atualmente, existem mais de 125.000 bibliotecas disponíveis de forma gratuita para os utilizadores de *Python* (PEREIRA, 2021).

Assim, é possível utilizar arquivos de um rascunho externo, como por exemplo, pelo Pycharm tem-se a possibilidade de utilizar arquivos de extensão JSON e XML (SANNER, 1999). Além disso, é possível utilizar para diversas finalidades essa linguagem, por exemplo, desenvolvimento de sites, utilização de inteligência artificial, e também utilizada como foi nesse trabalho, visando otimização em sistemas, utilizando heurísticas disponíveis em diversas bibliotecas (PEREIRA, 2021).

2.2.2 Google Colaboratory

Google Colaboratory (*Google COLAB*) é um serviço de nuvem gratuito hospedado pelo *Google*, com o intuito de incentivar aprendizagem de máquina e inteligência artificial (SANTOS, 2020).

Esse ambiente permite que seja compartilhado entre uma equipe um código, podendo ser alterado e executado pela equipe. O *Google COLAB* é uma ferramenta que geralmente trabalha com a linguagem *Python*, mas que também pode utilizar outras como R, Julia, entre outras linguagens (SANTOS, 2020).

Uma das facilidades de se utilizar o *Google COLAB* é por ele ser fácil de usar e ser muito flexível em sua configuração, além da não necessidade de nenhum tipo de instalação de software na máquina.

O próximo capítulo apresenta como foram utilizadas as linguagens de programação citadas acima.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse capítulo descreve quais são as classificações desse trabalho, assim como também apresenta de que forma os objetivos descritos na seção 1.1.2 serão atingidos.

3.1 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA

Para realizar a classificação dessa pesquisa quanto à natureza, objetivos, abordagem e procedimentos foi realizada com base nos conceitos de Silveira e Gerhardt (2009).

Sendo assim, considerando a natureza, podemos considerar que esse estudo se enquadra como uma pesquisa aplicada, visto que tem o intuito de gerar um conhecimento passível de aplicação em um sistema real.

Já em relação aos objetivos, podemos caracterizá-la como pesquisa exploratória, pois esta permite maior familiaridade com o tema, encontrando então melhorias dentro de um processo já existente. E em relação à abordagem, é uma abordagem quantitativa, já que é possível traduzir as informações em números, podendo assim analisar e classificar tais informações, e com procedimento operacional, já que ela utiliza de modelos matemáticos para formular soluções e ainda assim apoiar tomadas de decisões.

FIGURA 14: CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.



FONTE: O Autor (2021).

3.2 COLETA DE DADOS

Um dos maiores desafios quando trabalhamos com um Problema de Roteamento de Veículos é a parte de obtenção dos dados necessários. Para esse estudo de caso o PRV precisa passar por todas as ruas da cidade e é esta informação que faz a quantidade de dados coletados ser muito grande.

A coleta de resíduos sólidos da cidade de Jandaia do Sul é realizada pela prefeitura. O presente estudo propôs que a cidade fosse dividida em 5 zonas para realizar as coletas nos dias úteis da semana, e em cada dia o caminhão coletor passa em uma área. Assim a partir destas zonas foram coletadas as coordenadas de cada esquina da Cidade de Jandaia do Sul e com base nestas coordenadas foram geradas as rotas, vale ressaltar que há uma dificuldade nesta coleta, já que se tem uma quantidade alta de dados, visto que foi utilizado cada esquina como um ponto. A figura 15, representa como foi feita a coleta de dados deste estudo de caso.

FIGURA 15: SEQUÊNCIA DA COLETA DE DADOS.



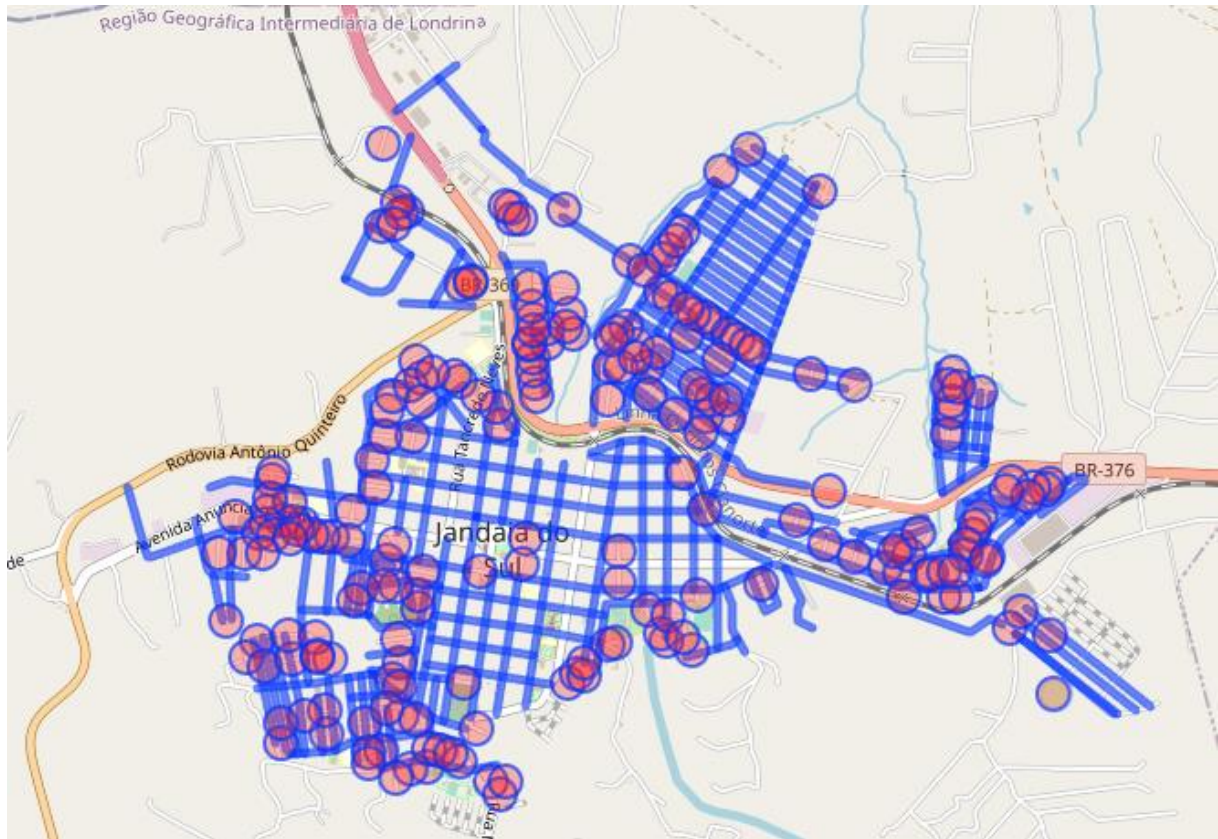
FONTE: O autor (2023).

Primeiramente foram obtidos os dados, realizando a coleta das ruas de Jandaia do Sul e localizando as esquinas, trazendo seus pontos em latitude e longitude, posterior a isso é feito um refinamento manual. A cidade de Jandaia do Sul possui rotas, porém não utiliza um padrão, assim não foi possível obter dados de referências para comparação.

3.2.1 Obtenção das coordenadas em latitude e longitude e criação da matriz distância

Para conseguir localizar as esquinas foi utilizado o OSM (*OpenStreetMaps*), onde o software disponibiliza gratuitamente as informações disponíveis sobre a cidade, como ruas, casas, etc. Em conjunto com esse software, utilizando um sistema auxiliar chamado *Overpass Turbo*, é possível extrair dados do *OpenStreetMaps*, dessa forma, foram extraídos os dados para essa pesquisa, os quais são constituídos das esquinas da cidade de Jandaia do Sul. Vale ressaltar que o sistema auxiliar *Overpass Turbo* utiliza a linguagem de programação C. Na Figura 16 a seguir, estão as esquinas utilizadas nesse estudo de caso, as quais foram fornecidas pelo *Overpass Turbo*.

FIGURA 16: MÉTODO DE OBTENÇÃO DE ESQUINAS



FONTE: O autor (2023).

Na figura 16 é possível notar as ruas de Jandaia do Sul, essas ruas são formadas pelo segmento entre duas esquinas, assim dentro do *Overpass* podemos selecionar o que necessitamos, que no caso são as coordenadas de latitude e longitude de cada esquina. No entanto, essa abordagem, nos fornece muitos mais pontos do que era necessário, assim foi necessário a retirada manual de alguns pontos, como algumas curvas que não se caracterizavam como esquinas, mas o algoritmo as considerava como esquinas.

Utilizando esses dados e fazendo os devidos tratamentos foi possível obter todos os requisitos para a criação da próxima etapa, que é a matriz distância, para a construção dessa matriz foi utilizada a biblioteca *numpy*, juntamente com a biblioteca *geopy*, a primeira para alinhar os dados de latitude e longitude em uma matriz e a segunda para fazer os cálculos de distâncias entre cada ponto, os quais foram realizados via *Google COLAB*. Assim, foi possível encontrar quais as distâncias entre os pontos e construir a matriz distância.

3.3 FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS E ANÁLISE

Para a obtenção dos dados da matriz foi usado o *Overpass Turbo*, uma ferramenta que se utiliza do *OpenStreetMaps*, para minerar dados que forem solicitados interativamente em um mapa e a partir daí foi possível extrair dados como latitude e longitude facilmente. Em seguida, foi gerada a matriz distância, onde foram utilizadas as bibliotecas *geopy* e *numpy*, dentro do ambiente *Google COLAB*.

Após obter a matriz distância, foi utilizado o *solver* do *IBM Ilog Cplex*, um *solver* não gratuito, porém possui uma versão para estudantes. O *Cplex* tem várias ferramentas implementadas como a abordagem *Branch & Cut* para a solução dos problemas de otimização inteiros. Para o problema de roteamento da cidade de Jandaia do Sul foi suficiente usar o Problema do Caixeiro Viajante, visto que a cidade foi dividida em setores permitindo rodar o Caixeiro Viajante em cada setor.

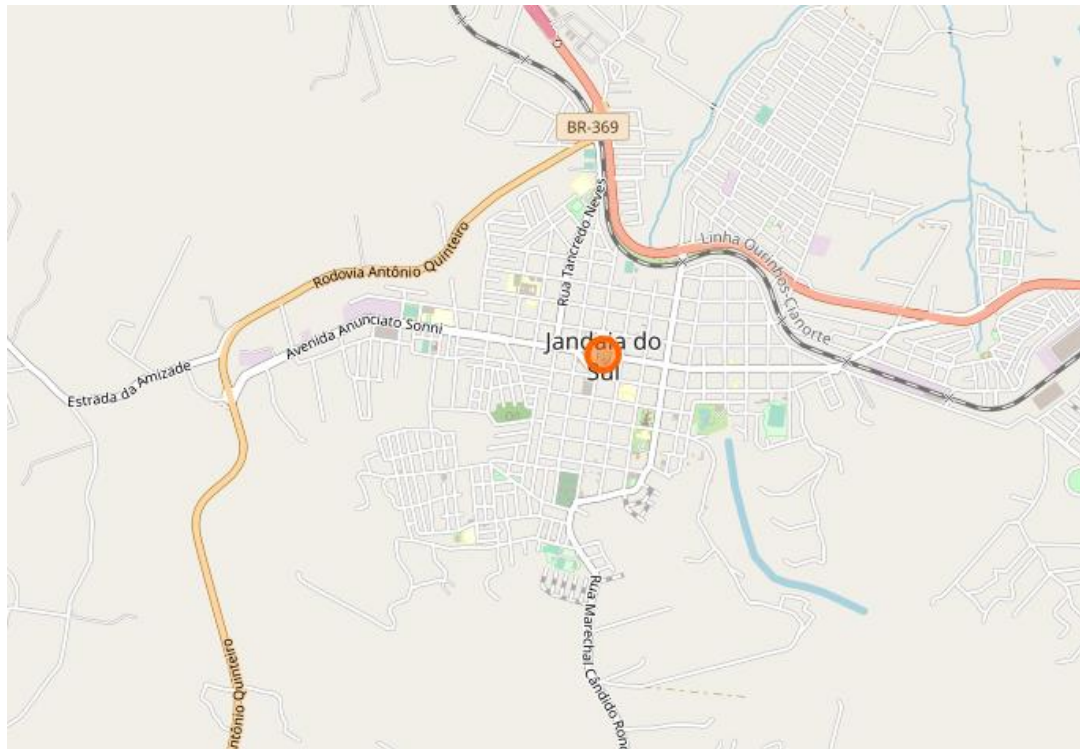
Para a ilustração dos resultados obtidos, foi utilizado a linguagem de programação Java, a qual conseguiu trazer bons resultados ilustrativos nos mapas desenvolvidos.

3.4 DESCRIÇÃO DO CASO

O objeto de estudo desta pesquisa foi a coleta de resíduos sólidos na cidade de Jandaia do Sul-PR, cidade de 21281 habitantes, situada no norte do Paraná (IBGE, 2021).

No presente estudo, busca as melhores rotas para a coleta de resíduos sólidos da cidade, porém não há os dados das quilometragens da coleta de resíduos sólidos. A Figura 17, representa o município de Jandaia do Sul.

FIGURA 17: FOTO DE JANDAIA DO SUL.



FONTE: O autor (2023).

Para reduzir a movimentação do caminhão, a coleta é feita em formato de bandeiras, onde uma certa parte dos colaboradores vai à frente e coletam os resíduos e os colocam juntos em um ponto em um lugar escolhido na rua em questão, fazendo assim pequenos estoques para coletas.

A cidade possui um esquema de rotas para as coletas que segue os dias da semana, o mesmo está sendo apresentado na Figura 18.

FIGURA 18: ZONAS ATUAIS.



FONTE: O autor (2023).

A imagem acima representa as rotas atuais de Jandaia do Sul, onde a cor azul claro simboliza a segunda-feira, terça-feira é representada pela cor vermelha, a cor rosa para quarta-feira, quinta-feira está na cor azul escuro, na sexta-feira temos a cor preta, anteriormente havia o sábado, porém foi repassado para sexta-feira. Desta forma é possível analisar que as regiões estão divididas, como por exemplo a de quinta-feira e a segunda-feira, que podem ter algum tipo de união entre elas para ter uma redução de percurso.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos para este estudo de caso, o qual foram alcançados com a utilização de algoritmos computacionais e técnicas de Pesquisa Operacional.

Para os testes, foi utilizado uma máquina que possuía a versão 10 do sistema operacional Windows em uma plataforma Intel Core i5, com 8 GB de memória RAM. Os testes foram realizados via solver Cplex, uma plataforma que usa linguagem de programação *Python*.

Para a realização das rotas foram selecionadas para cada rota uma cor específica, uma para cada dia da semana, exceto sábado e domingo, às quais são mostradas na Tabela 5.

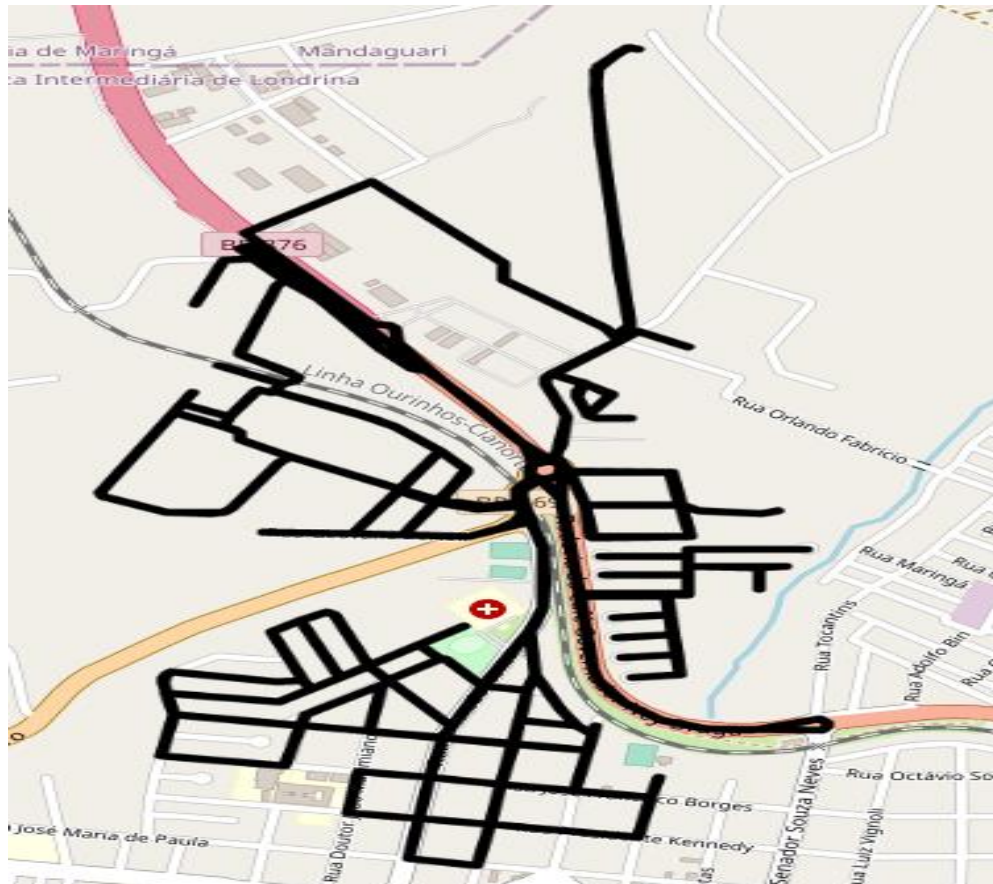
TABELA 5: DIAS DA SEMANA POR COR.

Sequência	Dias da semana	Cor
1	Segunda-feira	Preto
2	Terça-feira	Vermelho
3	Quarta-feira	Amarelo
4	Quinta-feira	Azul
5	Sexta-feira	Roxo

FONTE: O autor (2023).

Segundo a Tabela 5 podemos ver que para a segunda-feira foi designada a cor preta e a rota está representada pela Figura 19.

FIGURA 19: ROTA 1(PRETO).



FONTE: O autor (2023).

Essa rota possui 121 pontos de coleta e uma quantidade a ser percorrida de 42,6 Km, o que a torna a rota mais custosa (longa).

Já para terça-feira, também perceptível na Tabela 6 a cor selecionada foi a vermelha. A Figura 20 representa a rota obtida para a terça.

TABELA 6: QUANTIDADE DE PONTOS COLETADOS POR DIA.

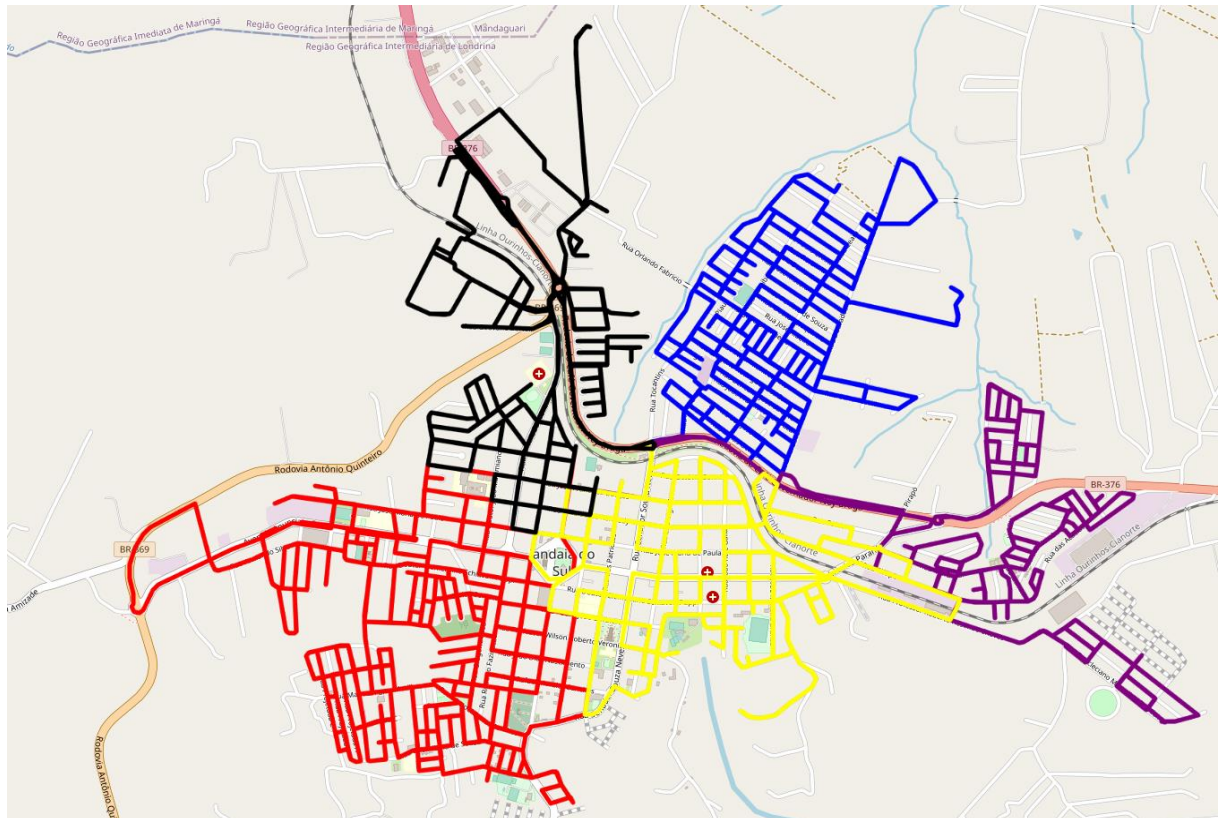
Sequência	Dias da semana	Pontos de coleta	Quilômetros Percorridos
1	Segunda-feira	121	42,6 Km
2	Terça-feira	229	35,8 Km
3	Quarta-feira	122	23,2 Km
4	Quinta-feira	161	17 Km
5	Sexta-feira	121	19,2 Km
Total			137,8 Km

FONTE: O autor (2023).

As divisões tiveram uma quantidade relativamente parecida de pontos, apenas a rota de terça-feira, ou seja, a vermelha, tem uma quantidade de pontos excessivamente maior que as outras. Com a tabela acima também é possível perceber que as rotas de terça-feira e segunda-feira possuem o maior caminho a ser percorrido, sendo 42,6 Km e 35,8 Km, respectivamente, e a rota de quinta-feira possui a menos, com um total de 17 Km para ser completada.

A Figura 25 representa a diferença entre como é feito atualmente e o modelo proposto.

FIGURA 25: FOTO DAS ROTAS.



FONTE: O autor (2023).

A figura acima representa o que houve após a simulação computacional, a qual foi proposto um modelo com as rotas. Como não obtivemos o resultado de quanto é consumido atualmente, então não foi possível realizar uma comparação direta, porém como foi apresentado anteriormente a soma das 5 rotas teriam um custo de 137,8 Kms por semana.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na gestão pública o Problema de Roteamento de Veículos não é muito utilizado, mas em cadeias de suprimento existem muitos trabalhos. Dessa forma, neste trabalho foi apresentada e explorada uma ferramenta da Pesquisa Operacional, o VRP, utilizando uma adaptação do PCV, aplicado ao problema de coleta de resíduos sólidos na cidade de Jandaia do Sul, visando reduzir custos dentro da cadeia de gestão de coleta desses resíduos.

Um dos grandes desafios de trabalhar com VRP em problemas de coleta de resíduos sólidos é a coleta e tratamento de grandes quantidades de informações. A priori a informação precisa seria a localização de cada bandeira de coleta, no entanto, esta é uma informação muito difícil de conseguir precisamente, logo a solução encontrada para coletar os dados necessários foi a mesma utilizada por Antonio Meira (2019), que é usar a localização de cada esquina. Após estabelecer a estratégia de coletar a localização das esquinas, percebeu-se que esta informação foi muito difícil de conseguir, pois além de utilizarmos o overpass, precisamos fazer um tratamento manual, gerando também a matriz distância pela utilização da linguagem *Python* e utilizado o *Cplex* para desenvolver as rotas, trazendo por fim com a linguagem de programação *Java*, os mapas descritos as rotas.

Para o conhecimento das rotas atuais, a prefeitura de Jandaia do Sul ofertou um mapa de como as rotas eram realizadas, mas esse estudo tratou de trazer 5 rotas para a utilização dentro da cidade.

Não temos a informação de quanto o caminhão de coleta de resíduo da cidade de Jandaia do Sul percorre em cada região, e isso não permite uma comparação direta, no entanto, a rota utilizada pela prefeitura foi feita manualmente de forma empírica e agora, de posse de todos os dados fornecidos por esse trabalho, estas rotas podem ser geradas de forma automatizada poupando tempo dos gestores públicos. Com estas informações, a prefeitura pode coletar o percurso realizado pela rota empírica e ter a informação se é viável tentar experimentar uma rota realizada por este trabalho. Vale ressaltar que um ganho de produtividade entre as rotas já gera um grande impacto, visto que, essas rotas são efetuadas diversas vezes em um ano.

Como sugestão para futuros trabalhos, pode-se fazer novas divisões de setores via clusterização. Além disso, também é possível considerar outras restrições, como janela de tempo ou a capacidade de carregamento dos veículos coletores.

REFERÊNCIAS

ABRELPE, 2020. **Panorama dos resíduos sólidos no brasil**. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: < <http://abrelpe.org.br/panorama>>. Acesso 7 de Setembro de 2021.

CHAVES, V. H. C. **Perspectivas Históricas da Pesquisa Operacional**. 2011. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) - Universidade Estadual Paulista, São Carlos, 2011. p. 17-43. Disponível em: < https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91049/chaves_vhc_me_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y > 4 de Março, 2021.

DANTZIG, G. B; RAMSER, J. H. **The Truck Dispatching Problem**. Management Science, 6(1), p. 80-91. Informs. 1959.

FUCHIGAMI, H. Y. **Métodos Heurísticos Construtivos Para Programação da Produção em Sistemas Flow Shop Híbridos com Tempo de Preparação das máquinas assimétricos e dependentes da sequência**. 2005. DISSERTAÇÃO (MESTRADO)- Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. p. 14-26. Disponível em < <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2005/pdf/arc0132.pdf>.> Acesso em: 2 de Março, 2019.

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; Van Woerden, F. **What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. Washington, DC: World Bank Group, 2018.

LIU, F. H., SHEN, S.Y. **A Metohd for Vehicle Routing Problem with Multiple Vehicle Types ad Time Windows, Report of Department of Industrial Enginerring and Management National**. 1999. Chiao Tung University, Taiwan, 1999. p. 526-536.

LYEME, H.; MOHAMED, S. **Introduction to Operations Research: Theory and Applications**. 2012, Saarbruken: Deutsche Nationalninliothed, 2012.

MANGUINO, J. L. V. **Problema de Roteamento de Veículos com Frota Mista, Janelas de Tempo e Custos Escalonados**. 2013. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. p. 15-28.

MARINS, F. A. S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 2011. Universidade de Estadual Paulista, São Paulo, 2011. p. 14-15.

MCKINNEY, W. **Data Structures for Statistical Computing in Python**. SCIPY 2010, [S. I.], p. 0-6, 28 jul. 2010. Disponível em: < <https://pdfs.semanticscholar.org/f6da/c1c52d3b07c993fe52513b8964f86e8fe381.pdf>.> Acesso em: 16 de Fevereiro, 2021.

MEIRA, A. H. **Coleta de Resíduos Recicláveis: Um Estudo Via Técnicas de Pesquisa Operacional**. 2019. Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2019. p. 34-45.

SANNER, M. F. **Python: A Programming Language for Software Integration and Development**. The Scripps Research Institute, [s. I.], 1999. p. 2-5. Disponível em: <

<https://pdfs.semanticscholar.org/409d/3f740518eafcfadb054d9239009f3f34600.pdf>.
> Acesso em: 2 de Fevereiro, 2021.

SILVEIRA, D. T.; GERHARDT, T. E. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional: Uma Visão Geral**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TAUFER, Fernando Soares Gomes; PEREIRA, Elaine Correa. **Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante na otimização de roteiros**. 2011. Belo Horizonte, 2011. p 7.

TIWARI, N. K.; SANDILYA, S. K. **Operational Research**. 2006. New Delhi: Pretice-Hall, 2006.

VELLOSO, M.P. (2008) **Os restos na história: percepções sobre resíduos**. **Ciência & Saúde Coletiva**. v. 13, n. 6. 2008. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, RJ, 2008. p. 1953-1964.